HAL
open science

Modéliser en agronomie et concevoir des outils en interaction avec de futurs utilisateurs : le cas de la modélisation des interactions génotype-environnement et de l'outil DIAGVAR.

Lorène Prost

To cite this version:

Lorène Prost. Modéliser en agronomie et concevoir des outils en interaction avec de futurs utilisateurs : le cas de la modélisation des interactions génotype-environnement et de l'outil DIAGVAR.. Sciences de la Terre. AgroParisTech, 2008. Français. NNT : 2008AGPT0013 . tel-00381092

HAL Id: tel-00381092

https://pastel.hal.science/tel-00381092

Submitted on 5 May 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur

de

l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech)

Spécialité : AGRONOMIE

présentée et soutenue publiquement
par

Lorène PROST

le 21 février 2008

MODELISER EN AGRONOMIE ET CONCEVOIR DES OUTILS EN INTERACTION AVEC DE FUTURS UTILISATEURS :

LE CAS DE LA MODELISATION DES INTERACTIONS GENOTYPE-ENVIRONNEMENT ET DE L'OUTIL DIAGVAR

Directeur de thèse : ***Marie-Hélène JEUFFROY***

Codirecteur(s) de thèse : ***Marianne CERF***

UMR 211 Agronomie INRA/AgroParisTech, F-78850 Thiverval Grignon

Devant le jury :

Thierry DORE, Professeur, **AgroParisTech**	**Président**
Jacques-Eric BERGEZ, Directeur de Recherche, **INRA**	**Rapporteur**
Marianne CERF, Directrice de Recherche, **INRA**	**Examinateur**
Cécile COLLONNIER Direction Scientifique, **GEVES**	**Examinateur**
François DANIELLOU, Professeur, **Université Victor Segalen Bordeaux 2**	**Rapporteur**
Marianne LEFORT, Direction Scientifique, **AgroParisTech**	**Examinateur**
Hervé MONOD, Directeur de Recherche, **INRA**	**Examinateur**

L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech) est un Grand Etablissement dépendant du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, composé de l'INA PG, de l'ENGREF et de l'ENSIA (décret n° 2006-1592 du 13 décembre 2006)

Avant-propos

Tout au long de cette période de rédaction, j'ai eu beaucoup de mal à l'idée d'écrire cette thèse à la première personne. Ce n'était pas un problème d'appropriation des idées mais plutôt la conscience du rôle de toutes les personnes qui sont intervenues dans ce travail.

En premier chef, bien sûr, je suis très heureuse de remercier mes deux co-directrices de thèse, Marianne Cerf et Marie-Hélène Jeuffroy. J'ai l'habitude de raconter que, quand j'envoyais une question par mail le soir avant de partir, j'étais sûre d'avoir deux réponses le lendemain matin : celle de Marie-Hélène vers 22h et celle de Marianne vers 7h le lendemain matin. Elles m'ont accompagnée dans beaucoup de mes enquêtes, m'ont permis de partir plusieurs mois à l'étranger, de profiter de plusieurs congrès. Elles ont toujours été très disponibles et attentives alors que leurs responsabilités par ailleurs sont très lourdes. J'ai eu une chance incroyable de travailler avec elles, dont je suis d'autant plus consciente car entourée de personnes faisant des thèses. Si je ne leur ai pas bien exprimé ma reconnaissance pendant ces trois ans, je le fais ici. Elles sont des modèles pour moi aussi bien dans leur façon de réfléchir, d'organiser, de conceptualiser que dans ce qu'elles sont humainement : leur gentillesse, leur humour, leur joie de vivre ont rendu mon travail très agréable.

Je suis également profondément reconnaissante à tous les acteurs de l'évaluation variétale qui m'ont accompagnée dans ce travail. J'ai toujours été extrêmement bien accueillie, par des gens patients vis-à-vis de mes hésitations, intéressés par le travail que je leur proposais et toujours prêts à me recevoir et à répondre à mes sollicitations. La liste de ces personnes est conséquente, j'espère vraiment n'avoir oublié personne. C. Godin, M.N. Mistou et C. Collonnier au GEVES, C. Colnenne, P.Bagot et P. Le Coënt au GEVES également ainsi que l'ensemble des agents participant au front méthodologique 2 ; M.H. Bernicot et P. Du Cheyron à Arvalis Institut du Végétal ainsi qu'I. Chaillet et V. Biarnès ; P. Lonnet, J.P. VanSuyt et T. Demarquet chez Florimond Desprez ; E. Margalé, M. Meausoonne, D. Verger, S. Cuvelier et J.P. Monnier chez Serasem ; J.B. Beaufume, G. Stagnaro Nickerson et C. Roussillot chez Verneuil-Nickerson ; P. Senellart, O. Leblanc et A. Barcelonne chez C.C. Benoist.

Les membres de mon comité de pilotage ont très largement participé à la construction de mes travaux par leurs critiques et nos discussions. Je leur en suis très reconnaissante. Merci à Isabelle Goldringer, Pascal Béguin, Michel Duru, Jean Albert Fougeureux, Thierry Doré et Fabrice Marty.

François Daniellou et Jacques-Eric Bergez ont accepté d'être les rapporteurs de ce document ; Cécile Collonnier, Thierry Doré, Marianne Lefort et Hervé Monod ont bien voulu faire partie du jury. J'en suis honorée et je les remercie de l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et du temps qu'ils y ont consacré.

Christophe Lecomte, concepteur initial de la méthode développée dans l'outil DIAGVAR, a été plus que largement mis à contribution dans mon travail. Le dossier spécial qui lui est consacré dans ma boîte mail contient par exemple plus de 500 messages. C'est un vrai plaisir de travailler avec Christophe qui est toujours d'une gentillesse et d'une patience extrêmes en plus d'une réactivité à toute épreuve pour répondre à mes questions. Je l'ai beaucoup harcelé pendant la conception du prototype, je m'en excuse et le remercie une fois de plus.

Comme cela apparaît dans ce document, je suis allée explorer de nombreuses disciplines tout au long de la thèse, notamment le champ des statistiques. Un très grand merci à David Makowski et Hervé Monod qui m'ont aidé à y être pertinente. Merci également à Claire Cadet pour son travail de programmation dans le travail sur la stabilité des méthodes statistiques.

J'ai eu la chance d'effectuer un séjour de 3 mois en Finlande au CATDWR en automne 2005 pour me familiariser avec les travaux de ce centre de recherche. Laura Seppänen, Yrjö Engeström, Reijo Miettinen et tous les chercheurs du centre ont été très attentionnés à mon égard et ont tout mis en œuvre pour que ce séjour soit profitable. Je tiens à leur exprimer ici toute ma reconnaissance.

Pascal Béguin, qui a été l'un de mes professeurs lors de ma formation en ergonomie au CNAM avant d'être recruté à l'INRA, a suivi les avancées du travail en ergonomie et m'a aidée à réfléchir et prendre du recul sur mes travaux. Merci pour toutes ces discussions.

David Doussot m'a tirée de grosses difficultés par rapport à la programmation du prototype de DIAGVAR. Merci pour le temps qu'il y a passé et pour son talent en programmation.

Martin Dielemann m'a aidée avec beaucoup de rigueur à mettre en forme l'ensemble des bases de données utilisées dans ce travail, provenant à la fois de l'INRA, du GEVES, des différents obtenteurs et d'Arvalis Institut du Végétal. Merci pour ce travail fastidieux.

Caroline Petit m'a aidée, dans le cadre d'un stage de première année de master, à réaliser l'analyse bibliométrique sur la conception des modèles en agronomie. Le travail était ambitieux, merci à elle de ne pas s'être découragée et d'avoir fait un travail de qualité.

Merci également à toutes les personnes qui ont critiqué (de manière constructive) mon travail dans les différentes instances de débat : au sein des projets FSOV, des projets CTPS, du projet DISCOTECH, du groupe Céréales à paille et du groupe sur les interactions génotype-environnement notamment.

Je tiens également à remercier ceux qui sont mon entourage depuis plusieurs années maintenant. A cheval entre l'UMR Agronomie de Grignon et l'équipe Praxis de l'UMR SAD-APT de Grignon, j'ai bénéficié de l'aide et des critiques constructives de chacun au cours de réunions d'unité, d'équipe, ainsi qu'au travers de discussions de couloir. Un très grand merci à tous pour cela. Merci également à Jean-Marc Meynard pour son attention et sa participation à ce travail. Alain Bône a dû trouver pour moi des articles de psychologie russe datant de l'avant guerre (notamment), merci beaucoup pour tout le soin qu'il a mis à m'aider dans mes recherches bibliographiques quel qu'en soit le domaine. Merci également à Joëlle Brun et Michèle Fanucci pour avoir su me guider dans les démarches administratives. Merci aussi à Suzette Tanis Plant pour ses cours d'anglais.

Merci enfin à mes collègues et amis de ces unités. Merci à Cédric Naud qui partage mon bureau, en première ligne pour supporter mes accès de mauvaise humeur aussi bien que pour discuter de questions culturelles diverses et variées (et souvent peu en rapport avec l'évaluation variétale). Il m'a également aidé pendant mes confrontations à C++, à R et aux statistiques en général (toujours avoir un statisticien dans son bureau !). Merci aussi pour tous les thés préparés ces derniers temps... Matthieu Carof m'a patiemment initié au VBA et est lui-aussi un des mes référents favoris pour les questions culturelles (et autres). Merci pour toutes nos discussions, son soutien et son amitié. Merci enfin à tous les doctorants et CDD qui sont passés dans les deux unités : Céline P, Marion, Elise, Claire Ch., Baptiste, Mathieu L., Edouard, Cécile, Céline R., Morgane Y, Inès, Adrien. Belle animation lors des déjeuners et autant de belles rencontres.

Merci à ma famille - mes parents, mes sœurs, ma tante -, ainsi qu'à mes amis, notamment mes témouines, que j'ai régalés avec mes tentatives pour expliquer en quoi consistait mon travail. Ces quelques années ont été riches en belles émotions sur beaucoup de plans, merci à eux d'avoir été là. Je m'étais promis de ne pas tomber dans le sentimentalisme dans ces remerciements. Evidemment, pour y parvenir, il aurait fallu que je rédige ces phrases un peu plus tôt (la tendance à être larmoyant semble augmenter avec le nombre de pages rédigées). Je me contenterai donc de remercier Arnaud pour sa patience et son soutien, tout le temps, dans toutes les circonstances. Il sait le reste.

Lexique

AgroParisTech: Ecole européenne d'ingénieurs et de managers dans le domaine du vivant et de l'environnement née, le 1er janvier 2007, du rapprochement de l'ENGREF, l'ENSIA et l'INA P-G (Institut National Agronomique Paris-Grignon)

ADD : Agriculture et Développement Durable. Le programme fédérateur "Agriculture et Développement Durable" (ADD) est un programme de recherche et de recherche-développement de l'ANR dont l'ambition est de renouveler et d'élargir la manière d'appréhender les activités agricoles à partir des enjeux du développement durable.

ANR : Agence Nationale de la Recherche

Artefact : L'artefact est un terme des ergonomes pour désigner l'objet matériel « brut » : une table est un artefact, un marteau, une feuille, un ordinateur sont des artefacts.

Arvalis-Institut du Végétal : organisme technique né de la fusion entre l'ITCF (Institut Technique des Céréales et des Fourrages) et l'AGPM technique (Association Générale des Producteurs de Maïs), le 18 décembre 2002

BMA : Bayesian Model Averaging. Méthode de mélange de modèles.

Chlorophylle-mètre : appareil qui permet d'estimer la teneur en chlorophylle d'une partie du végétal par transmittance

CTPS : Comité Technique Permanent à la Sélection. Il est chargé de la gestion du catalogue français des espèces et des variétés. Il examine les demandes d'inscription au catalogue officiel des nouvelles variétés, et propose ses décisions au ministère

DHS : Distinction, Homogénéité, Stabilité. Critères utilisés par le GEVES lors de l'inscription des variétés

dj : degrés x jours, mesure du temps thermique (cumul sur une période donnée des températures journalières en °C, températures moyennes, températures au-delà ou en deçà d'un seuil, selon la variable utilisée)

FL : facteur limitant

FRR : Facteurs de régularité du rendement (maladies et autres accidents).

FSOV : Fonds de Soutien à l'Obtention Végétale.

Génotype : on parle de génotype dans les premières années de la vie d'une variété, avant qu'elle soit stabilisée et bien identifiée pour des caractéristiques particulières.

GEVES : Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés et des Semences

GIE Club des 5 (GIE C5) : groupement d'intérêt économique rassemblant quatre des plus importantes entreprises françaises d'obtention variétale : Florimond Desprez, CC Benoist, Serasem, Limagrain Verneuil Holding.

IGE : interaction génotype environnement. Lecomte (2005) la traduit de cette façon : « différence de réaction des génotypes aux caractéristiques du milieu »

INN : Indice de Nutrition azotée (sans unité), taux d'azote des parties aériennes rapporté à la valeur seuil définie par la courbe de dilution de l'azote dans la plante au cours de la montaison

Instrument : La notion d'instrument rajoute une dimension à celle d'artefact. Rabardel (1995) considère l'instrument comme une entité mixte, composée d'un artefact et d'un schème d'utilisation. L'instrument est ce que devient l'artefact lorsqu'il est utilisé dans les situations de travail des utilisateurs : il peut être remis en mouvement par l'usage et peut en retour modifier le travail des utilisateurs.

Instrumentalisation : Les processus d'instrumentalisation concernent l'émergence et l'évolution des composantes artefact de l'instrument : sélection, regroupement, production et institution de fonctions, détournements et catachrèses, attribution de propriétés, transformation de l'artefact (structure, fonctionnement etc.) qui prolongent les créations et réalisations d'artefacts dont les limites sont de ce fait difficiles à déterminer (Rabardel, 1995)

Instrumentation : Les processus d'instrumentation sont relatifs à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation et d'action instrumentée : leur constitution, leur fonctionnement, leur évolution par accommodation, coordination combinaison, inclusion et assimilation réciproque, l'assimilation d'artefacts nouveaux à des schèmes déjà constitués etc (Rabardel, 1995)

ITB : institut technique de la betterave

Modèle : le modèle est le raisonnement cognitif qui permet de décrire une partie de la réalité

N tester : chlorophylle-mètre mis au point par Yara, France. Ses résultats sont très corrélés à ceux du SPAD.

Outil : nous emploierons le terme d'outil pour parler de l'inscription d'un modèle dans l'opérationnalité, dans le concret, dans le support.

Rdt : rendement (exprimé en q/ha ou en t/ha)

Schème : Concept piagétien, le schème est une structure ou organisation des actions telles qu'elle se transforme ou se généralise lors de la répétition de cette action en des circonstances semblables ou analogues

SPAD : chlorophylle-mètre mis au point par Minolta Camera Co., Osaka, Japan. Ses résultats sont très corrélés à ceux du N tester.

Variété : il existe des variétés de blé comme il existe des variétés de pommes (ex : Braeburn, Granny Smith, Royal Gala…). Le terme de « variété » correspond à rang taxinomique de niveau inférieur au rang d'espèce. Nous l'utilisons également comme équivalent du terme cultivar, qui est la variété cultivée. Dans les premières années de sa création, une variété est appelée génotype.

VAT : Valeur Agronomique et Technologique. Critères utilisés par le GEVES lors de l'inscription des variétés

INTRODUCTION 1

A. PROBLEMATIQUE 4

I. LA CONCEPTION DES MODELES EN AGRONOMIE 4
1. DES MODELES AGRONOMIQUES SURTOUT UTILISES PAR LEURS CONCEPTEURS 4
2. ETUDE DES LIENS ENTRE CONCEPTION ET USAGE DES MODELES EN AGRONOMIE 6
2.1 Diversité de ce que les agronomes appellent des modèles 7
2.2 Objectif des modèles : des modèles pour la recherche 7
2.3 Une démarche de conception partagée et axée sur l'évaluation 9
2.3.1 Les grandes étapes de conception 9
2.3.2 Une démarche de conception segmentée et axée sur la validation 11
2.4 Une démarche qui n'est pas pensée par rapport à un usage ou une utilisation 11
3. QUELLE PLACE POUR LES UTILISATEURS DANS LA CONCEPTION DE MODELES AGRONOMIQUES ? 12
II. LA CONCEPTION AVEC LES UTILISATEURS 16
1. INTRODUCTION 16
2. UNE APPROCHE DE LA CONCEPTION OUVERTE SUR L'UTILISATEUR 16
2.1 La conception se poursuit dans l'usage 16
2.2 Les raisons à l'implication des utilisateurs 17
3. COMMENT PENSER LE PROCESSUS DE CONCEPTION EN LIEN AVEC LE DEVELOPPEMENT ? 19
3.1 Différents objectifs dans la conception 19
3.2 Quelle analyse de l'activité pour atteindre ces différents objectifs ? 20
3.2.1 Analyser l'activité pour reconfigurer les situations de travail 20
3.2.2 Analyser l'activité dans une perspective développementale 22
3.3 Comment susciter un processus de développement autour de l'outil ? 24
III. LE CAS DE L'EVALUATION VARIETALE ET DES OUTILS D'ANALYSE DES IGE 28
1. L'EVALUATION VARIETALE 28
2. LE PROCESSUS D'EVALUATION REMIS EN QUESTION PAR LES EVOLUTIONS DE LA PRODUCTION 30
3. COMMENT PREVOIR LES INTERACTIONS GENOTYPE-ENVIRONNEMENT ET LES VALORISER DANS L'EVALUATION DES VARIETES ? 32
4. PRESENTATION DE LA METHODE DE C. LECOMTE 33
4.1 Diagnostiquer les facteurs limitants des essais 34
4.2 Décomposer les IGE pour mieux connaître les variétés 37
4.3 Récapitulatif des fonctionnalités potentielles de la méthode 38
4.4 Une méthode pour des réseaux d'essais 38
4.5 Une méthode qui requiert des outils informatiques et une automatisation 39
IV. VERS DES QUESTIONS DE RECHERCHE 40

B. LA DEMARCHE DE RECHERCHE MISE AU POINT 44

I. PHASE INITIALE : L'ANALYSE DE L'ACTIVITE 44
1. PRINCIPE : PRIVILEGIER L'EXPLOITATION D'ENTRETIENS EXISTANTS 44
2. MISE EN OEUVRE : LES ENTRETIENS UTILISES 46
3. PRODUITS DE LA PHASE 1 47
3.1 Construction du partenariat de travail 48
3.1.1 Choix des acteurs 48
3.1.2 Mise en place des interactions pour le travail autour de l'outil d'évaluation variétale 50
3.2 Elaboration d'un cadre pour la phase de simulation 52
3.3 Questionnement des données d'entrée nécessaires à la méthode 53
3.4 Mise au point d'un prototype 55
II. PHASE 2 : PREMIERE UTILISATION DU PROTOTYPE 59
1. PRINCIPE : CREER UNE INTERACTION AUTOUR DE L'UTILISATION DU PROTOTYPE 59
2. MISE EN OEUVRE : SIMULATIONS AVEC LE PROTOTYPE 60
2.1 Premier temps : la découverte du prototype 60
2.2 Deuxième temps : l'utilisation indépendante 61
2.3 Troisième temps : le débriefing de l'utilisation 61
3. PRODUITS DE LA PHASE 2 63
3.1 La transcription des discussions 63
3.2 Un partage des points de vue 63
3.3 Des remises en question des routines 64
III. PHASE 3 : QUESTIONNEMENT DES CONCEPTS ET DE LA VALIDITE DE L'OUTIL 65
1. PRINCIPE : UNE MISE EN DEBAT DES DISCOURS ENTRE AGRONOMES 65
2. MISE EN OEUVRE : DISCUSSIONS AUTOUR DES TRANSCRIPTIONS DE LA PHASE 2 65
3. PRODUITS DE LA PHASE 3 66
3.1 Réflexions pour les ergonomes 66
3.2 Réflexions pour les agronomes 67
IV. PHASE 4 : RETOUR VERS LES UTILISATEURS POUR FAIRE UN DEBRIEFING DE LA DEMARCHE SUIVIE 71
1. PRINCIPE : SE REMEMORER LE PROCESSUS POUR DISCUTER DE SON DEROULEMENT ET DE SES EFFETS. 71
2. MISE EN OEUVRE : DES ENTRETIENS AUTOUR DE L'ENSEMBLE DE LA DEMARCHE 71
2.1 Construction des entretiens 71
2.2 Méthode d'analyse des changements cités au cours des entretiens 72
3. PRODUITS 73
3.1 Les retours sur la méthodologie du travail 73
3.2 Les changements de l'activité d'évaluation variétale 75
V. DISCUSSION : LIMITES ET CADRAGE DE LA DEMARCHE 76
1. AMELIORER LA DEMARCHE 76
1.1 Phase 1 76
1.2 Phase 2 77

1.3 Phase 3 78
1.4 Phase 4 79
2. IMPORTANCE DU CADRAGE 79

C. EXPLORATION DE QUESTIONS AGRONOMIQUES A L'INTERFACE ENTRE LE MODELE DIAGVAR ET L'ACTIVITE DES UTILISATEURS 81

I. DES QUESTIONS AGRONOMIQUES CONCERNANT LE DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE ET LA MODELISATION 81
1. QUESTIONNEMENT D'ELEMENTS DU DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE 81
1.1 Quelles données d'entrée pour satisfaire aux exigences du diagnostic et respecter les pratiques expérimentales des acteurs ? 81
1.1.1 Problème des notations maladies 81
1.1.2 Problème de la mesure du stade Epi 1 cm 83
1.1.3 Problème de l'indicateur du statut azoté des cultures 83
1.2 Quels indicateurs choisir pour décrire les facteurs limitants ? 84
1.3 Faut-il conserver des génotypes révélateurs ? 85
2. QUESTIONNEMENT SUR LA FAÇON DE MODELISER DES PHENOMENES BIOLOGIQUES ET SON EVALUATION 87
2.1 Comment mieux quantifier les relations entre facteurs limitants (FL) et perte de rendement 87
2.2 Quels critères pour juger de la pertinence des résultats du diagnostic agronomique ? 88
2.3 Comment gérer le problème des données manquantes ? 89
2.4 Comment déterminer le rendement potentiel des génotypes révélateurs ? 89
2.5 Comment expliquer le comportement de DIAGVAR face à des variations des bases de données d'entrée ? 90
II. RECHERCHE D'UN INDICATEUR DU STATUT AZOTE COMPATIBLE AVEC LES PRATIQUES EXPERIMENTALES DES ACTEURS 91
1. ÉMERGENCE DE LA QUESTION 91
2. LE TRAVAIL EFFECTUÉ: "REPLACING THE NITROGEN NUTRITION INDEX BY THE CHLOROPHYLL METER TO FACILITATE N WHEAT STATUS ASSESSMENT" 91
2.1 Introduction 91
2.2 Materials and methods 93
2.2.1 Relationship between SPAD readings and NNI 93
2.2.2 Time span around flowering for SPAD measurements 95
2.3 Results and discussion 96
2.3.1 Correlation between SPAD readings from different leaves 96
2.3.2 Relationship between NNI and SPAD 97
2.3.3 Time span of SPAD measurement around flowering. 99
2.4 Conclusion 100
2.5 Acknowledgements 101
III. SENSIBILITE DES METHODES STATISTIQUES AUX DONNEES 102
1. ÉMERGENCE DE LA QUESTION 102

2. LE TRAVAIL EFFECTUÉ : COMPARISON OF STEPWISE SELECTION AND BAYESIAN MODEL AVERAGING FOR YIELD GAP ANALYSIS 103
2.1 Introduction 103
2.2 Materials and methods 104
2.2.1 Data 104
2.2.2 Linear regression models 105
2.2.3 Bootstrap sampling 106
2.3 Results 107
2.3.1 Full set of explanatory variables 107
2.3.2 Reduced set of explanatory variables 109
2.4 Discussion and conclusion 110
2.5 Acknowledgements 112
IV. DISCUSSION : TRAITEMENT DES QUESTIONS ET CONNAISSANCES PRODUITES 113
1. LES DIFFICULTES A PENSER LA PRODUCTION DE CONNAISSANCES 113
1.1 Les inconforts 113
1.2 Un cadre pour les résoudre 116
2. DECLINAISON DU CADRE C-K-A DANS NOTRE TRAVAIL 118
2.1 Le concept 118
2.2 Les situations singulières d'action 118
2.3 Les champs de connaissances explorés 118
3. CIRCULATION ENTRE LES ESPACES C-K-A 118
3.1 Connaissances mises en mouvement dans le travail sur l'indicateur azote 119
3.2 Connaissances mises en mouvement dans le travail sur la stabilité des méthodes statistiques 119
3.3 Connaissances mises en mouvement dans les autres questions 121
3.4 Circulation vers l'espace des concepts 121
4. APPORTS DU CADRE C-K-A POUR PENSER LA PRODUCTION DE CONNAISSANCES DANS UN PROCESSUS DE CONCEPTION 123
D. RETOUR SUR L'INTERVENTION ERGONOMIQUE ET LA DYNAMIQUE DE CONCEPTION 125

I. LA MISE EN FORME D'UN MODELE DE L'ACTIVITE D'EVALUATION DES VARIETES DANS UN PROTOTYPE 125
1. CONCEPTION D'UN OUTIL D'ANALYSE DU COMPORTEMENT DE SYSTEMES BIOLOGIQUES : LE CAS DE L'EVALUATION DES VARIETES DE BLE TENDRE 126
1.1 Introduction 126
1.2 Une démarche de conception articulant cristallisation, plasticité et développement 128
1.3 Recueil des données sur les actions d'évaluation 130
1.3.1 Choix des acteurs 130
1.3.2 Observer le travail ou mener des entretiens et analyser les traces de l'activité 130
1.3.3 L'analyse des données 131
1.4 Résultats de l'analyse des actions d'évaluation des variétés de blé tendre 132

1.4.1 Vers la cristallisation d'un modèle de l'activité d'évaluation 132
1.4.2 Vers la plasticité de l'outil à concevoir 135
1.4.3 Vers l'outil comme médiateur du développement 141
1.5 Conclusion 142
2. RECAPITULATIF 144
II. LA SIMULATION : MISE EN ŒUVRE ET ANALYSE 145
1. MISE EN ŒUVRE 145
1.1 La dimension instrumentale de l'activité d'évaluation au cœur de la simulation 145
1.2 Travail réalisé 147
2. ANALYSE DE LA PHASE DE SIMULATION 150
2.1 Rôle du collectif dans la simulation et développement horizontal 150
2.2 Les fonctions du prototype dans la simulation 153
III. LES DYNAMIQUES DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION 155
1. DYNAMIQUE DE L'OBJET DE CONCEPTION ET DES ACTIVITES 155
1.1 Dynamique de l'objet de conception 155
1.2 Dynamique de l'activité d'évaluation variétale 156
2. DYNAMIQUE DANS NOS REPONSES AUX OBJECTIFS C/P/D 158
IV. DISCUSSION : ANALYSE DE LA PRODUCTION INGENIERIQUE 161
1. NOTRE SITUATION SINGULIERE D'ACTION. 161
2. CONNAISSANCES MISES EN MOUVEMENT SUR L'ACTIVITE 162
3. CONNAISSANCES MISES EN MOUVEMENT SUR LA SIMULATION 163
4. CONNAISSANCES MISES EN MOUVEMENT SUR LA CONCEPTION 165
5. MISE EN MOUVEMENT DANS L'ESPACE DES CONCEPTS. 167
6. CONCLUSION SUR L'INSCRIPTION DE NOTRE TRAVAIL D'ERGONOME DANS LE CADRE C/K/A 168

E. DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION 170

I. PRINCIPAUX ACQUIS METHODOLOGIQUES DE LA THESE 170
1. ENJEU : NOTRE PROJET DE CONCEPTION 170
2. OUTILS CONCEPTUELS ET METHODOLOGIQUES 171
3. CONDUITE DU PROJET 171
4. REFLEXIVITE DANS ET SUR LA CONDUITE DE PROJET 172
4.1 La réflexivité : un élément clé dans notre conduite de projet 172
4.2 Réflexivité par rapport à la production de connaissances 173
4.3 Réflexivité sur la conduite en lien avec les enjeux 173
II. POSITIONNEMENT DE NOTRE DEMARCHE DANS LE CHAMP DE L'AGRONOMIE 174
1. LES OBJECTIFS DE LA DEMARCHE 175
2. UNE CONDUITE DE PROJET MARQUEE PAR LES ITERATIONS 176
3. LE ROLE CONFERE AU MODELE DANS LA DEMARCHE ET NOTAMMENT DANS LES SIMULATIONS 177
4. L'IMPORTANCE DU TRAVAIL COLLECTIF AVEC LES UTILISATEURS 180
5. LA CONCEPTUALISATION DE LA VARIABILITE LIEE AU MODELE QUE NOUS TRAVAILLONS 181

III. POSITIONNEMENT DE NOTRE DEMARCHE PAR RAPPORT A D'AUTRES FORMES DE CONDUITE ERGONOMIQUE DE PROJET DE CONCEPTION 183
1. CONSTRUIRE LA PLACE DE L'ERGONOMIE DANS UNE DEMARCHE DE CONCEPTION EXISTANTE 184
2. MISE EN SCENE DU PROTOTYPE DANS LA SIMULATION 185
3. UNE DEMARCHE QUI DECLENCHE DES APPRENTISSAGES MUTUELS 187
4. QUELLE CONCEPTUALISATION DE L'EXPERTISE ? 188
IV. PRODUIRE DE LA CONNAISSANCE DANS UN CADRE INGENIERIQUE 189
V. PERSPECTIVES 191
1. DES PERSPECTIVES POUR FAIRE EVOLUER LA DEMARCHE 191
1.1 Perspectives par rapport au cadrage de la démarche 191
1.2 Améliorer notre capacité à impliquer les utilisateurs dans le processus d'instrumentalisation 191
1.3 Arriver à mieux tracer les processus d'instrumentation 193
1.4 Accroître la capacité à accompagner la réflexivité des chercheurs dans le processus et à formaliser les évolutions 194
2. DES PERSPECTIVES POUR TRAVAILLER LES QUESTIONS SCIENTIFIQUES LAISSEES EN SUSPENS 194
3. DES PERSPECTIVES DE TRAVAIL SUR L'OUTIL 195
4. RETOUR SUR MA POSITION 197

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 199

LISTE DES ANNEXES 215

Introduction

Dans un contexte où les exigences économiques, environnementales, qualitatives et sanitaires envers les productions agricoles se multiplient, la connaissance *a priori* des performances des variétés cultivées devient un enjeu de premier plan. Le choix de la variété est en effet décisif dans l'itinéraire technique puisqu'il conditionne significativement la conduite de la culture et ses performances. C'est pour cette raison que de multiples acteurs vont chercher à évaluer le comportement des variétés, depuis leur création jusqu'à leur mise en production au champ : les créateurs de la variété, les différents organismes proposant des conseils techniques, les organismes de collecte-stockage, les agriculteurs, les transformateurs, etc. Or ces acteurs sont insatisfaits de leur évaluation : ils parviennent à une appréciation partielle des caractéristiques techniques des variétés qu'ils évaluent alors qu'ils déploient des moyens expérimentaux souvent considérables pour y parvenir. Ils sont donc insatisfaits de la sous-valorisation des données produites par l'expérimentation. Concrètement l'évaluation des variétés passe par leur mise en culture dans des champs d'essais dédiés qui seront suivis sur l'ensemble du cycle de culture de la variété, pendant plusieurs années parfois. Ces dispositifs expérimentaux sont coûteux et mettent du temps à produire des résultats, alors même que le turn-over des variétés cultivées s'accélère (Campariol, 1992 ; Lecomte, 2005) : la durée de vie d'une variété est passée de 10 ans dans les années 1970 à 4 ans aujourd'hui.

Notre objectif dans cette thèse est de proposer des pistes pour répondre à l'insatisfaction qu'expriment les acteurs de l'évaluation variétale. Parmi l'ensemble des pistes qui pourraient être explorées, il nous semble intéressant de revenir à une vision agronomique de la variété. Le comportement d'une variété cultivée dans un champ est modifié en réponse aux conditions de production, par le biais d'une interaction entre les caractéristiques propres de la variété (par exemple sa résistance à certains stress) et les caractéristiques du milieu dans lequel elle est cultivée (dans lequel certaines contraintes biotiques et abiotiques s'expriment). Mieux caractériser ces conditions permettrait donc de quantifier plus finement les résistances et sensibilités des nouvelles variétés, apportant ainsi des réponses aux attentes des évaluateurs. Mais l'évaluation est compliquée par l'abondance des facteurs de production qui peuvent influer sur le comportement des variétés. Ces facteurs sont très variés et interagissent souvent les uns avec les autres. Il devient alors difficile par simple expertise d'identifier précisément quels facteurs limitants se sont exprimés sur l'ensemble du cycle cultural et de quantifier la sensibilité relative des variétés à ces facteurs limitants. Cette interaction est connue sous le terme d'interaction génotype-environnement (IGE). Ce terme traduit le fait que des variétés se comportent différemment d'un environnement (milieu de production) à un autre ou, dit autrement, que deux variétés ne répondent pas de la même façon aux variations de l'environnement. La notion d'environnement englobe justement un ensemble de facteurs (caractéristiques hydriques, température, accidents de gel, de froid, de chaleurs extrêmes, occurrence de maladies, carence azotée, etc). Ce sont

donc les réponses des variétés à ces facteurs qui constitueraient une source d'informations très riches pour les évaluateurs des variétés et nous permettraient de répondre, au moins en partie, aux interrogations qu'ils formulent quant à leur travail d'évaluation.

Décomposer les interactions génotype-environnement a été et est encore un sujet de recherche fécond pour les statisticiens et les généticiens (en génétique quantitative surtout) (voir l'ouvrage de Kang et Gauch, 1996 ou l'article de revue de Brancourt et al., 1997). Des modèles d'analyses ont été produits mais sont souvent difficilement applicables aux réalités des expérimentations agronomiques qui doivent composer avec des données manquantes, des dispositifs non équilibrés, des plans d'expérimentation soumis à de multiples contraintes. Il nous semble donc important d'aborder cette question en nous intéressant à l'articulation entre conception de modèle et usage, puisque nous travaillons avec le souci que le modèle soit opérationnel en situation d'action pour les évaluateurs de variétés. Ce qui est en jeu dans ce travail, c'est donc de proposer une démarche de conception d'un modèle d'analyse des IGE qui aboutisse à la production d'un modèle opérationnel pour les acteurs de l'évaluation. Par cette démarche, nous souhaitons mettre en dialogue l'activité de modélisation telle que la réalisent des agronomes et l'activité d'évaluation des IGE telle qu'elle est mise en œuvre par des acteurs de l'évaluation.

Il nous a semblé essentiel d'aborder cette problématique avec une approche pluridisciplinaire. Malgré ses ancrages et apports théoriques variés, l'agronomie ne peut traiter des aspects « humains » d'une telle problématique aussi largement que peuvent le faire des disciplines du champ des sciences sociales. En effet, comme le décrivent Hubert, et al. (2000), l'agronomie, comme l'ensemble des activités humaines, se place « *dans un monde où les activités sont enchâssées dans des problèmes économiques et sociaux* » où « *les problèmes du vivant et de la technologie ne peuvent plus être traités indépendamment de leur place et rôle dans un contexte sociétal*». De nouvelles façons de résoudre les problèmes doivent être imaginées. « *Cela implique une action collective qui émerge de l'interaction de différentes catégories d'acteurs tenants de la situation* » (Hubert et al., 2000). Nous nous inscrivons dans cette réflexion qui vise à favoriser une diversité de perspectives pour enrichir et tout simplement mieux traiter un problème partagé, en allant jusqu'à la pluridisciplinarité. C'est dans cette pluridisciplinarité que nous avons cherché à travailler, non en juxtaposant agronomie et sciences sociales mais en essayant de les faire vivre simultanément.

Parmi les disciplines de sciences sociales, nous nous sommes orientée vers l'ergonomie car cette discipline, étymologiquement la science du travail, se centre sur le travail et l'action. Or ces deux dimensions nous paraissent fondamentales dans une réflexion sur l'opérationnalisation et le développement de connaissances pour les acteurs de l'évaluation variétale en situation de travail. Nous avons donc cherché à conjuguer ces deux disciplines (agronomie et ergonomie) pour en tirer des avancées dans les deux champs. Pour autant, une telle démarche comporte un certain nombre d'écueils, celui du langage notamment.

L'artefact est un terme des ergonomes pour désigner l'objet matériel « brut » : une table est un artefact, un marteau, une feuille, un ordinateur sont des artefacts. La notion d'instrument rajoute une dimension à celle d'artefact. Rabardel (1995) considère l'instrument comme une entité mixte, composée d'un artefact et d'un schème d'utilisation. Un schème est une structure, une organisation des actions qui transforme ou se généralise lors de la répétition de cette action en des circonstances semblables ou analogues. Dit autrement, l'instrument est ce que devient l'artefact lorsqu'il est utilisé dans les situations de travail des utilisateurs : il peut être remis en mouvement par l'usage et peut en retour modifier le travail des utilisateurs. C'est donc la dimension d'usage, d'utilisation qui vient se rajouter à celle de l'artefact.

On peut faire une distinction similaire entre la notion de modèle et celle d'outil. Si le modèle est le raisonnement cognitif qui permet de décrire une partie de la réalité, nous emploierons le terme d'outil pour parler de l'inscription de ce modèle dans l'opérationnalité, dans le concret, dans le support. L'outil inclut donc le modèle et un script d'utilisation.

Cadre 1 : quelques définitions d'ergonomie et d'agronomie autour de la thématique des modèles et outils

Les termes des agronomes et des ergonomes pour parler d'un même sujet -celui de la conception de modèles- diffèrent et la compréhension de certaines problématiques d'ergonomie passe par la compréhension des notions qui y sont discutées. Outil, modèle, instrument, artefact… sont autant de termes que nous allons employer régulièrement dans ce travail, qui ont un sens bien particulier en ergonomie et entre lesquels la nuance n'est pas évidente pour les agronomes. Nous en donnons un exemple avec les définitions présentées dans le cadre 1. Pour permettre au lecteur de bien saisir les concepts en jeu, nous avons proposé au début de notre document un lexique de quelques-uns des termes employés dans ce travail qui nous semblaient pouvoir être problématiques. Nous nous sommes également permis parfois de sortir des termes employés dans la discipline ergonomique pour en proposer des équivalents plus familiers aux agronomes.

Dans notre chapitre de problématique (Chapitre A), nous étudierons la façon dont les agronomes traitent du lien entre conception et usage lorsqu'ils conçoivent des modèles agronomiques avant de regarder comment l'ergonomie et d'autres disciplines de sciences sociales traitent de ce lien, conceptuellement et méthodologiquement. Nous déclinerons ensuite le cas de l'évaluation variétale et des outils d'analyse des IGE pour formuler nos questions de recherche. Etant donné que la démarche de travail que nous avons suivie est un objet de recherche en tant que telle, nous n'avons pas fait de partie « matériel et méthodes » à proprement parler. Notre principal matériau est en effet la méthode d'analyse des IGE que nous nous proposons de transformer en outil, et nous aurons présenté cet outil dans la problématique. Nous aborderons donc la présentation de la démarche comme un résultat de la thèse dans le Chapitre B. Nous étudierons ensuite, dans deux autres chapitres de résultats, ce qu'a produit la démarche en termes de questions agronomiques et ergonomiques (Chapitres C et D respectivement). Nous conclurons par une discussion générale (Chapitre E).

A. Problématique

I. La conception des modèles en agronomie

1. Des modèles agronomiques surtout utilisés par leurs concepteurs

Apparue dans le champ de l'agronomie dans les années 1950 avec les travaux de de Wit (1978), la modélisation y occupe aujourd'hui une place conséquente. Profitant des possibilités ouvertes par le développement de l'informatique, elle permet d'appréhender des échelles variées - modélisation de la plante, du peuplement végétal, de la parcelle agricole, du territoire (e.g. Colbach et al., 2001a et 2001b, Leenhardt et al., 2004a et 2004b) - et de quantifier des relations de fonctionnement entre les différents éléments du système, décrits à des degrés variés d'explicitation des mécanismes. Les textes de référence en agronomie donnent des définitions très générales de ce qu'est un modèle. De Wit (1978) introduit la notion de modèle en relation avec la simulation du potentiel de croissance selon les différentes phases de croissance de la culture. D'autres définitions s'appuient sur le formalisme mathématique : Peart et Curry (1998) définissent un modèle comme « *a system as the set of equations and rules that quantitatively describe the operation of the system through time* » et Bonhomme (1997) définit aussi un modèle comme « *un ensemble de relations mathématiques* » qui se compose de « *variables d'entrée, de paramètres relatifs aux différents processus et de variables de sortie* ». D'autres auteurs fondent leur modélisation sur les interactions entre le système sol-plante-atmosphère et les pratiques agricoles. Brisson et al. (2006) s'intéressent à un type de modèle, les modèles de culture, définis comme « *the dynamic functioning of the soil-plant system as it interacts with climate and farming practices* ». Le modèle est toujours défini comme une représentation ou une simplification du fonctionnement réel d'un système : *« A crop model is a simple representation of a crop* » Penning de Vries et al. (1989); « *A model has been defined as a small imitation of the real thing or as a system* » Hanks et Ritchie (1991); « *A model is defined as a mathematical representation of a system, and modelling is the process of developing that representation* » Jones et Luyten (1998).

La modélisation, notamment à travers les modèles de culture, donne lieu à une production scientifique importante en agronomie, ciblée sur la simulation de l'impact des pratiques agricoles ou du choix des systèmes de culture sur le fonctionnement et les performances du système climat-sol-plante (Loyce et Wéry, 2006), en termes de production ou d'effets environnementaux par exemple. Le couplage de règles de décision, et plus largement de modules de modélisation des décisions, aux modèles biotechniques a donné naissance aux outils d'aide à la décision ou *Decision Support System* (DSS) qui eux-aussi ont été largement explorés en agronomie (e.g. Gaunt et al., 1997 ; Aubry et al., 1998 ; Girard et Hubert, 1999; Bergez et al., 2001 ; McCown, 2002b ; Jones et al., 2003). Cette transition vers les DSS visait une utilisation large des modèles en dehors des cercles de la recherche : l'ambition des DSS était en effet de devenir des outils de conduite des cultures, des parcelles, des exploitations venant compléter expérimentations et expertise. Ces DSS devaient être le

moyen de passer des modèles à des outils[1] pour non-chercheurs et notamment pour les agriculteurs. Pour autant, les DSS n'ont pas atteint cet objectif : de nombreux auteurs ont fait le constat, dès la fin des années 90, de l'échec de l'adoption et de la diffusion des DSS (Cox, 1996 ; Parker, 1999 ; McCown, 2002b ; Meynard et al., 2002 ; Parker, 2004 ; McCown et al., 2006 ; McCown et Parton, 2006). Sont en cause les modules décisionnels mais aussi les modèles biotechniques. Cox (1996) et Parker (1999) parlent de *category mistake* pour évoquer le fait que les concepteurs ont souvent cherché à produire des DSS à partir de modèles de recherche existants, sans prendre vraiment la mesure du décalage qui pouvait exister entre des modèles de recherche, orientés vers l'exploration de fonctionnements et de mécanismes, et des modèles pensés pour l'utilisation. De fait, les concepteurs de DSS et des modèles de culture plus généralement ont vu diminuer leurs ambitions que leurs modèles soient utilisés pour la gestion des cultures. Le problème est sans doute moins apparent pour les modèles de culture que pour les DSS dans le sens où les modèles de culture peuvent avoir une vocation de recherche uniquement. Ils peuvent être considérés par leurs concepteurs comme des outils heuristiques, Boote et al. (1996) et Cox (1996) y voient même là leur principal intérêt. Mais ceux qui espéraient que ces modèles seraient utilisés largement, dans le conseil agricole notamment, ont vu leurs attentes déçues (Boote et al., 1996 ; Sinclair et Seligman, 1996 ; Passioura, 1996 ; Mutsaers et Wang, 1999). Les articles cités tentent tous de trouver des explications et des solutions. Meynard et al. (2002) insistent sur l'écart existant entre les représentations sur lesquelles chercheurs et conseillers fondent leurs conseils et la façon dont les agriculteurs prennent leurs décisions. Lynch et al. (2000) rapportent différents facteurs qui empêchent l'adoption des DSS et qui nous semblent pouvoir être élargis à l'adoption des modèles agronomiques en général : manque d'adéquation entre les DSS et les besoins des utilisateurs, développement du système pensé surtout de façon technocentrée, manque de familiarisation des utilisateurs avec l'outil informatique, conflits entre l'utilisation du DSS et les autres activités de l'utilisateur, complexité du DSS qui nécessite un soutien technique important, données d'entrée du modèle difficiles à récolter par les utilisateurs, manque de confiance dans les sorties des DSS lorsqu'elles sont en conflit avec l'expertise des utilisateurs, façon dont l'information est faite autour du DSS et nature du système social dans lequel le DSS est introduit. De fait, la manière de concevoir et de penser ces outils a été remise en cause depuis que des auteurs ont souligné la faible prise en compte des réalités de terrain et l'importance de l'implication des futurs utilisateurs des DSS dès les premières étapes de la conception du modèle (e.g. Carberry et al., 2002 ; Hayman et Eastdown, 2002 ; Parker, 2004). Cette façon de mettre en lien façon de concevoir et utilisation des modèles nous semble particulièrement intéressante et pertinente pour aller vers une plus grande utilisation des modèles. Les modèles sont en effet des outils rapides et puissants d'exploration et d'évaluation, capables d'intégrer un grand nombre des phénomènes et d'interactions, ce qui en fait des outils précieux pour traiter des problématiques complexes auxquelles l'agronomie doit faire face.

[1] Nous rappelons ici la nuance que nous faisons entre le modèle et l'outil, nuance qui imprègne fortement ce travail (voir Introduction). Le modèle est conceptuel : il pose des hypothèses, des principes, des relations. L'outil intègre la notion d'usage : le modèle est un outil lorsqu'il est utilisé.

La première étape a consisté en l'élaboration d'une équation de recherche capable d'extraire le maximum de publications scientifiques traitant de conception de modèles en agronomie sur CAB Abstracts Plateforme ISI-WoK v3.5. Nous avons procédé par essais-erreurs pour trouver les bons mots-clés selon quatre grandes phases : (1) la sélection du champ de l'agronomie stricte en associant 3 mots-clés (*agr*, plant* et crop**[2]) ; (2) la suppression de la thématique génétique en excluant les mots-clés relatifs (*gene*, gametic*, allele**) ; (3) l'introduction du thème des DSS (*support system*, tool*, decision**) que l'on n'arrivait pas à capter avec le seul terme de « *model* »; (4) l'introduction du thème de la conception de modèles (*valid*, estimat*, paramet*, design*, calibrat**) c'est-à-dire des mots-clés correspondant à des étapes de la conception en évitant les termes ambigus et trop communs (*develop**, *define*, variable** ou *verification**). Pour établir cette liste de mots-clés, nous avons utilisé les ouvrages (peu nombreux) qui s'intéressent aux méthodologies de conception des modèles. Nous avons notamment utilisé l'ouvrage de Jones et Luyten (1998) qui définit la procédure complète de conception à travers la définition des variables d'entrée et de sortie, des paramètres et constantes, des variables d'état. Ces auteurs définissent également des étapes de « modélisation du processus », la « vérification », la « calibration » et la « validation ».

Ces essais-erreurs ont permis de construire une équation de recherche aboutissant à une base de données initiale de 1295 articles scientifiques dans les 8 revues d'agronomie sélectionnées (Agricultural Systems, Agronomy Journal, Field Crops Research, Agriculture, Ecosystems & Environment, European Journal of Agronomy, Crop Science, Agronomie devenue Agronomy for Sustainable Development, Autralian Journal of Agricultural Research) entre 1996 et 2006 (recherche effectuée le 18/01/07) : *((agr* OR plant* OR crop*) AND (model* OR "support system*" OR "decision support*") AND (valid* OR design* OR estimat* OR paramet* OR construc* OR evaluat*) NOT gamet*).* Le choix des revues a été guidé par la volonté de travailler avec des revues d'agronomie, donnant un aperçu large et complet des travaux scientifiques effectués dans le champ.

Malgré cette recherche élaborée de mots-clés, des articles ne faisant pas partie du champ défini de l'étude étaient retrouvés dans la base de données initiale. Nous avons donc procédé à la lecture de la totalité des abstracts pour ne retenir que les articles nous paraissant relever de notre champ. Les articles éliminés traitaient de thèmes hors du champ de l'agronomie stricte (écologie avec des articles de revue sur la biodiversité, problématiques zootechniques), hors du champ des modèles (techniques de mesure), hors du champ de la conception (utilisation des modèles agronomiques déjà existants), ainsi que des articles traitant de génétique et de statistique et des comparaisons de modèles existants pour évaluer leurs performances respectives. Cette vérification des abstracts a permis d'écarter 45% des articles de la base de données initiale. La base de données finale compte 718 articles traitant de conception de modèles.

Cadre A-1 : méthode d'élaboration de la base de données sur la conception des modèles en agronomie

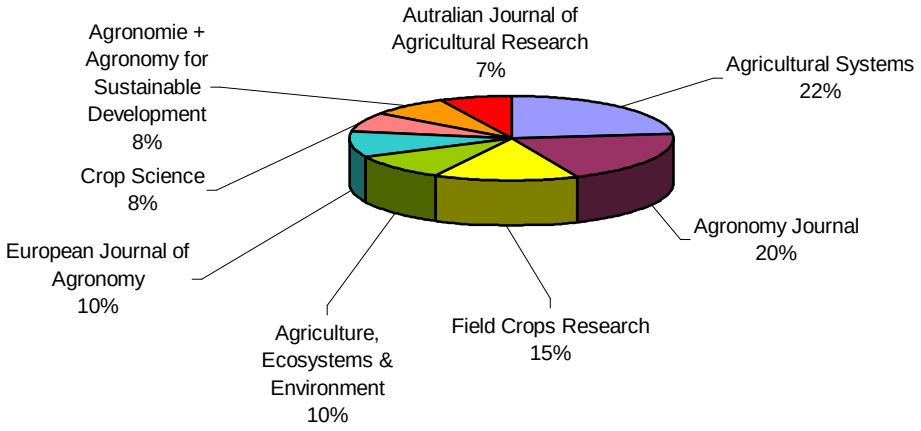


Figure A-1 : répartition des publications scientifiques de la BDD dans les 8 revues choisies

[2] Le caractère * permet de chercher toutes les déclinaisons de mots contenant la racine définie. Par exemple, avec « agr* », on relèvera « agronomy », « agricultural », « agriculture », etc.

Il nous a donc semblé important de regarder dans la bibliographie comment les agronomes font ce lien entre conception et utilisation en analysant, sur une plage d'une dizaine d'années, les publications scientifiques traitant de la conception de modèles agronomiques.

2. Etude des liens entre conception et usage des modèles en agronomie

Notre objectif dans cette partie est d'étudier quelles démarches les chercheurs développent pour concevoir leurs modèles et si ces démarches sont spécifiées par les objectifs que les chercheurs assignent à leurs modèles. Pour cela, nous avons choisi de réaliser une analyse bibliométrique des articles traitant de conception de modèles en agronomie. Aborder cette question par une analyse bibliométrique nous a permis d'avoir une approche quantitative du travail des chercheurs agronomes et de réaliser ainsi un état des lieux de la conception de modèles en agronomie sur les dix dernières années. Nous avons résumé dans le cadre A-1 ci-contre comment nous avons élaboré notre base de données bibliographique. Nous avons représenté dans les figures suivantes (ci-contre et au dos) quelques caractéristiques de la base de données ainsi constituée :

- les revues où le thème apparaissait le plus souvent (figure A-1) : ce sont dans les revues Agricultural Systems et Agronomy Journal que l'on trouve le plus grand nombre des articles de notre base de données.
- La répartition par année : nous voulions explorer si le thème de la conception des modèles était en expansion ou en régression dans le temps. Si la figure A-2 semble montrer une augmentation du nombre des articles traitant de la conception de modèles, la figure A-3 montre que cette augmentation est liée à l'augmentation du nombre d'articles publiés dans les revues.
- Les pays dans lesquels cette thématique est la plus présente (figure A-4) : il s'agit des USA, de la France et de l'Australie
- Les auteurs que l'on retrouve le plus fréquemment dans les articles (tableau A-1, voir plus loin), en cohérence avec les pays où le thème apparaît le plus puisqu'on retrouve des auteurs des USA, d'Australie et de France.

L'analyse des résumés des articles a été faite en deux étapes. Nous avons procédé à une première lecture pour élaborer une grille d'analyse distinguant 5 champs de lecture : (1) le type de modèle tel qu'il est décrit par les auteurs ; (2) l'objectif de l'étude tel qu'il est décrit par les auteurs ; (3) la description des étapes de conception du modèle ; (4) l'éventuelle mention d'un usage ou d'usagers du modèle ; (5) l'éventuelle citation du nom du modèle. Nous avons ensuite appliqué la grille à chaque résumé par plusieurs allers et retours dans la base. Pour chacune des catégories, un travail de caractérisation a été effectué :

- Pour la catégorie « type de modèle », nous avons relevé les termes qualifiant le modèle dans le résumé (« crop growth model », « dynamic model », « regression model », « predictive model », etc.).
- Pour la catégorie « objectif de l'étude », nous avons relevé des extraits du résumé (débutant généralement par « the objective of this study is », « the aim », « the goal », etc.)

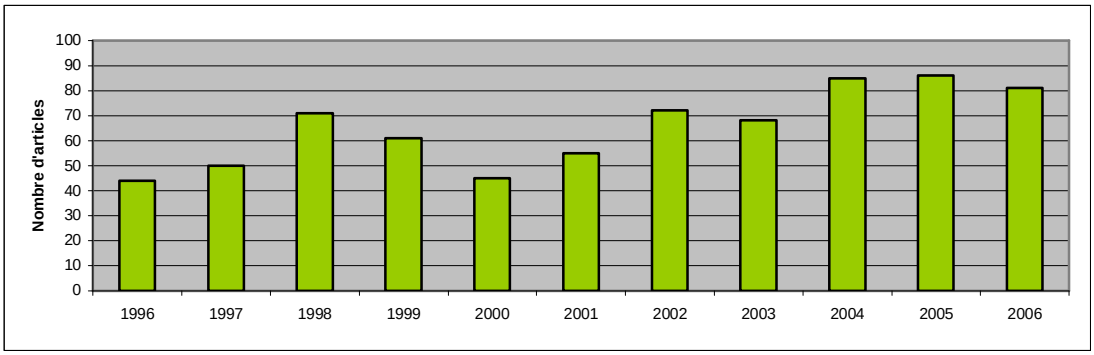


Figure A-2 : Répartition par année des publications scientifiques sur la conception de modèles entre 1996 et 2006 dans les 8 revues explorées.

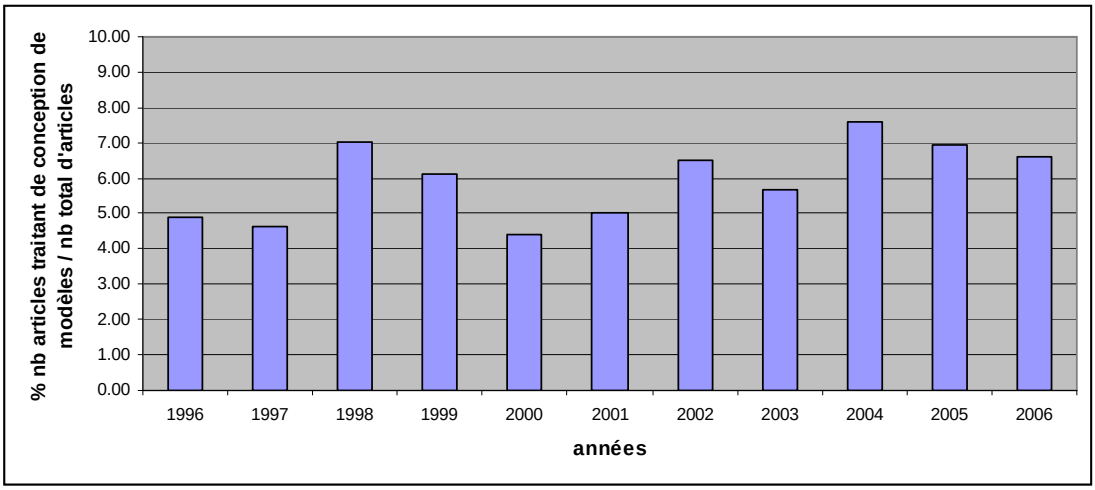


Figure A-3 : Pourcentage par année des publications scientifiques sur la conception de modèles par rapport à l'ensemble des articles publiés dans les 8 revues entre 1996 et 2006

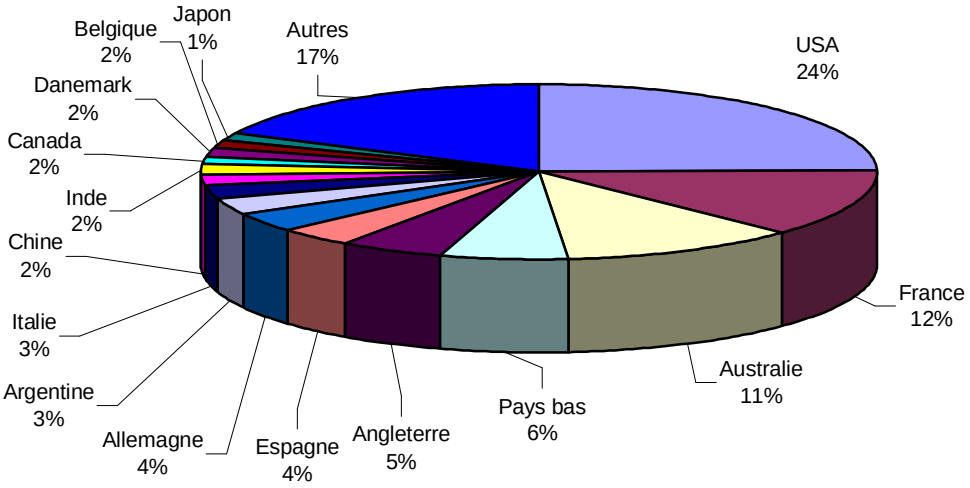


Figure A-4 : Répartition par pays des publications scientifiques sur la conception de modèles entre 1996 et 2006

- Pour la catégorie « description des étapes du modèle », nous avons fait une recherche systématique de mots-clés relatifs à la conception de modèle, qui nous a permis de dresser un inventaire large de la description de la démarche par les auteurs.
- Pour la catégorie « mention d'un usage ou d'un usager», nous avons relevé les extraits de résumé concernés et nous les avons répartis lors d'une deuxième analyse en 3 groupes (usage pour les décisions publiques, chercheurs et non chercheurs).
- Pour la catégorie « nom du modèle », nous avons relevé le nom mentionné dans le résumé (APSIM, STICS, SUCROS, etc.).

Notre objectif dans cette analyse bibliométrique est d'étudier si la démarche de conception des modèles est réfléchie, adaptée, déclinée en fonction des objectifs que les concepteurs fixent à leurs modèles. Nous étudions donc dans les deux prochains paragraphes la façon dont les agronomes décrivent leurs modèles et les objectifs qui leur sont associés avant de nous intéresser à la façon dont la conception de ces modèles est décrite, pour trouver des liens entre ces éléments.

2.1 Diversité de ce que les agronomes appellent des modèles

Le fait d'aborder la recherche bibliométrique par le mot-clé « *model* » a montré que les auteurs renvoyaient à une grande diversité d'objets. A travers notamment les adjectifs ou verbes associés au terme « *model* », nous avons ainsi relevé une grande diversité de termes utilisés par les auteurs pour qualifier leurs modèles, appartenant à des registres très différents. L'auteur peut se référer au formalisme du modèle (e.g. « *mechanistic model* », « *regression model* », « *dynamic model* », « *functional model* », « *analytical model* », « *comprehensive model* », « *empirical model* »), à la nature du phénomène modélisé (e.g. « *competition model* », « *plant growth model* », « *land use model* », « *phenological model* »), à son objectif (e.g. « *crop growth simulator* », «*model for estimating* », « *predicting model* »). Il nous a semblé difficile et peu pertinent de chercher à associer des modèles entre eux pour en faire une typologie, alors qu'il existe déjà de multiples formes de classification des modèles (e.g. Boote et al., 1996 ; Monteith, 1996 ; Passioura, 1996 ; Sinclair et Seligman, 1996). En revanche, nous avons cherché à étudier si cette diversité était traduite dans une diversité de façons de construire les modèles et de définir leurs objectifs.

2.2 Objectif des modèles : des modèles pour la recherche

Les chercheurs-modélisateurs se distinguent par les objectifs qu'ils assignent à leur travail de modélisation. Nous avons distingué deux grandes tendances : la conception de modèles pour l'exploration, c'est-à-dire pour la compréhension de mécanismes, et la conception de modèles pour l'utilisation par d'autres personnes que leurs auteurs. Pour mettre en évidence et explorer ces deux tendances, nous avons, dans un premier temps, extrait des résumés la phrase consacrée à la description de l'objectif de l'étude (phrase qui débute généralement par « *the objective of this study is, the aim, the goal*, etc. »). A l'intérieur de ces phrases, nous avons réalisé une recherche systématique de mots-clés se référant soit au champ de l'utilisation (*tool, useful, manage, decision, decision support*),

Auteurs	Nb de publications dans la base de données finale	Nationalité	Auteurs	Nb de publications dans la base de données finale	Nationalité
HOOGENBOOM, G.	17	Pays Bas	HAMMER, G. L.	7	Australie
ROBERTSON, M. J.	17	Australie	LESCOURRET, F.	7	France
BOOTE, K. J.	13	USA	AHUJA, L. R.	6	USA
JONES, J. W.	12	USA	MEINKE, H.	6	Australie
JEUFFROY, M. H.	9	France	CONNOR, D. J.	6	Australie
O'LEARY, G. J.	9	Australie	PREVOT, L.	6	France
BATCHELOR, W. D.	8	USA	VELDKAMP, A.	6	Pays Bas
MEYNARD, J. M.	8	France	BRISSON, N.	6	France
RITCHIE, J. T.	8	USA	WOPEREIS, M. C. S.	6	Sénégal
SADRAS, V. O.	8	Australie	CARBERRY, P. S.	6	Australie
VANDERLIP, R. L.	8	USA			
KROPFF, M. J.	7	Pays Bas			

Tableau A-1 : Auteurs les plus cités dans le champ de la conception de modèles en agronomie entre 1996 et 2006

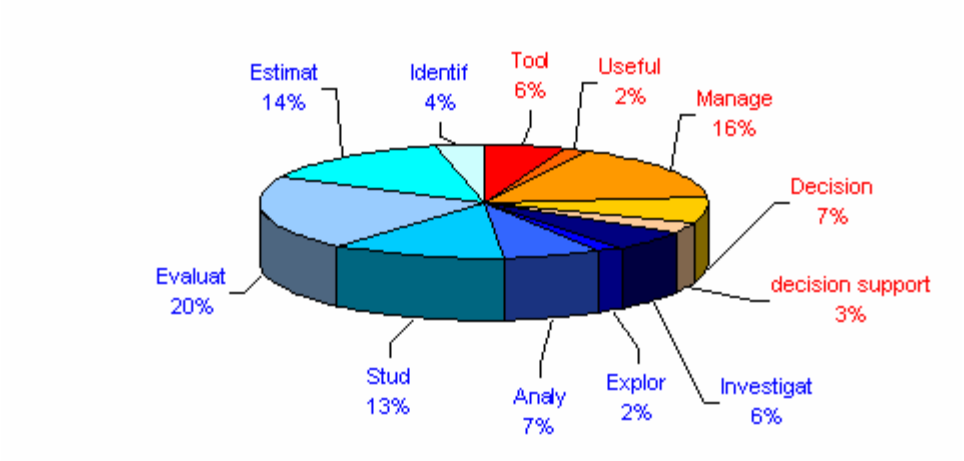


Figure A-5 : Identification des objectifs des articles scientifiques par quantification de mots-clés relatifs à l'exploration (en bleu) et à l'utilisation (en rouge).

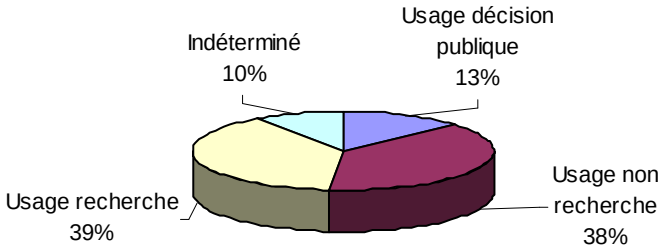


Figure A-6 : Catégorisation de l'usage quant il est mentionné dans les articles (35% des articles)

soit au champ de l'exploration (*investigat*, explor*, analys*, stud*, evaluat*, estimat*, identif**[3]). Cette recherche avait pour but d'évaluer, dès les premières étapes de conception, quels objectifs les auteurs fixaient pour leur modèle.

La figure A-5 montre que l'on retrouve plus de mots-clés relatifs à l'exploration qu'à l'utilisation, ce qui confirmerait l'hypothèse de Boote et al. (1996) ou de Cox (1996) selon laquelle les modèles sont avant tout des outils pour la recherche.

Pour avoir un regard différent sur cette problématique, nous avons étudié plus en détail chaque résumé dans son entier pour relever toute mention d'une utilisation du modèle. Cela nous a permis de quantifier les modèles à but opérationnel, regroupant les cas où les auteurs donnent une utilité possible à leur modèle hors du cercle des concepteurs (Ex : pour les agriculteurs, simuler l'irrigation ou la fertilisation des cultures, pour d'autres chercheurs, simuler des règles de décision de l'agriculteur, pour les décideurs politiques, simuler les changements agricoles à l'échelle d'un bassin versant). Nous avons constaté que peu de modèles rentrent dans ce cas de figure : 65% des articles ne mentionnent aucun usage des modèles présentés. En reprenant l'idée précédente, nous avons regardé, parmi ces articles, les mots-clés utilisés dans la façon de définir les objectifs de ces modèles : 80% des mots clés que nous avons repérés renvoient au champ de l'exploration (*investigat*, explor*, analys*, stud*, evaluat*, estimat*, identif**). La grande majorité de ces articles qui ne font aucune mention de l'usage semblent donc être des outils pour la recherche. En ne considérant que les articles qui font mention d'un usage, même très vague (donc les 35% d'articles restants), trois catégories se dégagent : (1) des modèles à vocation « recherche » ; (2) des modèles à vocation « décision publique » ; et (3) des modèles à vocation « non recherche ». La catégorisation a parfois été difficile, les auteurs ne précisant pas toujours les acteurs concernés par l'utilisation de leur modèle. A titre d'illustration, Arora et Gajri (1998) concluent en ces termes : « *the model can be applied for optimising water use at field scale.* », ce qui laisse un flou sur la nature des utilisateurs visés

Que les modèles soient conçus majoritairement pour la recherche (figure A-5) n'est pas surprenant. En revanche, la figure A-6 montre que, lorsque l'usage est mentionné, il y a autant d'intentions de concevoir des modèles pour les chercheurs que pour les non-chercheurs. Les modèles sont donc avant tout des outils de chercheurs mais, parmi ces derniers, certains ont également l'ambition de faire utiliser leur modèle par différents acteurs.

Nous retenons donc deux éléments de ce travail sur les objectifs associés aux modèles :

- Les deux tiers des auteurs n'identifient aucun usage, ni aucun utilisateur de leurs modèles. Il ne peut donc pas exister de lien entre conception et usage dans la majeure partie des cas.
- Lorsqu'un usage ou un utilisateur est mentionné, les auteurs se réfèrent autant à une utilisation de recherche qu'à une utilisation en dehors de la recherche.

Comment cela se traduit-il en termes de façon de concevoir le modèle ?

[3] Rappel : Le caractère * permet de chercher toutes les déclinaisons de mots contenant la racine définie. Par exemple, avec « agr* », on relèvera « agronomy », « agricultural », « agriculture », etc

2.3 Une démarche de conception partagée et axée sur l'évaluation

2.3.1 Les grandes étapes de conception

Malgré la diversité des modèles en agronomie, de grandes phases de conception se retrouvent en parcourant les articles de notre base de données. Pour illustrer l'occurrence de chacune de ces étapes, nous citons la fréquence d'emploi de quelques mots clés qui caractérisent les phases, sachant bien entendu que de nombreux auteurs sortent de ces mots-clés par l'emploi de périphrases ou simplement de synonymes.

Les auteurs commencent régulièrement par situer le champ de leur modèle en donnant, en quelques mots, ses caractéristiques et ses objectifs (seuls 44 articles parmi nos 718 ne comportent aucune indication de ce genre). C'est à travers ces quelques mots que nous avons pu discuter ci-dessus de la diversité de ce que recouvrait un modèle chez les auteurs. C'est également l'occasion pour les auteurs de décrire les objectifs qu'ils fixent au modèle qui est conçu. L'objectif apparaît parfois uniquement à travers les termes qui sont employés pour qualifier le modèle (en parlant d' « optimizing linear model », Amir et Fisher, 1999 ou de « management oriented cropping system model », Bergez et al., 2002, les auteurs ne renvoient pas aux mêmes objectifs de modélisation).

Les auteurs déterminent ensuite les variables d'entrée et de sortie du modèle (140 articles comportent les mots clés « input* » ou « output* »). La nature et la façon d'obtenir ces éléments sont variées. En ce qui concerne les variables d'entrée, les caractéristiques physiques et climatiques peuvent être mesurées (Zhuang et al., 2001 : "*The model can be run with readily available inputs, such as water potentials of leaf, soil and air, solar radiation, potential evapotranspiration, root length, and some soil physical properties, such as bulk density and particle size distribution.*"), ou bien relevées parmi des bases de données antérieures (Scott et Cacho, 2000 : « *Inputs to the model include historic values for rainfall, fertilizer application rates, commodity prices and rates of interest and inflation* »). Elles peuvent aussi être des sorties d'autres modèles (Sands et Podmore, 2000 : « *A performance approach was utilized for the ESI, having inputs that were derived from long-term simulations of crop management systems with the EPIC model.*") ou avoir été calculées à partir de relations empiriques (Roche et Jeuffroy, 2000 : « *These four inputs vary from one location-year to another and are calculated from empirical relationships, taking as explanatory variables the main characteristics of the pea stand.*"). Les variables de sortie sont généralement les composantes du rendement d'une culture (Rapidel et al., 2006 : « *The system outputs were restricted to yield and the main yield components.* ») ou différentes quantités d'intérêt agronomique ou environnemental (Brisson et al., 2002 : "*The validation was carried out for the model's output variables, defined as being the final variables of agronomic interest (yield and components, above-ground biomass, flowering and maturity dates, nitrogen contents in the plant and grain, water and nitrogen contents in the soil)*").

Les auteurs s'attachent aussi à décrire leurs hypothèses, notamment en ce qui concerne les relations entre les variables (251 articles comportent les mots clés « hypoth* » ou « relation*»). Le rôle de l'expérimentation, pour la mise au point de ces relations, est fondamental, ainsi que les différentes techniques statistiques souvent appliquées conjointement (e.g. Reddy et al., 1999 : *« An experiment was conducted in naturally lit plant growth*

chambers to determine the influence of temperature and atmospheric [CO2] on cotton (Gossypium hirsutum cv. DPL-51) boll and fibre growth parameters.").

L'étape de paramétrisation est une étape clé, même si la lecture des résumés uniquement ne permet pas de rentrer dans le détail de cette étape. La détermination des paramètres est capitale pour les modèles de culture car elle a souvent des conséquences fortes sur les sorties du modèle (Wallach et al., 2002 ; Makowski et al., 2006). L'expérimentation et les données issues de la littérature jouent là aussi un rôle majeur (Hill et al., 2006 : « *Parameters describing leaf area expansion, biomass accumulation, and partitioning were derived from field experiments, and other essential parameters were assumed from similar tropically adapted legumes.* »). La calibration est une étape fréquemment citée et recoupe en partie la notion de paramétrisation puisqu'elle modifie la valeur des paramètres : il s'agit d'ajuster la valeur des paramètres au cas d'étude et donc aux données expérimentales sur lesquelles le modèle est établi ou testé. La calibration serait donc une sous partie de la paramétrisation en liant le choix de la valeur du paramètre à des données expérimentales. Néanmoins la distinction est souvent peu nette dans les articles que nous avons explorés et nous ne pouvons garantir que la distinction que nous proposons de faire entre calibration et paramétrisation soit celle faite par les auteurs. Nous proposons donc dans la suite d'inclure la calibration dans le problème de la paramétrisation (Piara et Virmani, 1996 : «*Using the experimental data of the 1984 and 1986 seasons, the model was calibrated for cultivar-specific parameters of cv. Annigeri and JG 74 and also for soil parameters determining water balance of the root-zone.* »). Nous avons compté 285 articles comportant les mots-clés "paramet*" ou "calibrat*".

Enfin, l'étape d'évaluation apparaît de façon importante dans les résumés (388 articles comportent les mots-clés « evaluat* » ou « valid* »). Des indicateurs de la qualité statistique (R^2, Root Mean Square Error) sont couramment employés pour évaluer les performances du modèle et leurs valeurs apparaissent très fréquemment dans les résumés (pour illustration, 95 de nos 718 articles comportent les sigles R^2 ou RMSE dans le résumé). Là encore, l'expérimentation est classiquement utilisée pour fournir des données réelles auxquelles seront comparées les sorties du modèle (Landa et al., 1999 : « *Data from 1992 were used in calibrating RZWQM, and data from two other years (1991 and 1993) at the same site were used for validation. Crop growth predictions were compared with observed values of leaf, stem, and seed biomass collected throughout the growing season.*"). Plus rarement, les auteurs comparent les outputs avec l'expertise d'acteurs (Schmidt et Bothma, 2006 : « *These values are in line with observational data from sorghum plant breeders, who use an isolation distance of 100 m to achieve less than 1% genetic pollution.* »). Ils peuvent aussi effectuer des analyses de sensibilité pour évaluer la robustesse du modèle (Letcher et al., 2006 : « *This paper presents results from a sensitivity analysis of the model to changes in various input assumptions.* »).

Si nous avons trouvé beaucoup d'articles mentionnant ces différentes étapes dans notre base de données, nous avons en revanche trouvé très peu d'articles s'attachant à décrire la démarche de conception de modèle dans sa globalité et avec un accent mis sur la méthodologie de conception. C'est donc par comparaison des articles et de

Démarche classique

Nous avons récapitulé ci-dessous les étapes que l'on retrouve régulièrement dasn les articles de notre base de données, étapes qui, rassemblées, nous permettent de définir, une démarche de conception « type ».

1. Définition du problème à modéliser et des objectifs du modèle
2. Définition de la forme globale du modèle (dynamique, statistique, d'optimisation, d'aide à la décision…)
3. Définition des variables d'entrées et de sorties
4. Définition des hypothèses de fonctionnement permettant d'établir les relations liant les variables. C'est ce que nous avons appelé la définition des formalismes du modèle
5. Choix et détermination des valeurs des paramètres, calibration
6. Evaluation du modèle par une gamme large de méthodes même si la confrontation des résultats du modèle aux données expérimentales domine.

Cadre A-2 : la démarche "type" de conception de modèles agronomiques identifiée par l'analyse bibliométrique

leur ressemblance que nous avons pu établir l'occurrence régulière d'étapes clés, largement utilisées, ce qui nous permet de reconstituer une démarche « type » de conception de modèles en agronomie. Nous avons récapitulé dans le cadre A-2 les étapes qui nous semblent constituer cette démarche « type ».

2.3.2 Une démarche de conception segmentée et axée sur la validation

La lecture des résumés a permis de mettre en lumière la tendance à la segmentation de la démarche de conception. En effet, il est rare de trouver des articles qui décrivent l'ensemble des étapes évoquées ci-dessus. Pour quantifier cette tendance, nous avons fait une recherche de mots-clés de plusieurs des étapes que nous avons identifiées dans le paragraphe précédent. Par exemple, nous avons montré dans la partie précédente que nous avions 285 articles comportant les mots-clés « paramet* » ou « calibrat* » et 388 articles qui comportaient les mots-clés « evaluat* » ou « valid* ». Or nous ne trouvons que 142 articles qui comportent à la fois les mots clés relatifs à la paramétrisation et à la validation. Plus encore, seuls 46 articles comportent des mots clés de ces étapes associés à ceux utilisés pour décrire les hypothèses sous-jacents aux formalismes (« hypoth* » ou « relation *»). A l'inverse, la recherche indépendante de ces trois séries de mots-clés (« paramet* » ou « calibrat* » ou « evaluat* » ou « valid* » ou « hypoth* » ou « relation *») sélectionne 601 articles, ce qui montre bien le fractionnement des étapes traitées dans les articles. On constate aussi une prédominance des étapes de paramétrisation et de validation. D'ailleurs, ces deux étapes font l'objet d'articles méthodologiques spécifiques, présents dans notre base de données initiale : pour la paramétrisation, Mayer et al. (2001); Gabrielle et al. (2002); Wallach et al. (2002); pour la validation Analla (1998) ; Gauch et al. (2003).

Une autre forme de segmentation de la démarche de conception réside dans la participation de plusieurs chercheurs ou groupes de chercheurs à la conception du modèle. L'un prend en charge la définition du modèle, les autres contribuent à l'évaluation, à l'amélioration, etc. Cette forme de segmentation, représentée majoritairement par la multi-évaluation (plusieurs évaluations du modèle dans des conditions différentes et parfois par des équipes de recherche différentes), se voit particulièrement bien dans la conception de « gros » modèles qui connaissent un certain succès dans la communauté agronomique (CERES, CROPGRO, APSIM, STICS, RZWQM, etc), mais existe aussi sur des modèles qui ont une notoriété moins forte.

2.4 Une démarche qui n'est pas pensée par rapport à un usage ou une utilisation

Il serait non fondé de dire que les agronomes concepteurs de modèles ne réfléchissent pas à la méthodologie de conception des modèles. Chacune des étapes est élaborée avec soin et argumentée. Il existe d'ailleurs des articles méthodologiques centrés sur ces étapes.

Ce qui nous semble devoir être souligné, c'est que cette méthodologie n'est pas raisonnée par rapport à un usage ou une utilisation. D'une part, comme nous l'avons vu, la plupart des auteurs ne définissent aucun usage ou aucune utilisation dans leurs articles : cela montre qu'ils ne relient pas leur façon de concevoir le modèle et ce à quoi il va être ensuite utilisé.

D'autre part, bien que nous ayons dans notre base de données 35% d'articles mentionnant un usage dont la moitié hors de la recherche, la méthodologie de conception citée dans ces articles se distingue peu de celle évoquée dans les autres articles. Plus précisément, nous faisons le constat que ces articles présentent également la démarche de conception de façon segmentée et non globalement. Or le fait de concevoir un modèle pour un usage ou une utilisation implique pour nous une réflexion globale, dans la façon de poser le problème à modéliser, dans la façon de construire le modèle, de le paramétrer et de le valider. De fait, si nous mettons ces éléments en rapport avec l'échec de la diffusion des modèles, nous pouvons en conclure que la démarche des concepteurs, assez standardisée, est certes efficace du point de vue de la production scientifique, abondante, mais on peut s'interroger sur son efficacité lorsque l'utilisation des modèles hors de la recherche est visée. Il convient sans doute ici de mettre ces résultats sur les liens usage/conception en perspective des politiques de publication des revues scientifiques. Les auteurs peuvent publier sans exposer de liens entre conception et usage. Il est donc possible que les auteurs réfléchissent à ces questions mais n'en fassent pas état parce que le plan standard sur la conception des modèles dans les revues ne leur en laisse pas la place. Le fait que 2/3 des auteurs ne citent aucun usage ou utilisateur à leur modèle en est peut être une preuve. Une autre peut être identifiée dans le fait que les quelques auteurs qui développent l'ensemble de leur démarche le font dans des articles segmentés en plusieurs parties : la première partie traite classiquement de l'aspect théorique et de la structure mathématique du modèle, tandis que la deuxième partie va être consacrée à l'évaluation des performances du modèle (dans notre base de données, trente-deux publications scientifiques ont ainsi été décomposées en deux, voire trois parties). Si tel est le cas, il nous semble d'autant plus important d'essayer de montrer ce qu'une réflexion sur ce lien conception / usage peut apporter aux agronomes et de mettre en évidence l'importance de publier sur ce point.

3. Quelle place pour les utilisateurs dans la conception de modèles agronomiques ?

Dans le paragraphe 1, nous avons évoqué rapidement le fait que plusieurs auteurs avaient proposé des diagnostics à la non-diffusion des DSS mettant en cause la façon de les concevoir, notamment le manque d'implication des utilisateurs et la nécessité de les faire participer à la conception. Ils encouragent alors d'utiliser des méthodes de conception plus participatives (appelées participatory research ou user-centered design) en affirmant qu'on ne peut concevoir efficacement pour des utilisateurs sans les impliquer, pour mieux percevoir leurs besoins, pour mieux comprendre comment ils travaillent, et pour proposer des modèles mieux adaptés à leurs contraintes de travail. Ces méthodes sont par ailleurs assez répandues en agronomie dans le champ de la conception de systèmes de culture et notamment dans les pays en développement (Reijntjes et al., 1992 ; Chambers, 1994 ; Farrington, 1997 ; van Veldhuizen et al., 1997). Afin de cerner la place de ces méthodes dans la conception des modèles agronomiques, et éventuellement leur impact pour les modèles produits, nous avons exploré la base de données décrite dans le paragraphe I.2 de ce chapitre en recherchant des éléments sur l'implication des utilisateurs.

Mots-clés pour extraire les articles traitant d'implication des utilisateurs dans la conception	répartition dans les 46 articles (identifiés parmi 718 grâce aux 5 mots-clés)	répartition sur les 27 articles (après tri dans les 46 articles)
Participat	17	*10*
Survey	21	*11*
Interview	5	*4*
Collaborat	3	*1*
Partner	*2*	*1*

Tableau A-2 : nombre d'articles que la série de mots-clés sur l'implication des utilisateurs a permis d'extraire de la base de donnée de 718 articles

Dans cette partie, nous avons cherché à extraire de notre base de données tous les articles qui impliquaient des utilisateurs dans la phase de conception des modèles. Utilisant au départ seulement le terme « *participat* » pour une recherche systématique en référence à la conception participative et les termes de «*participatory research* » ou « *participatory design* », nous avons repéré que les auteurs utilisent aussi des mots différents pour décrire une implication des utilisateurs dans le processus de conception. Nous avons donc introduit, en plus de « *participat* », quatre autres mots pour effectuer une recherche systématique dans la base de données finale (mots-clés «*survey** », « *partner** », « *interview** » et « *collaborat** »). Cette recherche par ces 5 mots-clés a donné une base de 46 articles parmi nos 718 articles. Après lecture des abstracts, nous avons retenu seulement 27 articles relevant effectivement d'une forme de collaboration entre les chercheurs et les futurs utilisateurs, ce qui témoigne d'ores et déjà d'une faible importance de ces méthodes dans la conception de modèles (inversement au champ de la conception de systèmes de culture que nous évoquions au-dessus) (tableau A-2). Ceux qui ne nous semblaient pas rentrer dans le champ d'étude sont, par exemple, des articles qui font cas de « *soil survey* » (Roygard et al., 2002 : « *Yields were determined by overlaying georeferenced yield maps, order-1 soil survey maps, and locations of TDR probes.* »), ceux qui emploient le mot « *participat* » dans son sens général de contribuer (Lescourret et al., 1999: « *Irrigation scheduling participates with the rainfall regime in the calculation of a series of water stress effects at the plot level, affecting individual fruit growth rates.* ») et ceux qui ne font pas allusion à une implication dans la conception (Tschakert, 2004 « […] *would be necessary to achieve equitable and efficient local participation in carbon sequestration schemes.* »).

Nous avons cherché à comprendre quel statut était donné aux utilisateurs dans la conception, à quel moment et avec quelle intensité cette collaboration avait lieu en explorant plus précisément ces 27 articles.

Tout d'abord, les chercheurs peuvent faire appel aux acteurs de terrain pour obtenir des données pour paramétriser et calibrer les modèles (les modèles n'ont alors bien souvent pas d'objectif opérationnel). Souvent, la collaboration ne va pas plus loin, les acteurs de terrain n'étant généralement pas conviés aux autres étapes de la conception. (e.g. Bamire et al., 2002 ; Petersen et al., 2002 ; Harashina et al., 2003 ; Komatsu et al., 2005).

Les données recueillies auprès des acteurs de terrain dans les collaborations chercheurs / utilisateurs servent parfois à modéliser le processus de prise de décision des agriculteurs et à conceptualiser leur représentation de leurs systèmes (Geoghegan et al., 2001 ; Bamire et al., 2002 ; Aubry et al., 2006 ; Iqbal et al., 2006). Malgré ce travail d'investigation auprès des acteurs du terrain, les auteurs de ces modèles conceptuels évoquent rarement leur intégration dans des modèles biophysiques ou biotechniques pour aller vers un usage, même s'ils en parlent parfois en perspective. Par exemple, Aubry et al. (2006) concluent en ces termes : « *This representation […] can also serve as a basis to build computer models to help agricultural stakeholders evaluate and improve management strategies at the farm or, even, community levels.* ».

Mais l'étape la plus citée dans un processus de co-conception est l'étape d'évaluation du modèle. Groote et Traore (2005) comparent les résultats simulés par leur modèle avec les estimations visuelles des agriculteurs, Rapidel et al. (2006) évaluent leur modèle avec des

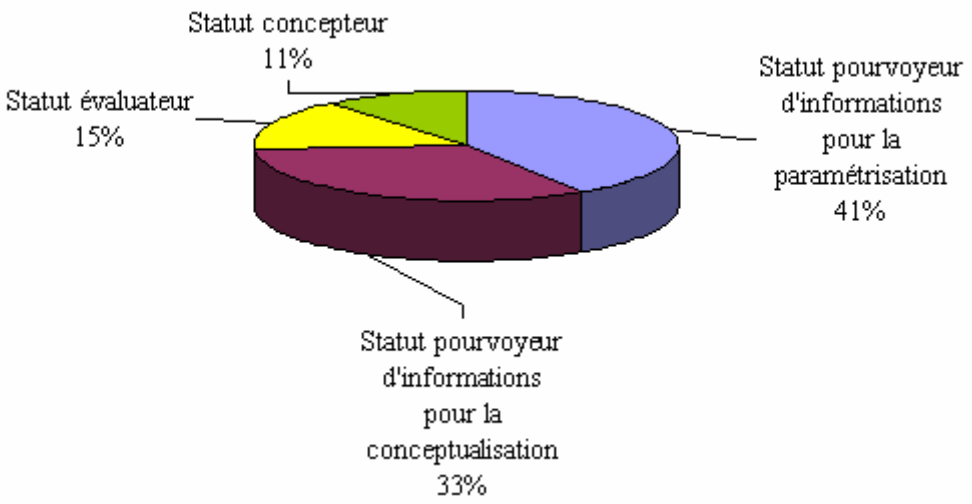


Figure A-7 : Catégorisation du statut des acteurs non chercheurs impliqués dans la conception de modèle dans les articles extrait de la base de données finale.

agriculteurs partenaires, tandis que Nesme et al. (2006) ont, en plus des indicateurs statistiques classiques, fait appel aux agriculteurs pour leur expertise (« *The qualitative evaluation of generated schedules was performed during interviews with farmers. Farmers were asked to evaluate the model with reference to their own practices.* »). Dans ce cas, les non chercheurs ont le statut d'évaluateurs.

Enfin, nous avons relevé quelques cas où les auteurs avaient impliqué les futurs utilisateurs du modèle tout le long du processus de conception, leur donnant ainsi un statut de concepteur au même titre que les chercheurs. Seuls 3 articles rentrent dans ce cas de figure. Cain et al. (2003) proposent d'adopter une méthodologie nouvelle dans la construction des DSS. Au lieu de conserver leur statut de concepteur de modèle, les chercheurs ont mis en place un outil qui permet aux non-spécialistes de construire eux même leur DSS. Dans leur travail, les auteurs ont mis cet outil de conception à la disposition des responsables politiques d'une région agricole pour résoudre des problèmes d'aménagement. En collaboration continue avec les chercheurs et des agriculteurs, organisés en ateliers de travail (« *The first workshop was attended by representatives of all government organisations involved with agriculture in the basin while the remaining two were attended by different farmers from the head and tail of the basin respectively* »), les acteurs ont cherché à faire l'inventaire des problèmes rencontrés dans la région et des solutions possibles pour produire un DSS. Higgins et al. (2004) ont réalisé un travail participatif avec l'ensemble des acteurs de la filière canne à sucre afin d'optimiser les calendriers de récolte. A travers une démarche d'« *action learning* », les chercheurs ont largement collaboré avec différents types d'acteurs (« *growers, harvester contractors and millers collectively* ») à la fois pour réaliser indirectement des modèles préliminaires, en étant au plus près des besoins du terrain, mais aussi pour implémenter le système tout le long de la filière (« *The researchers and industry participants in the project collectively learned, as a result of the workshop, how to better incorporate potential grower and harvester contractor concerns in the modelling and pathway towards implementation. The industry partners were more confident of success as the project progressed because of this level of participation*»). Enfin, les auteurs du programme FARMSCAPE (Carberry et al., 2002) ont travaillé avec des agriculteurs et des conseillers au cours de deux phases distinctes : le travail sur le modèle de simulation APSIM, préalablement conçu mais remis en mouvement dans le processus, et le transfert de l'outil. Ils ont pour cela établi des relations avec 230 agriculteurs, constitués en 28 groupes de travail, et 15 conseillers agricoles qui ont conduit 30 essais au champ et ont organisé de nombreuses sessions chez les agriculteurs (« *kitchen table simulation sessions* » sous forme de règles de décision « SI condition ALORS décision »).

Nous avons donc identifié 4 statuts différents des utilisateurs impliqués dans la conception des modèles (figure A-7). Cependant, le poids accordé à chacun des statuts n'est pas équilibré. Les chercheurs sollicitent les non chercheurs à plus de 70 % uniquement pour obtenir des données utiles pour la conception d'un modèle. Les démarches d'implication tout le long du processus restent anecdotiques.

Peut-on corréler les démarches de conception de modèles impliquant des utilisateurs à des réussites en terme d'outils, c'est-à-dire à la production de modèles qui soient utilisés ? Les données manquent pour établir une telle relation. Parker (1999) en parle ainsi : « *where papers*

do exist, they tend to describe the development and launch of the system rather than its use". Dans son étude comparative de 9 expériences de développement de DSS, McCown (2002a) dit même qu'une forte participation des utilisateurs (ou d'intermédiaires) dans le développement des systèmes n'a pas invariablement abouti à une plus grande utilisation du modèle. Mais qu'est-ce qui se joue réellement dans l'interaction des chercheurs et utilisateurs autour de la conception d'un outil ? Les trois articles que nous avons étudiés ci-dessus soulignent un impact positif de l'implication des futurs utilisateurs dans la conception. Pour Cain et al. (2003), cette implication se situe dans le champ des apprentissages du côté des utilisateurs. Le travail a permis de construire un cadre aux discussions entre les personnes en charge de l'aménagement et de leur permettre de proposer un outil de gestion qui tienne compte d'approches multi-disciplinaires. Higgins et al. (2004) situent l'impact de leur travail également du côté de changements des pratiques des utilisateurs puisqu'ils revendiquent le développement de plannings de récolte basés sur des calculs mathématiques. Carberry et al. (2002) mettent enfin en évidence le succès du transfert de leur modèle comme outil d'apprentissage et d'exploration de techniques agricoles innovantes. Là encore, ce sont donc les apprentissages pour les utilisateurs qui sont mis en avant, sans pour autant que beaucoup de données ne soient montrées pour appuyer ces éléments. Et qu'en est-il des apprentissages pour les concepteurs ? Et comment cela se traduit-il dans la façon de construire les interactions avec les utilisateurs ? Les quelques exemples de notre base de données laissent un flou sur ce point, visible ne serait-ce que dans la façon de parler de la méthodologie : certains parlent de « participatory research » ou de « participatory approach », d'autres de « partnership et d'expert knowledge », d'autres de « user-centered design », d'autres de « prototyping ». Il nous semble que cela témoigne d'objectifs différents mais aussi de cadres théoriques de référence différents. La réponse se trouve dans l'exploration des disciplines de sciences sociales qui traitent de la conception et de la participation des acteurs. En effet, l'agronomie n'ayant pas encore bien conceptualisé les liens entre conception de modèle et usage, il nous semble important de nous référer à des disciplines qui en ont au contraire fait un objet de conceptualisation.

Conclusion : La conception des modèles agronomiques suit une méthodologie assez standardisée et peu valorisée en tant que telle dans la bibliographie. Cette méthodologie n'est pas réfléchie en fonction d'un usage ou d'une utilisation, d'autant que les concepteurs sont peu nombreux à y faire explicitement référence. Elle est efficace en termes de production scientifique mais on peut questionner son efficacité pour produire des modèles utilisés.

Certains concepteurs de modèles se réclament de l'objectif de concevoir des modèles qui soient utilisés au delà de la recherche. Ils mettent en avant l'implication des utilisateurs dans la conception. Si cette implication fait évoluer les activités des utilisateurs, comme semblent le suggérer les auteurs qui la pratiquent, il n'est pas totalement clair que le chercheur en tire des conséquences par rapport à la conception de son modèle et par rapport à son activité plus largement. Il est nécessaire de clarifier ce que le chercheur qui adopte une telle méthodologie peut en attendre et doit entreprendre en s'appuyant sur des disciplines pour lesquelles la conception et la participation constituent un objet de recherche.

II. La conception avec les utilisateurs

1. Introduction

La conception est un processus incertain, complexe et non modélisable, malgré les efforts qui ont été faits dans de nombreuses disciplines pour structurer ce processus en étapes, méthodologies et acteurs (e.g. Card, 1996 ; Béguin, 2004a). Différents points de vue ont été adoptés pour débattre de la conception. Le point de vue de l'ingénieur renvoie par exemple au processus de conception en lui-même, sa rationalisation pour une meilleure efficacité (l'ingénierie concourante est une de ces formes de rationalisation, voir par exemple Midler, 1996). Le point de vue des chercheurs travaillant sur la cognition se concentre sur les processus cognitifs en jeu dans l'activité de conception (Simon, 1996 ; Darses et al., 2004). Le point de vue des sociologues se focalise entre autres sur les caractéristiques du processus entre individus et collectifs, les relations de pouvoir entre les acteurs du processus, les modalités de partage des connaissances (Ehn et Kyng, 1987 ; Greenbaum et Kyng 1991). Parmi les travaux de sociologie sur la conception, Akrich (1990, 1993) s'est intéressée aux formes de représentation des utilisateurs dans la conception et aux modèles de l'utilisation, à leur inscription dans les outils. Ce dernier point est aussi largement établi dans le champ de l'ergonomie : le processus de conception implique l'inscription, dans l'objet conçu (outil, système de travail, etc), d'un modèle de l'utilisateur et d'un script de l'utilisation. Concevoir un escalier, par exemple, c'est penser avec le modèle d'un utilisateur valide. « *Tout dispositif technique, tout artefact, mobilise durant sa conception […] une connaissance, une représentation, et au sens le plus large un modèle du fonctionnement de l'utilisateur* » (Béguin, 2004a). L'objet intègre donc un modèle de l'utilisateur et de l'utilisation. C'est ce champ disciplinaire de l'ergonomie que nous avons choisi de mobiliser plus particulièrement dans notre travail car les travaux conduits dans cette discipline ne s'appliquent pas uniquement à constater cette inscription, mais à en tirer des conséquences pour la conception de systèmes techniques et de travail.

2. Une approche de la conception ouverte sur l'utilisateur

2.1 La conception se poursuit dans l'usage

Béguin (2004a) définit la conception comme un processus finalisé, aux dimensions temporelles contraintes (avec des possibilités de choix qui se réduisent au cours du temps) et qui met aux prises une diversité d'acteurs parmi lesquels les utilisateurs. En effet, même si les utilisateurs ne sont pas directement impliqués dans la conception par les concepteurs, ils y participent par l'usage qu'ils font de l'artefact[4] conçu. Nous avons de nombreux témoignages du fait que les opérateurs explorent, interprètent, modifient les outils qu'ils utilisent dans leur travail, par exemple dans le travail sur les formes d'usage de la photographie spécifiques de différents groupes sociaux identifiées par Bourdieu (1965) ou sur les usages imprévus qui ont émergé autour du Minitel (Perriault, 1990). Les usages développés par les utilisateurs, même s'ils sont en partie anticipés par les concepteurs de

[4] Artefact : objet dans sa dimension matériel. Une table est un artefact.

l'artefact, excèdent le plus souvent, et parfois considérablement, ces anticipations. Les ergonomes cités disent que « *la conception se poursuit dans l'usage* » (Béguin, 2004a). L'utilisateur développe donc des usages lorsqu'il fait de l'objet conçu une ressource de son action. Dès lors, l'utilisateur devient un concepteur à part entière. La conception peut alors être vue comme une opportunité de développement (Béguin, 2003 ; Béguin et Cerf, 2004 ; Rabardel et Béguin, 2005). Ce développement se joue sur différents plans : mis en face d'un outil qui peut avoir un sens et une utilité pour eux, les utilisateurs peuvent repenser leur travail ; mis en face des connaissances des utilisateurs dans leur travail, les concepteurs peuvent avoir de nouvelles idées ; soumis à l'utilisation, l'objet conçu peut être transformé. Il ne suffit donc pas de reconnaître une légitimité de concepteur aux utilisateurs au moment de l'utilisation. Il s'agit également de leur reconnaître une légitimité à participer au processus de conception pour mieux faire correspondre le produit de la conception à ce que sont les futurs utilisateurs et la façon dont ce produit de conception va s'inscrire dans leur travail. La poursuite de la conception dans l'usage incite donc à considérer l'importance de faire participer l'utilisateur au processus de conception.

2.2 Les raisons à l'implication des utilisateurs

La question de la participation des utilisateurs dans la conception est largement étudiée, notamment dans les courants travaillant sur la conception participative (participatory design) qui apparaît dès les années 60 et qui prône d'impliquer les utilisateurs dans le processus de conception de tout objet ou projet (voir par exemple Bjerknes et Bratteteig, 1995 pour un historique de la participation dans les pays nordiques au-delà de la question de la conception). Nous utiliserons dans la suite le terme « conception participative » sachant que l'idée d'impliquer les utilisateurs dans la conception s'est exprimée sous de nombreuses autres dénominations : conception centrée sur l'utilisateur, conception par les utilisateurs, conception en partenariat, co-conception…

Il existe de nombreuses variantes dans la littérature sur ce que peut recouvrir la notion de « participation » et sur les façons de la pratiquer. Muller et Kuhn (1993) ont par exemple dressé une cartographie des méthodes de participation en fonction des personnes qui participent et du moment de la participation dans le processus de conception, qui souligne bien cette diversité. Pretty (1995) insiste d'ailleurs sur la banalisation du terme participation: « *it is such a fashion that almost everyone says that participation is part of their work* ». Il défend la participation comme moteur de la durabilité mais regrette qu'on prétende faire de la participation à tout propos, y compris dans des projets pour lesquels les participants n'ont plus aucun intérêt : « *many […] activities which are termed 'participatory' do not conform to [our] definition, because they provide stakeholders with little or no influence, such as when they are involved simply as passive recipients, informants or labourers in a development effort* ». Il propose d'ailleurs une typologie de la participation allant de la « *manipulative participation* » à la « *self mobilization* » basée sur l'étude de plusieurs centaines de cas (Pretty, 1995). Ce point de vue d'une banalisation est particulièrement intéressant et nous pousse à revenir plus précisément sur les raisons qui justifient de recourir à la participation des utilisateurs dans la conception. Nous retrouvons un postulat minimal de départ chez tous ces auteurs :

- Ergonomie : Ergon (travail) et nomos (règles) = adaptation du travail à l'homme
- « L'ergonomie peut être définie comme l'adaptation du travail à l'homme, ou, plus précisément, comme la mise en œuvre de connaissances scientifiques relatives à l'homme et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité » (SELF, 1970)
- « l'ergonomie est la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système, et la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le bien-être des personnes et la performance globale des systèmes. Les praticiens de l'ergonomie, les ergonomes, contribuent à la planification, la conception et l'évaluation des tâches, des emplois, des produits, des organisations, des environnements et des systèmes en vue de les rendre compatibles avec les besoins, les capacités et les limites des personnes » (IEA, 2000)

Cadre A-3 : Définition de l'ergonomie adoptée en 1970 par la Société d'ergonomie de langue française puis celle établie au niveau international en 2000 par l'International Ergonomics Association (Falzon, 2004)

les utilisateurs pour lesquels on conçoit détiennent une connaissance, un savoir-faire, une expertise. Nous avons qualifié ce postulat de minimal car des nuances importantes se jouent dans la façon dont cette connaissance est définie et la façon dont on peut y accéder. Nous suivons notamment Béguin (2004a), Daniellou (2004), Darses et Reuzeau (2004) ou von Hippel (2005) pour dire que ce qui se joue lorsqu'un utilisateur met en œuvre le produit d'un processus de conception n'est pas uniquement de l'ordre d'une connaissance ou d'une expertise qui serait facilement extractible au moyen d'enquêtes ou d'observations par exemple. L'utilisateur mobilise des ressources dans un contexte d'utilisation qui lui est propre et qui s'est construit en fonction de nombreux paramètres, autant d'éléments que, d'après ces auteurs, les concepteurs gagneraient à prendre en compte dans le travail de conception. Et ce plus encore lorsqu'il s'agit de concevoir des outils ou des systèmes pour le travail d'autrui, sujet qui nous intéresse tout particulièrement. L'acteur au travail porte en lui des compétences, une expérience et des savoir-faire que le concepteur peut valoriser pour enrichir le processus de conception.

Là où se crée une diversité, c'est dans les objectifs qui sont donnés à la participation. Comme le rappellent Béguin (1998) ou Darses et Reuzeau (2004), on peut distinguer deux grandes finalités à la conception participative :

- une finalité idéologique de démocratie au travail (workplace democracy), qui correspond plutôt aux premiers travaux en Scandinavie qui reposaient sur des dynamiques syndicalistes,
- une finalité d'efficacité dans la conception, basée sur la prise de conscience de la complexité du processus, qui est davantage celle développée à partir des années 1980-1990 par les chercheurs américains, notamment dans le domaine des nouvelles technologies, de l'informatique et des logiciels (Suchman, 1988 ; Schuler et Namioka, 1993 ; Kensing et Blomberg, 1998).

Si notre objectif de développement nous rapproche de la finalité de démocratie locale puisqu'il passe par la reconnaissance de la légitimité de l'utilisateur à participer à la conception, nous dépassons les enjeux de rapports de force qui nous semblent ceux traduits par les termes « manipulation » ou « mobilisation » employés par Pretty pour nous rapprocher d'une recherche d'efficacité. S'il est nécessaire de reconnaître la légitimité des acteurs dans la conception, il faut également reconnaître celle des concepteurs. Comme le disent Béguin et Rabardel (2000) : « *Nous pensons que la conception doit être appréhendée comme un processus cyclique, d'usage et de recherche de solutions techniques, à l'occasion duquel il faut mettre en résonance l'inventivité des utilisateurs et celle des concepteurs* ». Les utilisateurs ont une place dans le processus de conception et y participent avec leurs ressources et compétences qui ne sont pas les mêmes que celles des concepteurs. Nous souhaitons donc prendre une position qui articule à la fois le développement et l'efficacité, position qui est largement celle de l'ergonomie comme en témoignent les définitions que la discipline s'est donnée (cadre A-3). Cette position nous renvoie à savoir quelle intervention construire dans la démarche de conception, pour que la participation permette d'aboutir sur le double enjeu d'efficacité et de développement.

C'est cette vision de la participation que nous souhaitons retenir : une participation motivée par le développement conjoint des artefacts (de l'objet matériel en cours de conception) et des activités.

3. Comment penser le processus de conception en lien avec le développement ?

3.1 Différents objectifs dans la conception

Durant le processus de conception, le concepteur peut prendre des positions différentes, en fonction d'objectifs qui ont été éclairées par Béguin (2004b, 2007). Plus précisément, c'est en cherchant à éclairer le travail des ergonomes qui s'intéressent à l'activité **pour** la conception (c'est-à-dire celle de l'ergonome faisant des propositions opératoires de conception favorables à la prise en compte de l'activité des utilisateurs potentiels) que Béguin (ibid.) ou Béguin et Cerf (2004) définissent des positions qui nous semblent également être celles explorées par les concepteurs.

En actant qu'un outil véhicule une représentation de l'usager et de l'usage, le concepteur *cristallise* une connaissance, une représentation, et au sens le plus large un *modèle* de l'utilisateur et de son activité. Or une fois cristallisés dans l'outil en cours de conception, et véhiculés dans les situations de travail, ces modèles peuvent être sources de difficultés pour les personnes (voire d'exclusion) s'ils sont faux ou insuffisants. Béguin prend l'exemple suivant : *« Prévoir des escaliers pour accéder aux locaux repose sur la représentation de sujets valides qui, une fois cristallisée dans l'artefact, s'impose à tous, au risque d'exclure des personnes en fauteuil roulant : ces dernières ne pourront pas accéder à l'étage.* » La conclusion qui s'ensuit est que conception des artefacts (dimension matérielle) et conception des usages (dimension de l'utilisation) s'effectuent conjointement. Or cela nécessite une compréhension fine de l'activité dans laquelle l'outil en cours de conception est censé s'insérer. Sont donc nécessaires ici des outils d'analyse de l'activité des utilisateurs potentiels.

Le deuxième objectif repose sur le postulat que la conception est ontologiquement déficitaire, c'est-à-dire que quelles que soient l'ingéniosité et la rigueur du concepteur, l'outil créé sera forcément remis en mouvement, instrumenté et instrumentalisé par l'utilisateur et l'usage qu'il fera de l'outil. Il devient alors contre-productif de pré-écrire complètement l'acte de travail et l'usage qui doit être fait d'un outil. Le concepteur est alors amené à se placer dans une position de *plasticité*. Définie par Béguin, cet objectif consiste à « *concevoir des systèmes suffisamment souples et plastiques pour laisser à l'activité en situation des marges de manœuvre suffisantes pour rendre la technique plus performante, tant au plan de l'efficacité productive qu'au plan de la santé des opérateurs* ». Cet objectif est d'autant plus nécessaire qu'un outil se conçoit généralement pour une diversité d'acteurs et de situations de travail. Il est donc nécessaire d'avoir une bonne vision de la diversité des actions dans lesquelles l'outil en cours de conception pourra être utilisé (ce qui nous renvoie à la nécessité d'avoir des outils d'analyse de l'activité) mais aussi de donner à l'outil conçu des propriétés lui permettant d'être un médiateur efficace pour l'activité des utilisateurs.

Enfin, en postulant que développement des outils et développement de l'activité doivent être envisagés conjointement dans la conduite d'un projet de conception, le concepteur peut se fixer un objectif *développemental*. Cet objectif s'appuie sur les deux premiers : « *de la première approche (cristallisation), [il] reprend l'idée qu'il faut appréhender conjointement la conception de l'artefact et des usages. De la seconde (plasticité) [il] conserve l'idée que l'efficacité des dispositifs ne repose pas uniquement sur les artefacts, mais également sur l'activité des sujets en situation* ». Il dépasse en fait l'objectif de plasticité : le concepteur n'est pas dans la recherche d'un outil flexible mais bien dans la recherche de propriétés intrinsèques de l'outil qui en feraient un moyen d'interrogation, de questionnement, de remise en question éventuellement pour les acteurs. Cet objectif suppose alors d'articuler dans le même processus la spécification des artefacts par les concepteurs et le développement des ressources de leurs actions par l'ensemble des acteurs. Se pose alors la question de savoir quels outils mettre en œuvre dans une démarche de conception pour susciter un processus de développement autour de l'outil en cours de conception.

Notre hypothèse pour la suite de notre travail est qu'il est nécessaire d'articuler ces trois objectifs (cristallisation, plasticité, développement) dans un processus de conception. Se pose alors la question des outils conceptuels et méthodologiques pour conduire un tel processus de conception.

3.2 Quelle analyse de l'activité pour atteindre ces différents objectifs ?

3.2.1 Analyser l'activité pour reconfigurer les situations de travail

L'ergonomie de langue française s'est constituée autour d'une distinction fondamentale entre la tâche et l'activité. La tâche est « *ce qui est à faire, ce qui est prescrit* » alors que l'activité est « *ce qui est fait, ce qui est mis en jeu par le sujet pour effectuer la tâche* ». L'activité est finalisée par le but que se fixe le sujet, à partir du but de sa tâche (Falzon, 2004). C'est dans les différences qui peuvent exister entre tâche et activité que se trouvent les savoirs, savoir-faire et savoir-être développés par le sujet. Sa connaissance de son travail le conduit à privilégier telle action ou telle autre, pas forcément celles qui lui étaient prescrites à l'origine, parce qu'elles lui permettent d'atteindre son but « mieux » : plus efficacement, plus rapidement, en se mettant moins en danger, etc.

L'enjeu est donc de comprendre l'activité des acteurs en allant au-delà de la tâche qui leur a été fixée. Or il n'est pas facile de définir l'activité parce qu'elle est intégratrice. L'acteur fait la somme de déterminants variés pour établir sa ligne d'action : les moyens dont il dispose, les règles auxquelles il doit se soumettre, le rôle des collectifs qui l'entourent mais aussi des déterminants personnels, relevant de son histoire, son expérience, ses projets… (Daniellou et Beguin, 2004). L'analyse de l'activité doit alors être un compromis entre efficacité et souci du détail. Il ne s'agit pas de viser « *l'exhaustivité de la compréhension des mobiles de l'action de tel opérateur dans telle situation* » mais de proposer « *une modélisation qui éclaire les questions posées et ouvre à un ensemble d'acteurs de nouvelles possibilités d'action* » (Daniellou et Beguin, ibid.), tout en tenant compte de la diversité et de la variabilité : diversité et variabilité des acteurs-utilisateurs qui sont multiples et qui sont dans des dispositions variables, diversité et

variabilité des situations de travail elles-aussi contrastées et en évolution (Daniellou et Beguin, 2004).

L'analyse de l'activité s'appuie sur plusieurs éléments (Daniellou et Béguin, ibid.) : (i) des connaissances générales sur l'être humain, sur le fonctionnement des collectifs dans lesquels il évolue, (ii) des recommandations générales ou normes ergonomiques, (iii) une bibliothèque de situations, qui comporte une base de cas que l'ergonome mobilise pour s'inspirer de définitions de problèmes, démarches, solutions qui se sont avérées éclairantes dans des cas similaires, et (iv) des méthodes de caractérisation des situations existantes. Dans ces méthodes de caractérisation, on trouve l'analyse du travail *via* l'observation de ce que fait (très concrètement) l'acteur et *via* des enquêtes pour explorer les déterminants de cette activité, le questionnement différé sur l'activité où l'ergonome par exemple réinterroge des opérateurs sur ce qu'ils viennent de faire, sur un incident qui s'est déroulé, et les méthodes plus standardisées de grilles d'analyse des actions par exemple. Pour y parvenir, l'ergonome se place dans une situation d'intervention, c'est-à-dire qu'il noue des interactions avec les acteurs tant pour caractériser les situations existantes que pour mettre en œuvre des processus de transformation. L'intervention de l'ergonome n'est donc pas un audit : la compréhension de la situation est un co-produit entre l'ergonome et d'autres acteurs.

Lorsqu'on se place dans une problématique de conception, les données changent un peu : il devient difficile d'analyser une situation qui n'existe pas encore. Une première approche pour dépasser cette limite consiste à s'appuyer sur l'existant pour approcher l'activité future. Daniellou (2004) propose pour cela deux types d'outils. Premièrement, l'analyse de situations qu'il appelle de référence, qui peuvent être soit des situations où les fonctions qui devront être assurées par le futur système sont actuellement assurées sous une autre forme, soit des situations existantes comportant des caractéristiques techniques ou organisationnelles du futur système. Deuxièmement, le recensement des situations d'action caractéristiques, c'est-à-dire des formes de variabilité qui pourront apparaître dans le futur système. L'analyse de l'activité telle qu'elle est proposée ici contribue bien à répondre à deux des objectifs de la conception : la cristallisation de ce qu'est l'activité future dans laquelle sera utilisé l'outil et la plasticité à inscrire dans l'outil pour qu'il soit utilisé quelle que soit la variabilité des actions des utilisateurs. En revanche, cette modélisation nous donne peu de pistes pour initier le développement, car elle ne dit rien sur la façon dont l'outil en cours de conception va remettre en mouvement l'activité, ou plus largement sur la façon dont le travail des concepteurs va remettre en mouvement l'activité. Une telle approche de l'activité pour la conception est d'abord construite pour aider la maîtrise d'ouvrage à mieux intégrer la question de l'activité dans la reconfiguration des situations de travail.

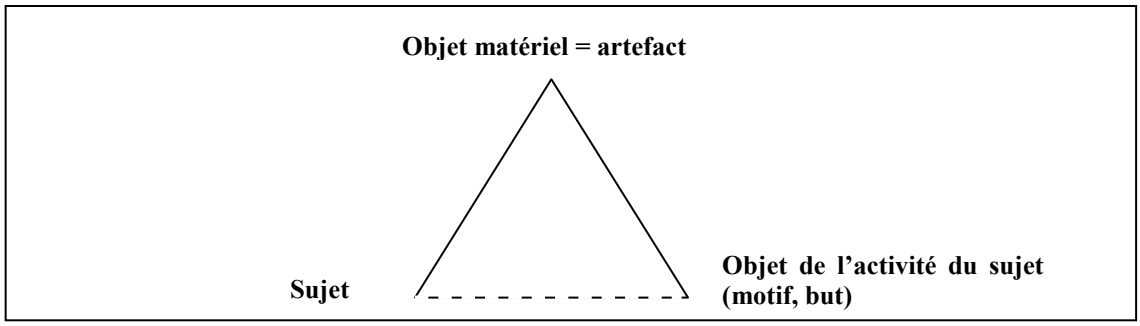


Figure A-8 : l'artefact, un médiateur entre un sujet et son objet

3.2.2 Analyser l'activité dans une perspective développementale

Différents auteurs ont cherché à analyser l'activité dans une perspective développementale. Ils s'appuient sur le cadre théorique élaboré par Vygotski (1978) pour appréhender en particulier le développement de l'enfant. Dans ce cadre, cet auteur s'est intéressé à la médiation qui existe entre un stimulus et une réponse :"*Every elementary form of behavior presupposes direct reaction to the task set by the organism (which can be expressed with the simple Stimulus - Response formula). But the structure of sign operations requires an intermediate link between the stimulus and the response. This intermediate link is a second order stimulus (sign) that is drawn into the operation where it fulfills a special function; it creates a new relation between S and R. Consequently, the simple stimulus-response process is replaced by a complex, mediated act*" (Vygotski, 1978, pp.39-40). A travers cette idée de médiation, se construit une théorie de l'apprentissage et du développement, posant notamment que les objets matériels (les artefacts) peuvent constituer des médiateurs qui permettent à un sujet de résoudre un problème complexe et ainsi d'apprendre (figure A-8).

L'activité dans sa dimension instrumentale

S'inspirant de ce cadre, Rabardel (1995) a proposé la théorie des activités instrumentées en montrant que l'artefact, en tant que médiateur entre un sujet et son objet, acquiert une nouvelle fonction lorsqu'il est utilisé, celle d'instrument. L'instrument est alors une entité mixte : c'est un artefact, mais enrichi, habillé de schèmes[5] d'utilisation. C'est une construction anthropocentrée là où l'artefact n'est que technocentré, car les schèmes d'utilisation sont liés à l'objet de l'activité et orientés vers l'activité finalisée du sujet. En conséquence, l'instrument ne se donne pas d'emblée à l'utilisateur, celui-ci le construit à travers son activité : il peut instituer l'artefact en instrument pour une fonction que le concepteur n'avait pas prévue à l'origine (par exemple lorsqu'on utilise une clé anglaise comme un marteau) ou intégrer l'artefact à ses schèmes d'utilisation qui évoluent en conséquence. Béguin et Rabardel (2000) parlent de genèse instrumentale pour parler de ce double mouvement, de l'artefact et des schèmes. Or ces genèses instrumentales sont porteuses de développement. Du fait de ces genèses, l'outil peut être modifié mais l'activité aussi : l'activité des utilisateurs tout comme celle des concepteurs qui se voient interrogés par ces « détournements » (à leur sens) du produit de leur conception. Pour provoquer ce développement, il faut que l'outil proposé soit suffisamment proche de l'utilisateur pour que celui-ci lui attribue des possibilités d'utilisation, et suffisamment différent de ce que l'utilisateur sait déjà faire pour qu'il ait de l'intérêt. Béguin (2005) reprend la formule de Vygotski de zone proximale de développement pour définir cette « zone » doublement bornée. C'est en faisant évoluer l'artefact dans cette zone qu'il peut devenir un instrument et que les concepteurs peuvent capter les potentialités de développement qui se nichent dans les genèses instrumentales. Cette façon d'aborder l'activité en insistant sur

[5] Concept piagétien, le schème est une structure ou organisation des actions telles qu'elle se transforme ou se généralise lors de la répétition de cette action en des circonstances semblables ou analogues

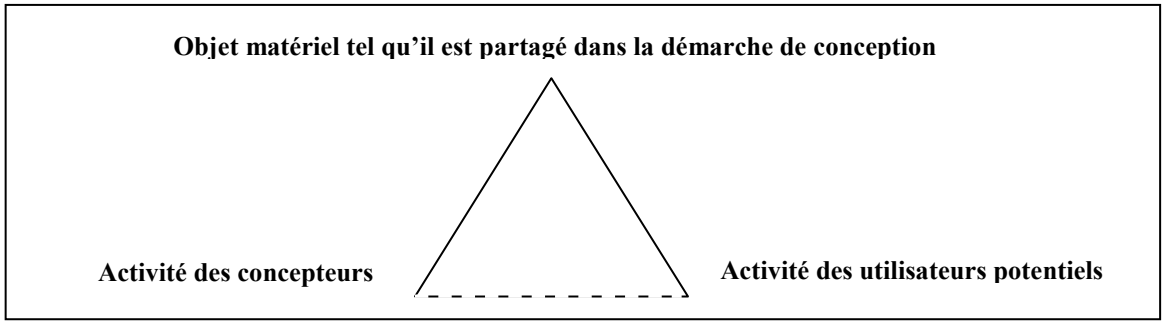


Figure A-9 : par extension, l'artefact constitue un lien entre les concepteurs et les utilisateurs potentiels

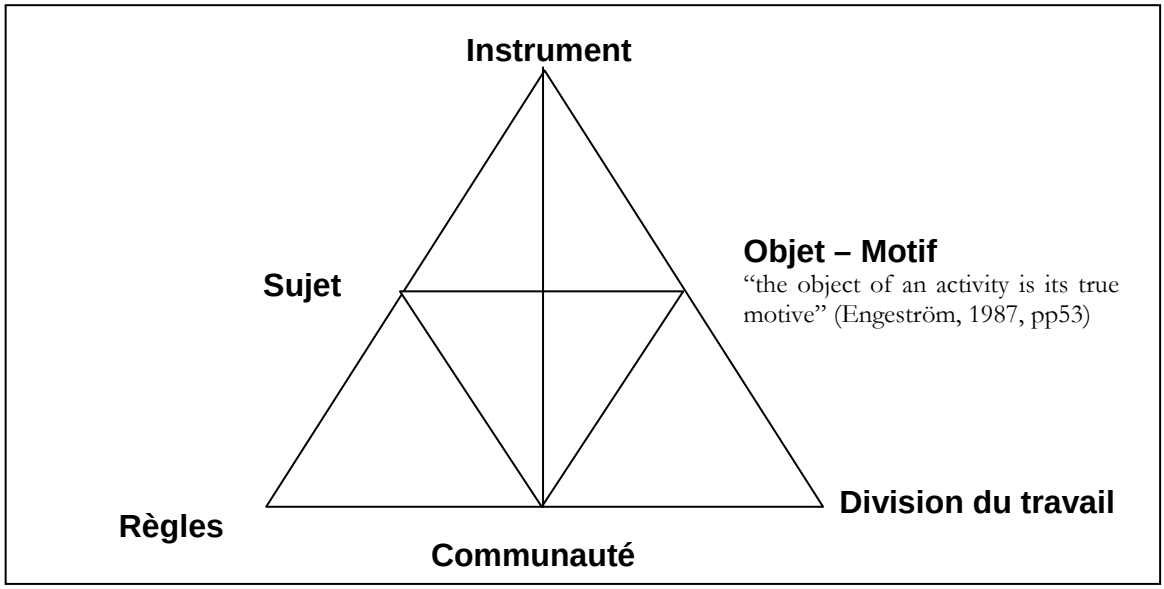


Figure A-10 : la formalisation de l'activité dans sa forme systémique (système d'activité d'Engeström, 1987)

sa composante instrumentale peut aider à penser le développement dans le processus de conception. En effet, l'outil en cours de conception exerce tout d'abord une médiation entre le chercheur et son objet de recherche (le concept représenté dans l'outil). Il est également un médiateur potentiel (c'est-à-dire qui pourrait le devenir) entre l'utilisateur potentiel et son propre objet de travail (voir figure A-8). Il peut donc devenir source de développement à la fois de l'activité des chercheurs engagés dans le travail de conception, et des utilisateurs dès lors qu'ils peuvent manipuler l'artefact, même dans une version provisoire. Il constitue également un lien entre les activités des concepteurs et des utilisateurs. En effet, les concepteurs et les utilisateurs partagent un intérêt commun, l'artefact en cours de conception. La démarche de conception de l'artefact peut donc devenir le lieu d'une confrontation entre ce que mettent les concepteurs dans l'artefact et ce qu'y mettent les utilisateurs (figure A-9).

L'activité dans sa dimension collective

L'approche de l'activité centrée sur la relation médiée par des artefacts laisse un peu dans l'ombre d'autres formes de médiation, celles qui s'inscrivent dans l'organisation collective du travail. Est-il possible d'aborder la question du développement de l'activité dans le processus de conception d'un outil en restreignant l'unité d'analyse à la médiation par l'outil, ou faut-il chercher à appréhender la structure et le fonctionnement collectif de l'activité ? Engeström (1987) propose de considérer que l'ensemble de ces médiations fait système et qu'il est donc nécessaire d'appréhender l'activité dans sa dimension systémique. Il distingue trois formes de médiations par le collectif : (i) les règles qui régissent l'activité, (ii) la communauté des personnes amenées à travailler ensemble pour la réalisation de l'activité, (iii) la division du travail pour aborder les aspects de spécialisation, de hiérarchie, de partage des responsabilités.

Engeström (ibid.) envisage alors le développement dans une perspective historique et culturelle telle qu'elle a été initiée par les travaux de l'école russe de psychologie à la suite des travaux de Vytgotski. Du fait de la définition systémique de l'activité, représentée par un triangle (Figure A-10), un changement dans l'un des pôles du triangle (instrument, objet, division du travail, communauté, règles, sujet) est susceptible de faire bouger l'ensemble du système puisque tous les pôles sont en interaction. Le système d'activité est alors susceptible d'évoluer en un autre système. Dans la perspective culturelle et historique de l'activité, les contradictions qui existent au sein des pôles ou entre les pôles du système sont ainsi le moteur du développement. Ces contradictions peuvent déstabiliser suffisamment le système pour que les sujets ressentent le besoin de le faire évoluer, souvent avec une aide extérieure. Elles peuvent être de plusieurs ordres : les contradictions primaires sont celles existant au sein d'un pôle, les secondaires sont celles existant entre les pôles, les tertiaires et quaternaires sont celles existant entre deux systèmes d'activité. Engeström (ibid.) parle en fait d'*expansion* pour différencier ce qui relève d'apprentissages et ce qui relève d'un véritable développement qui implique un dépassement de ces contradictions au cours de ce qu'il a formalisé comme un cycle d'expansion. Engeström a schématisé dans un cycle d'expansion (figure A-11, au dos) comment le développement était lié au dépassement de ces contradictions (Engeström, ibid.).

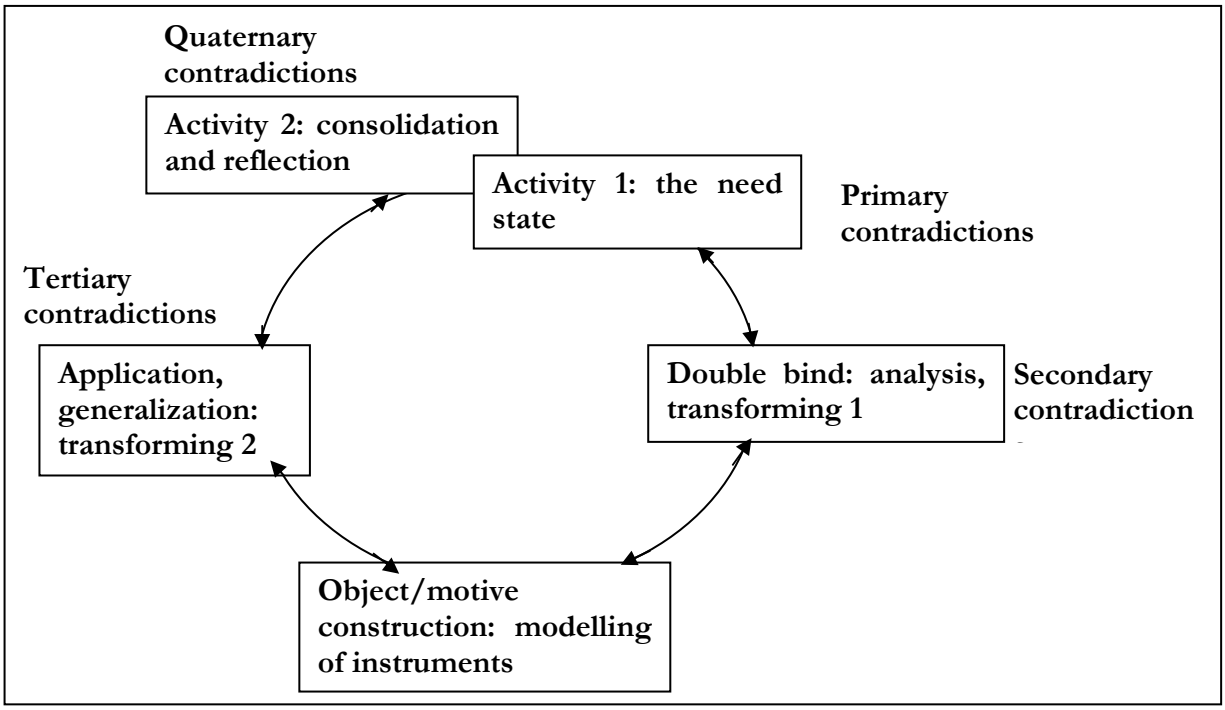


Figure A-11 : Cycle de l'expansive transition (Engeström, 1987)

La première phase du cycle est caractérisée par une aggravation graduelle des contradictions primaires. Elles créent un inconfort intenable (double bind) qui conduit les sujets à transformer leur activité. Apparaissent alors des contradictions secondaires entre les éléments du système. Ces contradictions se manifestent dans des situations inextricables pour les acteurs individuels. Il y a alors redéfinition de l'objet de l'activité, ce qui initie la transformation du système d'activité. Provoquées par les collisions entre les nouveaux et les anciens éléments de l'activité, de nouvelles innovations apparaissent. Dans la dernière phase du cycle d'expansion de l'activité, de nouveaux médiateurs doivent aussi être créés pour assurer l'interaction entre l'activité centrale et ses activités périphériques (Virkkunen, 2006).

Ces deux approches du développement qui reposent sur le même terreau conceptuel de la médiation nous paraissent offrir des éléments théoriques pour construire une analyse de l'activité qui soit opérationnelle dans un projet de conception et notamment pour développer conjointement des activités et des artefacts dans le processus de conception. Nous retenons ainsi deux éléments clés pour susciter ce développement. De la théorie des activités instrumentées, nous retenons que l'objet en cours de conception peut être l'initiateur de développement lorsqu'il est inscrit dans des genèses instrumentales. Il convient alors de savoir lui donner une place particulière dans la démarche de conception pour provoquer ces genèses, en l'inscrivant dans la zone proximale de développement. De la théorie d'Engeström, nous retenons que le développement doit s'appuyer sur la mise en évidence de certaines contradictions au sein du système d'activité. Nous allons donc regarder, dans le paragraphe suivant, comment ces deux perspectives nous permettent d'envisager une façon de mettre en scène l'objet en cours de conception pour aboutir au développement conjoint de l'artefact et des activités dans le cours du processus de conception.

3.3 Comment susciter un processus de développement autour de l'outil ?

Comment inscrire l'objet en cours de conception dans la zone proximale de développement qui permettra aux genèses instrumentales d'avoir lieu ? Béguin (2005) avance que la simulation est un bon moyen de faire évoluer l'objet dans la zone proximale de développement. Qu'entend-il par simulation ? La simulation, au sens ergonomique, renvoie à différents objectifs (Daniellou, 2007) et notamment à trois stratégies distinctes (Béguin, 2004a) :

- Une première consiste à créer une situation pour l'occasion. Il s'agit par exemple de transposer certains éléments de la tâche (dont un prototype) et demander à l'opérateur de mettre en œuvre une activité qui fera l'objet de l'analyse de l'ergonome à des fins de conception. Maline (1994) parle d'expérimentation ergonomique pour la caractériser.
- Une seconde stratégie repose sur des "*simulations langagières*" (Daniellou, 2004), où l'activité est dite plutôt que réalisée. Cette stratégie est également explorée dans les *"Scenario Based Design"* (Carroll, 1995). Dans cette approche, les scénarii sont définis comme une description langagière, qui "*aide à produire et à maintenir une vision de l'usage*

futur du système durant sa conception et son implémentation". Les simulations langagières doivent présenter plusieurs caractéristiques : être concrètes, centrées sur le travail, validées par les usagers.

- il s'agit dans la troisième stratégie de reproduire l'activité au plus près pour la simuler. Cela passe par la recherche d'un modèle de l'activité qui soit le plus proche de sa réalité. Bronckart (1987) définit la simulation cognitive comme : " une stratégie de recherche en psychologie ou en Intelligence Artificielle (I.A.) dans laquelle le chercheur substitue à l'utilisateur son "modèle".

C'est la première forme de simulation que nous retenons dans l'objectif d'initier le développement dans une situation de conception. La simulation vise alors à mettre en scène l'objet qui est en cours de conception. Les simulations que prônent Béguin (2006) et Pastré (2005a) sont des simulations opératives. Elles ne sont pas perçues comme substitution au réel mais « *comme la mise en scène d'un problème ou d'une question, à partir de laquelle on a quelque chose à apprendre, individuellement ou collectivement* » (Béguin, 2006). Béguin (ibid.) définit encore la simulation opérative de la façon suivante : « *on appelle 'opérative' une approche qui place le réel de l'activité (et non le réalisme des situations) au centre de la méthode* ». Dans une telle optique, l'utilisateur peut se trouver dans une situation d'utilisation de l'artefact qui soit suffisamment pertinente pour qu'il commence à l'instrumenter et à l'instrumentaliser, initiant ainsi des genèses instrumentales. Telle qu'elle vient d'être décrite, la simulation repose en effet sur l'exploitation d'une propriété ontologique de l'activité : celle d'être à la fois **productive** puisqu'elle permet de transformer le réel et **constructive**, puisqu'elle permet la constitution, par l'opérateur, des ressources de sa propre action et de son développement (Samurcay et Pastré, 1995 ; Pastré, 2005a p.19, Rabardel et Béguin, 2005). L'activité qui se développe dans la simulation est donc elle-aussi à la fois productive et constructive : productive parce que les participants y exécutent une tâche, même si c'est de façon simulée (Béguin et Weill Fassina, 1997) ; constructive parce que les participants apprennent par l'action et par l'analyse de l'action. Comme le souligne Pastré, si la situation est fictive, ce qui entraîne que l'activité productive est un simulacre, l'activité constructive est, elle, bien réelle (Pastré, 2005a, p.18). L'activité de simulation autour de l'outil en cours de conception est donc une façon d'initier le développement. Reste bien sûr à savoir comment mettre en scène l'outil en cours de conception dans la simulation : (1) il faut disposer d'un support à la simulation, par exemple d'un prototype de l'objet qui est en cours de conception, et (2) il faut parvenir à créer des scénarios de simulation qui réussiront à projeter les utilisateurs dans la zone proximale de développement. Béguin (2006) insiste sur le fait que ces scénarios n'ont pas vocation à être réalistes. Il s'agit au contraire de « déformer » en retenant les éléments significatifs et en en écartant d'autres : cela exige d'avoir repéré ces éléments. Béguin (ibid.) propose de « remonter au réel de l'activité », ce qui renvoie à la nécessité de construire une analyse de l'activité en préalable à la simulation. Mais cela laisse un flou sur la façon de se positionner dans la zone proximale de développement des acteurs : comment repérer les éléments de l'activité qui seront significatifs ?

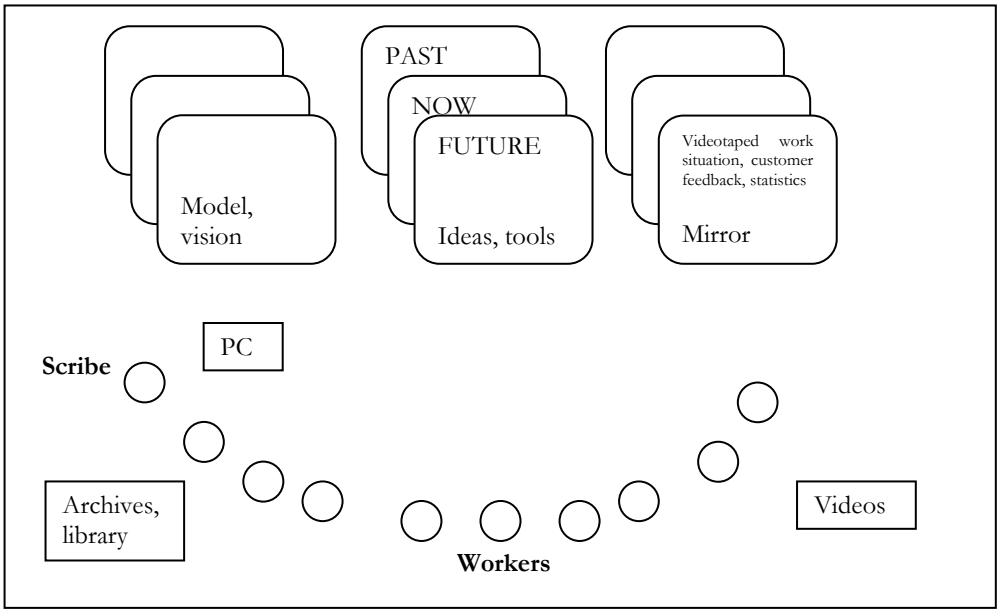


Figure A-12 : Prototypical layout of the Change Laboratory (Engeström, 2005)

La figure représente l'organisation des réunions du Change Laboratory : des réunions en collectif autour de supports variés (photographies ou vidéos de l'activité, modèles conceptuels utilisables..) qui sont affichés et débattus entre les participants.

Le rôle conféré aux contradictions dans le développement du système d'activité nous paraît pouvoir venir ici répondre à cette exigence. Nous suggérons que les situations de simulations soient construites de façon à jouer avec les contradictions de l'activité afin de les rendre visibles pour les acteurs et de les mettre en débat. Initialement, les travaux d'intervention développementale construits par Engeström et son équipe ne portent pas sur la conception. Ces chercheurs ont donc mis au point une méthodologie d'intervention, appelée Change Laboratory® ou Competence Laboratory® (Figure A-12), qui cherche à mettre en évidence les contradictions à partir d'une analyse historique de l'activité (Virkkunen, 2004) et à partir d'un processus de « mirroring » et de « questioning ». Ce processus vise à aider les acteurs à penser différemment les difficultés et problèmes qu'ils rencontrent au quotidien. Il s'agit de les aider à appréhender ces difficultés et problèmes de façon plus systémique ainsi que leurs conséquences sur la dynamique de l'activité (Seppänen, 2002). Les intervenants utilisent pour cela des miroirs, c'est-à-dire des traces de l'activité des acteurs (vidéos, interviews, chiffres variés sur l'activité, etc.) pour permettre aux acteurs de prendre conscience de leur activité. Des outils, comme le système d'activité d'Engeström mais aussi les questions des intervenants qui vont chercher à creuser chaque élément de discussion pour aider les participants à prendre conscience de leur activité dans sa dimension systémique (c'est la dimension « questioning »), viennent ensuite les aider à conceptualiser ces éléments, à développer une nouvelle vision de leur activité et à discuter des outils à mettre en œuvre pour y parvenir (Ahonen, 2000, Engeström et al., 2005). Nous avons représenté le principe général d'organisation des Change Laboratory® sur la figure A-12. En situation de conception, nous suggérons que l'introduction d'un nouvel outil peut jouer le rôle de révélateur de ces contradictions, suivant en cela Miettinen (2000, 2006). Une façon de se positionner dans la zone proximale de développement est donc que la simulation autour du nouvel outil soit construite de façon à mettre en évidence des contradictions. Il faut également intégrer la dimension « questioning » dans la simulation, en construisant des instances de discussion sur ce qui se passe dans la simulation pour produire de la réflexivité sur l'activité et sortir de l'activité purement productive. Pastré (2005a, p.33) insiste pour cela sur le rôle des « débriefings » dans lesquels l'intervenant questionne les traces de l'activité productive de l'acteur dans la simulation, de façon individuelle ou collective pour provoquer la réflexivité.

Conclusion : traiter de la conception en relation avec une problématique d'usage implique la participation des utilisateurs au processus de conception et peut se conceptualiser sous l'angle du développement conjoint de l'objet en cours de conception et des activités des participants, à la fois concepteurs et utilisateurs qui ont chacun des éléments, des ressources, des compétences différentes à partager. Pour conjuguer conception et développement, la théorie de l'activité instrumentée, et la théorie culturelle et historique de l'activité, telle qu'elle est mobilisée pour conceptualiser le changement dans les organisation (expansive learning) nous paraissent fournir des clés de compréhension et d'action complémentaires. Nous retenons deux axes méthodologiques forts de ces deux cadres : 1) l'importance de

modéliser l'activité dans laquelle l'objet conçu peut venir s'insérer de façon à donner des ressources aux acteurs pour analyser les contradictions au sein de leur système d'activité et 2) l'importance de mettre en scène l'objet en cours de conception au travers d'un processus de simulation pour provoquer ce développement conjoint des activités et de l'objet, avec là encore, la nécessité de trouver comment construire la simulation pour laisser la place au développement.

III. Le cas de l'évaluation variétale et des outils d'analyse des IGE

L'effet du choix variétal sur les performances d'un système de culture tient une place importante parmi les phénomènes modélisés par les agronomes. De plus en plus de modèles de culture introduisent, par exemple, des paramètres variétaux dans leurs formalismes pour mieux rendre compte de la variabilité du comportement des variétés en culture (e.g. pour Azodyn : Barbottin et al., 2004 ; pour APSIM : Keating et al., 2003 ; pour CERES : Bannayan et Hoogenboom, 2007 ; pour RZWQM : Ma et al., 2006). La modélisation de l'effet variétal sur les performances d'une culture intéresse tout particulièrement les agronomes travaillant sur la sélection variétale. Leur objectif est alors d'interpréter *a posteriori* la façon dont les variétés se sont comportées dans les milieux pour identifier leurs caractéristiques et orienter la sélection variétale sur des critères bien précis. Ils cherchent ainsi à mieux comprendre la nature des interactions entre les variétés et leurs milieux de culture. L'étude de ces interactions constitue un domaine de recherche qui se ramifie dans plusieurs disciplines : agronomie mais aussi génétique, statistique, pathologie végétale, etc. On parle alors des interactions génotype-environnement ou IGE : génotype car les interactions peuvent être étudiées très tôt dans la vie de la variété[6] et environnement car le système dans lequel les interactions vont être étudiées a des échelles variées : un complexe parasitaire, un peuplement, un champ expérimental, etc. La problématique de la modélisation des interactions génotype-environnement est idéale pour traiter du problème du lien entre conception et usage. Il existe beaucoup de littérature et de modèles d'analyse et de décomposition de l'IGE, principalement statistiques (voir par exemple l'ouvrage de Kang et Gauch, 1996 ou la revue de Brancourt et al., 1997). Il existe également une attente forte sur ces sujets, notamment par rapport à la culture du blé tendre : la création variétale est un secteur dynamique, notamment en France, et les acteurs de la sélection variétale sont demandeurs d'outils pour mieux évaluer les variétés de blé qu'ils créent ou parmi lesquelles ils doivent choisir. Or, malgré cette attente, les modèles de l'IGE ne sont pas utilisés, c'est un constat rapporté par C. Lecomte (2005). Nous disposons donc ici d'un cas d'étude pertinent pour étudier ce que peut produire le fait de réfléchir conception et usage en même temps. Nous allons donner dans cette partie des clés de compréhension du contexte d'action pour lequel un outil basé sur un modèle d'analyse des IGE pourrait être conçu.

1. L'évaluation variétale

Le marché du blé est un marché agricole important en France : le blé est la première culture du pays en termes de surfaces occupées, couvrant 16% de la surface agricole utile. Il représente une production de 35 à 40 millions de tonnes chaque année, soit 25 à 30% de la production européenne (statistiques Agreste et Eurostat). Du fait du poids de la culture de blé tendre dans l'économie agricole française, la création variétale au sein de la filière est très dynamique.

[6] on parle de génotype dans les premières années de la vie d'une variété, avant qu'elle soit stabilisée et bien identifiée

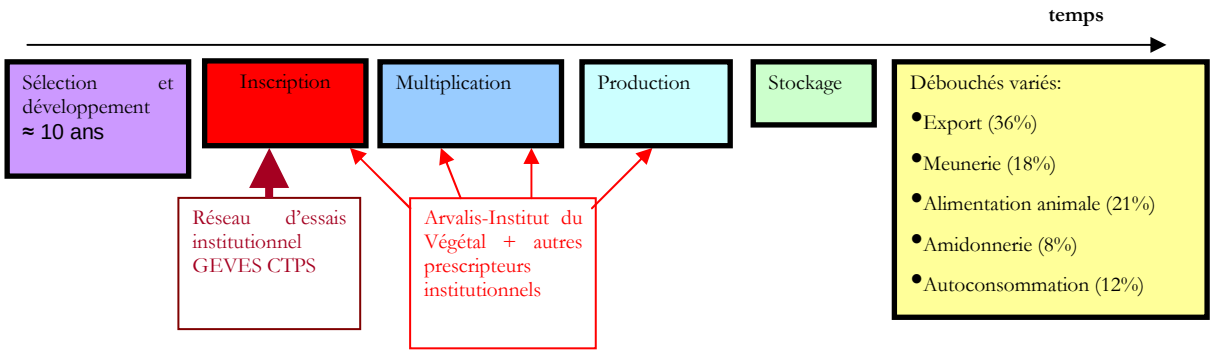


Figure A-13 : les étapes dans la vie d'une variété

Pour être cultivée en France, une variété doit être inscrite sur un catalogue variétal officiel. Pour cela, la variété est soumise à une évaluation codifiée dont le comité technique permanent de la sélection (CTPS) est le garant. Près d'une centaine de nouvelles variétés de blé tendre sont proposées à cette inscription chaque année et seules une vingtaine de variétés vont être effectivement inscrites, c'est-à-dire réussir les épreuves d'inscription. Une réduction encore plus drastique se fait ensuite par le marché. Chaque année, sur la vingtaine de variétés nouvellement inscrites, 2 à 4 nouvelles variétés seulement vont être cultivées sur des surfaces conséquentes (Prost et al., 2003). Ainsi, malgré le grand nombre de variétés cultivables, cinq variétés seulement représentaient 50% des surfaces emblavées en 2004 et 2005 (Mémento des semences : Arvalis et Semences de France, 2007).

Le marché du blé se développe au sein d'une filière qui comprend une grande diversité d'acteurs. Au cours de sa vie, une variété est d'abord créée par des sélectionneurs appartenant majoritairement à des entreprises privées. La fonction de création demande la mise en œuvre de moyens importants sur le plan technique et scientifique. L'amélioration des plantes s'appuie sur les méthodes classiques de sélection végétale (hybridations de lignées) ainsi que sur des biotechnologies (aujourd'hui couramment utilisées dans les entreprises semencières car elles permettent des gains de temps et de précision considérables lors des programmes de sélection). La variété est ensuite prise en charge par des « développeurs», appartenant en général aux mêmes entreprises que les sélectionneurs, qui vont tenter d'identifier *a priori* son aire de culture privilégiée et son marché. Dans ce but, ils mettent en place des essais sur un territoire le plus large possible, via des partenariats avec des organismes de stockage, des instituts techniques ou des utilisateurs primaires de blé (comme les meuniers), pour acquérir une connaissance technique de la variété (pour établir des recommandations d'utilisation, en termes de date et densité de semis par exemple). Pendant la même période, la variété subit les épreuves d'inscription pour être admise à figurer au catalogue officiel des variétés. Cette évaluation dure deux ans et est effectuée par le GEVES (Groupement d'Etude et de contrôle des Variétés et des Semences) pour le compte du CTPS. Elle repose sur deux types de critères : les critères DHS (distinction, homogénéité, stabilité) et VAT (valeur agronomique et technologique). Elle permettra à la variété d'être inscrite au catalogue officiel (français et européen) qui conditionne l'autorisation de sa mise en marché. La variété est ensuite multipliée, sous la responsabilité d'organismes de multiplication-distribution, pour pouvoir être proposée à la vente. En effet, pour être mises à la disposition des utilisateurs, les semences de chaque variété doivent être multipliées en quantité suffisante pendant plusieurs générations. Les semences, une fois multipliées au champ, sont triées, façonnées, traitées et conditionnées avant d'être commercialisées. La variété est ensuite distribuée aux agriculteurs, souvent par le biais des coopératives agricoles. Les agriculteurs la cultivent et la récoltent. La plus grande part des récoltes est collectée par des coopératives, qui constituent des lots marchands de variétés pures ou de mélanges de plusieurs variétés qui seront exportés ou transformés par des entreprises agro-industrielles, principalement pour l'alimentation animale et humaine. Nous avons récapitulé ces différentes étapes sur la figure A-13.

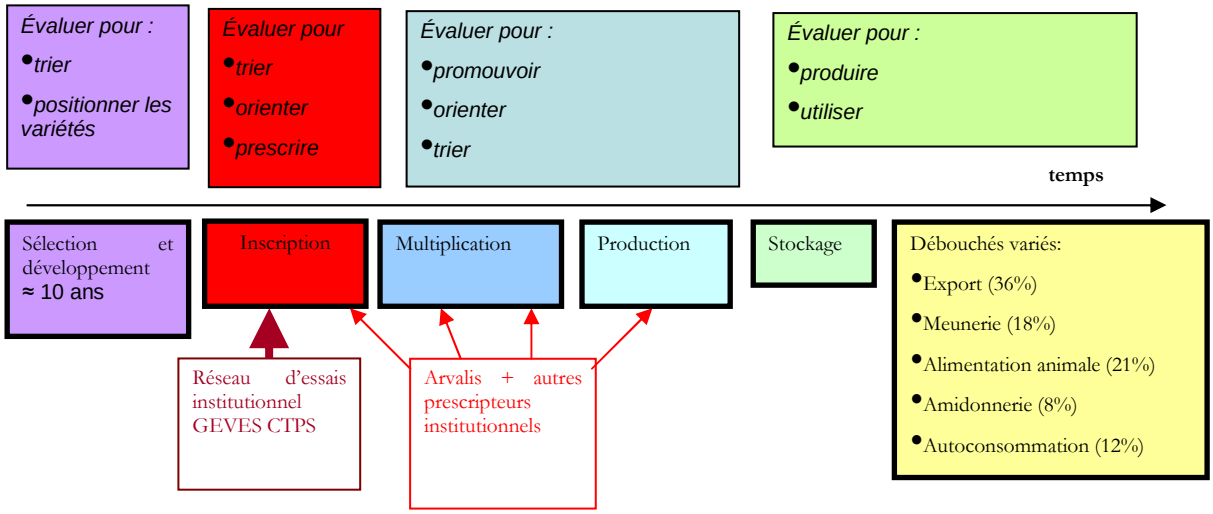


Figure A-14 : objectifs de l'évaluation à différentes étapes de la vie d'une variété

La filière que suivent les variétés de blé[7] est ainsi caractérisée par un nombre important d'acteurs, mais aussi par une forte intégration des activités et des acteurs : il y a un passage de relais multiple depuis la sélection jusqu'à la transformation des variétés, appuyé à chaque étape par des acteurs institutionnels comme l'institut technique des céréales ou des structures de conseil comme les chambres d'agriculture. Cette segmentation de la filière variétale, combinée à la forte intégration des acteurs, résulte de l'historique de la sélection variétale en France, tel que l'expliquent Bonneuil et al. (2006). Dans les années qui suivent la seconde guerre mondiale, l'Etat prend une position forte d'intervenant dans l'organisation de la filière, et suivant les préceptes fordistes largement relayés à l'époque, favorise la division du travail en déléguant la création variétale, la multiplication et la production à des acteurs bien séparés et spécialisés (respectivement l'INRA et les obtenteurs, les coopératives, les agriculteurs). En déléguant le pilotage de l'innovation variétale et de la production de semences à des instances sectorielles nationales (comme le CTPS) qui associent des obtenteurs privés, des coopératives multiplicatrices et des représentants de la profession agricole, l'Etat favorise l'intégration des différents acteurs dans la gestion de la filière variétale.

Tous les acteurs de cette filière vont participer au choix variétal car tous évaluent les variétés. En conséquence, c'est de façon progressive que le nombre de variétés se réduit et ce, tout au long de la vie de la variété. Les objectifs, modalités et échelles que chaque type d'acteur associe à l'évaluation sont différents (nous avons représenté sur la figure A-14 la diversité des objectifs), mais c'est bien dans cette succession d'évaluations que se construit la gamme de variétés qui sera finalement disponible pour l'agriculteur.

2. Le processus d'évaluation remis en question par les évolutions de la production

Le processus d'évaluation des variétés est donc un point clé de la production de blé parce qu'il explique le choix variétal fait par les différents acteurs, choix qui va impacter l'ensemble des pratiques de la production. Ce processus est d'autant plus décisif que cette production, assez standardisée jusqu'à récemment, est en train d'évoluer, ce qui a des conséquences directes sur la création variétale et le processus d'évaluation des variétés (Meynard et Jeuffroy, 2006). De fait, la production agricole doit répondre à des enjeux qui se diversifient : enjeux de production, enjeux environnementaux, enjeux de qualité des produits, enjeux de gestion des territoires. On assiste à une remise en cause des systèmes de production traditionnels, dont les performances sont jugées principalement sur leur productivité (exprimée par le rendement de la culture), et à l'apparition de systèmes de culture diversifiés, utilisant la lutte raisonnée, intégrée ou biologique contre les bio-agresseurs (Meynard et Girardin, 1991). La diversification des systèmes de production contribue à augmenter la variabilité, déjà existante, des conditions de production : les variétés se trouvent soumises à des facteurs limitants de leur rendement plus variés, et selon des gammes d'intensité plus larges (e.g. Loyce, 1998 ; David et al., 2005). Plus variés à cause

[7] nous parlerons dans la suite de filière variétale pour parler de l'ensemble des acteurs impliqués dans l'évaluation des variétés depuis les sélectionneurs jusqu'aux transformateurs

de la diminution des intrants qui peut entraîner l'apparition plus fréquente de nouveaux facteurs limitants de type carence azotée, maladies ou insectes, à cause également des décalages que certains facteurs limitants peuvent induire dans le cycle de développement de la plante la soumettant à des stress hydriques ou thermiques potentiellement plus variés. Dans des gammes plus importantes car entre les systèmes intensifs et des systèmes très extensifs voire biologiques (même si ceux-ci sortent du cadre de notre étude), le niveau des facteurs de production peut aller d'une limitation très forte de la production à un niveau n'ayant pas d'effet sur la production

L'impact de ces disparités sur le comportement des variétés est appréhendé par les agronomes et les généticiens à partir du concept d'interaction génotype-environnement (IGE). Ce concept illustre le fait que deux variétés ne vont pas réagir de la même façon d'un environnement à l'autre[8], parce qu'elles sont soumises à des facteurs limitants variés qu'elles tolèrent plus ou moins bien et parce qu'elles ne sont pas toujours au stade sensible lorsque le facteur limitant apparaît. La notion d'environnement comprend ici à la fois la notion de milieu pédoclimatique, caractérisé par un lieu et une année donnés, mais aussi la conduite culturale qui y est appliquée.

Ces interactions génotype-environnement sont bien connues dans le domaine de la création de variétés par les difficultés qu'elles posent (Kang et Magari, 1996) : elles rendent les recommandations, en termes de choix variétal, difficiles car les résultats d'essais sont difficilement extrapolables. La notion de variété telle qu'elle est comprise aujourd'hui découle d'ailleurs de ces difficultés. Comme l'expliquent Bonneuil et al. (2006) dans leur étude historique du secteur des semences et variétés végétales, c'est un article de Bustarret, en 1944, qui va associer le concept de variété à celui de variété pure, par opposition aux variétés populations. S'impose alors l'idée qu'une variété doit être stable, distincte et homogène (trois critères qu'on retrouve dans l'évaluation officielle menée par le GEVES, via les épreuves de DHS). Bonneuil cite un collègue de Bustarret qui explique pourquoi avoir favorisé cette acception de la variété : « *l'avantage de la variété stable (lignée pure, clone ou hybride F1) est la possibilité d'en fixer théoriquement une fois pour toutes les réactions au milieu, aux techniques culturales et, par voie de conséquence, d'en obtenir le rendement maximum* » (Jonard, 1961 in Bonneuil et al., 2006). Le concept de variété pure est donc une forme de réponse aux IGE, ayant l'ambition d'en maîtriser les effets. Cette idée se traduit dans les pratiques des sélectionneurs et développeurs qui sont avant tout à la recherche de la variété stable, c'est-à-dire de la variété dont le comportement sera le plus stable possible sur un grand nombre d'environnements (Prost et al., 2003 ; Lecomte, 2005). Pour tester les variétés, ils mettent en place des réseaux d'essais, c'est-à-dire des séries d'essais multilocaux conduits de façon similaire, et travaillent sur les moyennes de l'ensemble de ces essais pour repérer les variétés les plus stables, c'est-à-dire les plus performantes en moyenne, évitant les variétés dont le comportement devient extrême dans certains milieux. Cette façon de procéder s'est avérée assez fructueuse, comme en témoignent les grandes variétés de blé cultivées sur l'ensemble du territoire français pendant de nombreuses années : Champlein inscrite en 1959, Talent

[8] Pour mieux expliciter cette notion d'interaction génotype environnement, Lecomte (2005) la traduit de cette façon : « différence de réaction des génotypes aux caractéristiques du milieu »

inscrite en 1973, Soissons, inscrite en 1988 ou Trémie, inscrite en 1992. Ces réussites ont été possibles grâce à l'intensification et la standardisation de la production de blé, qui rendaient les facteurs limitants du rendement assez peu nombreux et bien connus. Différents éléments rendent désormais plus difficiles la recherche de ces variétés stables : la diversification et la montée en puissance des facteurs limitants s'exprimant dans les champs des agriculteurs, évoquées plus haut, mais aussi les problèmes de contournements des résistances, c'est-à-dire lorsqu'une variété, à l'origine résistante à un pathogène, devient finalement sensible à ce même pathogène, du fait de l'évolution de ce dernier. Les sélectionneurs, comme l'ensemble des acteurs de l'évaluation variétale, en sont d'ailleurs conscients et souhaiteraient tirer un meilleur parti de la variabilité du comportement des variétés dans les essais. Ils souhaiteraient valoriser davantage la notion d'adaptation d'une variété à un environnement. L'idée serait alors d'utiliser les IGE pour identifier les situations dans lesquelles une variété va se comporter mieux que les autres (par exemple dans un milieu marqué par des problèmes de stress hydrique). Mais les acteurs de l'évaluation variétale sont actuellement assez démunis pour y parvenir : les interactions génotype-environnement constituent pour eux une boite noire, davantage un obstacle que quelque chose qu'ils savent valoriser. La difficulté est que les facteurs limitants sont rarement uniques et interagissent souvent entre eux. Il devient donc difficile d'identifier précisément quelles caractéristiques du milieu sont responsables du bon comportement de la variété, et donc de préciser les caractéristiques de la variété. Conscients de la source d'information potentielle qui réside dans l'explicitation des IGE de leurs réseaux d'essais, les acteurs de l'évaluation se disent insatisfaits de leur façon de gérer leurs réseaux (par exemple, ils n'ont pas une action proactive pour favoriser tel ou tel facteur limitant) et de leur façon d'en exploiter les résultats pour évaluer les variétés de blé (Cerf et Hochereau, 2004). Nous traduisons cette insatisfaction comme la nécessité de mieux caractériser et prévoir le comportement des variétés dans différents environnements en réponse aux facteurs limitants et aux différentes façons de produire, ce qui suppose de travailler à une analyse des interactions génotype - environnement.

3. Comment prévoir les interactions génotype-environnement et les valoriser dans l'évaluation des variétés ?

Si les acteurs de l'évaluation ne parviennent pas à tirer parti des IGE, c'est aussi parce qu'ils manquent d'outils pour le faire. Plus précisément, ils manquent d'outils qui leur permettraient d'extraire et de valoriser toutes les informations qui sont récoltées dans leurs réseaux expérimentaux. Pourtant, de nombreuses méthodes statistiques d'analyse de l'interaction génotype - milieu existent (e.g. von Wricke, 1962 ; Parisot-Baril, 1992 ; van Eeuwijk, 1995 ; Kang et Gauch, 1996 ; Brancourt et al., 1997). Parmi elles, citons plus particulièrement les méthodes développées par un groupe de chercheurs (e.g. M. Brancourt-Humel, J-B. Denis, C. Lecomte) basées sur la description des environnements et l'identification des facteurs limitants qui s'y sont exprimés pour évaluer la sensibilité des génotypes à ces facteurs limitants (e.g. Denis, 1980 ; Brancourt-Hulmet et al., 2000 ; Brancourt-Hulmet et al., 2001 ; Brancourt-Hulmet et Lecomte, 2003). Mais ces méthodes restent peu utilisées par les acteurs de l'évaluation variétale, comme l'a montré C. Lecomte

dans sa thèse (2005). Il évoque en partie un problème « *de compétence des acteurs* » dans le sens où ces méthodes sont essentiellement des méthodes biométriques complexes, mais aussi « *un problème d'accessibilité et de simplicité d'emploi de ces outils, quand les contraintes des expérimentateurs […] imposent d'avoir les résultats très rapidement et sous une forme tout de suite communicable. Et les acteurs sont vraisemblablement d'autant moins prêts à investir dans ce type d'outil […] que la démonstration de leur intérêt pour la connaissance des génotypes a été peu faite jusque là* » (Lecomte, 2005, pp 57). De plus, ces méthodes ne sont pas forcément faciles à interpréter en des termes agronomiques : des artefacts statistiques peuvent interférer avec les conclusions et discréditer les résultats aux yeux des experts agronomes. Il est par exemple difficile de bien caractériser les facteurs de l'environnement qui vont limiter le rendement des génotypes car ces facteurs limitants sont très corrélés les uns aux autres. De ce fait, « *une bonne corrélation [du facteur limitant] avec la variable expliquée –par exemple le rendement– peut être fortuite. Et, si un facteur limitant qui est intervenu dans les essais n'est pas décrit, un autre facteur limitant pourra être mis en cause à sa place* » (Lecomte, ibid, pp.13). C. Lecomte (2005) a donc repris les méthodes biométriques de caractérisation des facteurs limitants des environnements pour proposer une méthode d'aide à l'évaluation des variétés intégrant à ces méthodes biométriques une forte expertise agronomique et construite en lien avec les besoins et contraintes des utilisateurs qu'il a rencontrés. Il s'interroge aujourd'hui sur les modalités de transformation et d'opérationnalisation de cette méthode pour qu'elle soit utilisée par les acteurs de la filière. Nous disposons donc d'un modèle en cours de conception intéressant une diversité d'acteurs-utilisateurs. Il constitue un support intéressant pour travailler à la problématique de la méthodologie de conception d'un modèle agronomique dont les concepteurs ambitionnent une diffusion hors de la recherche. Nous présentons plus précisément cette méthode dans le paragraphe suivant.

4. Présentation de la méthode de C. Lecomte

Nous présentons ici la méthode d'analyse des interactions génotype-environnement proposée par C. Lecomte (2005). Les variations de performances et de classement des variétés dans des essais culturaux reflètent l'existence d'interactions génotype-environnement (IGE) et peuvent être interprétées comme l'expression des différences de sensibilité variétale aux contraintes du milieu (environnement). Rappelons que le milieu (ou l'environnement, nous emploierons ces deux termes de façon indifférenciée) représente le lieu d'essai mais aussi les pratiques culturales adoptées dans ce lieu. Les contraintes qui peuvent s'exercer dans un milieu sont alors potentiellement assez variées : contraintes d'origine climatique du type froid, gel, sécheresse, manque ou excès d'eau, etc. ; contraintes en lien avec les pratiques culturales du type manque d'azote, excès d'azote pouvant provoquer la verse, développement de maladies, attaque de ravageurs, etc.

La méthode repose sur les deux idées suivantes que nous développerons :

- décomposer l'interaction génotype-environnement (IGE) peut donner accès aux réactions des variétés aux différents facteurs limitants du milieu ;

retlv	Retard à la levée = Somme des températures moyennes journalières en °C base 0 du semis + 120dj à la levée
frdtl, frdmo	Dégâts de gel observés sur les plantes pendant le tallage ou pendant la montaison (1=pas de dégâts – 9=toutes les plantes détruites)
njdg	Nombre de jours où la température minimale (°C) est <= à la résistance au gel du génotype, entre le semis et le stade épi 1cm
stdg	Somme des temp. mini journalières (°C) < à la résistance au gel du génotype entre le semis et le stade épi 1cm
difxdg	Différence maximale entre la résistance au gel et la température minimale journalière (°C) pour la même période
stmphv, stmpem, stmpmf	Somme des temperatures moyennes journalières en base 0 (°C) par périodes de développement
srglhv, srglem, srglmf, srglfl, srgllm	Somme des rayonnements globaux journaliers (J/cm²) par périodes de développement
rgsthv, rgstem, rgstmf, rgstf30	Quotient photothermique srgl / stmp par périodes de développement
xeauhv	Somme des différences journalières P-ETP >0 (mm) entre le semis et le stade épi 1cm
spetphv, spetpem, spetpmf, spetpfl, spetplm	Somme des différences journalières P-ETP <0 (mm) par périodes de développement
sdfem, sdfmf, sdffl, sdflm	Somme des déficits hydriques journaliers ETR-ETM quand ETR<ETM (mm), par périodes de développement
spetpe1	Somme des différences journalières P-ETP (mm) entre le stade épi 1cm-150dj au stade épi 1cm+350dj
njss	Nombre de jours secs successifs (P<=ETP en mm) entre le stade épi 1cm-150dj au stade épi 1cm+350dj
njst	Nombre total de jours secs (P<=ETP en mm) entre le stade épi 1cm-150dj au stade épi 1cm+350dj
njge	Nombre de jours de gel d'épi (température minimale <=-4°C) entre le stade épi 1cm et la floraison
sti4	Somme des températures minimales journalières <-4°C entre le stade épi 1cm et la floraison
njt0f	Nombre de jours de gel (température minimale journalière <=0°C) entre épiaison et épiaison+300dj
st0f	Somme des températures minimales journalières <0° entre épiaison et épiaison+300dj
srglmg, srglmm	Somme des rayonnements globaux journaliers (J/cm²) entre la méiose-100dj et l'épiaison, ou entre la méiose-5j et la méiose+5j
nji10m	Nombre de jours où le rayonnement global est <=1045 J/cm² entre la méiose-5j et la méiose+5j
sri10m	Somme des rayonnements globaux journaliers <1045 J/cm² entre la méiose-5j et la méiose+5j
nj25m	Nombre de jours où la température maximale est >=25°C entre la méiose-5j et la méiose+5j
st25m	Somme des températures maximales journalières >25°C entre la méiose-5j et la méiose+5j
nj25ef	Nombre de jours où la température maximale est >=25°C entre l'épiaison et la floraison
st25ef	Somme des températures maximales journalières >25°C entre l'épiaison et la floraison
nj25fl	Nombre de jours où la température maximale est >=25°C entre la floraison et le stade laiteux (mi-remplissage)
st25fl	Somme des températures maximales journalières >25°C entre la floraison et le stade laiteux
nj25lm	Nombre de jours où la température maximale est >=25°C entre le stade laiteux et la maturité
st25hm	Somme des températures maximales journalières >25°C entre le stade laiteux et la maturité
vmo, vrp, vma	Notes de verse (1=pas de verse - 9=complétement versé) pendant la montaison, le remplissage des grains et à la maturité
omo, orp, bmo, brp, jmo, jrp, sfmo, sfrp	Notes de maladies (1= pas de symptôme - 9= complètement recouvert par la maladie) : oidium, rouille brune, rouille jaune, septoriose sur feuilles pendant la montaison et pendant le remplissage des grains
mpmo, mprp	Maladies du pied en % pendant la montaison et pendant le remplissage des grains
ferp	Fusariose sur épis (1= pas de symptôme - 9= complètement recouvert par la maladie) pendant le remplissage
merp	Maladies sur épis (oidium + fusariose + septoria nodorum), de 1 à 9, pendant le remplissage des grains
rbeta	Rapport β = *Azote absorbé à maturité / NGm²* (mg/k), rapporté à une référence variétale
innf	Indice de nutrition azotée à la floraison : taux d'azote des parties aériennes rapporté à la valeur seuil définie par la courbe de dilution de l'azote dans la plante jusqu'à ce stade

(*) *-hv* : phase hivernale (du semis au stade épi 1cm), *-em* : du stade épi 1cm à la méiose, *-mf* : de la méiose à la floraison, *-ef* : de l'épiaison à la floraison, *-f30* : de floraison – 30j à la floraison, *-fl* : de la floraison au stade laiteux, *-lm* : du stade laiteux à la maturité. *Ep1* : Stade épi 1cm ; *Mei* : stade méiose pollinique ; *Epi* : stade épiaison ; *Flo* :stade floraison ; *Stl* : stade laiteux ; *Mat* : maturité

Tableau A-3 : liste des facteurs limitants du rendement en blé (Lecomte, 2005)

- déterminer au préalable les facteurs du milieu ayant été réellement limitants des performances des variétés est nécessaire pour valider agronomiquement les résultats de la décomposition de l'interaction génotype-environnement.

La méthode fonctionne sur des réseaux d'expérimentations (c'est-à-dire des ensembles d'essais agronomiques) en deux étapes de calcul qui reprennent ces deux idées : 1) faire un diagnostic des facteurs limitants du rendement s'étant exprimés dans le réseau d'essais, sur la base de l'observation de quelques variétés bien connues, 2) connaissant les facteurs limitants qui ont joué à l'échelle du réseau d'expérimentations, les résistances de nouvelles variétés présentes dans le réseau à ces facteurs limitants peuvent être inférées par une analyse de l'IGE.

4.1 Diagnostiquer les facteurs limitants des essais

C. Lecomte propose de faire précéder l'analyse des IGE par un diagnostic des facteurs limitants du rendement. Il utilise pour cela le principe du diagnostic agronomique (Sebillotte, 1980 ; Meynard et Sebillotte, 1982 ; Leterme, 1994 ; Doré et al, 1997 ; Doré et al., 1998). Le diagnostic agronomique vise à identifier les causes de variation de la production. Il repose sur l'analyse de la variabilité de rendement, décomposé selon ses composantes (nombre de grains, poids d'un grain, nombre d'épis… pour le blé par exemple). La comparaison des valeurs observées à des références permet de conclure sur la phase du cycle cultural qui est affectée. L'analyse des caractéristiques environnementales (sol, climat, accidents) qui ont prévalu au cours de cette phase permet ensuite de conclure sur la nature du ou des facteurs limitants les plus probables. L'objectif de C. Lecomte était de caractériser les facteurs limitants ayant joué dans les milieux dans lesquels les nouvelles variétés que l'on veut évaluer ont été cultivées. Pour y parvenir, C. Lecomte (2005), suivant Brancourt et al. (1999), a proposé de réaliser le diagnostic de variabilité de performance agronomique de quelques variétés présentes dans tous les essais, appelés génotypes révélateurs. Pour que le diagnostic réalisé sur ces quelques variétés permette de caractériser les facteurs du milieu de la façon la plus exhaustive possible, le choix des génotypes révélateurs doit viser à couvrir la gamme (en termes de précocité, notamment) des nouvelles variétés expérimentées. De fait le diagnostic de variabilité de la performance d'une variété est insuffisant pour accéder à l'ensemble des facteurs limitants d'un milieu. Une variété est caractérisée par une précocité particulière et un profil de résistances aux pathogènes : une variété précoce ne souffrira pas d'un stress thermique très tardif, une variété résistante à la rouille ne permettra pas de diagnostiquer la présence ou non de la rouille dans les essais où elle sera cultivée. Il est donc nécessaire de faire appel à un panel de génotypes révélateurs, choisis pour être les plus complémentaires possibles : la concaténation des facteurs limitants décelés pour les différents génotypes révélateurs permettra d'avoir accès à la gamme totale de facteurs limitants sur les essais considérés.

C. Lecomte (2005) a proposé une automatisation de cette démarche de diagnostic qui requiert à l'origine une forte expertise pour mettre en relation les variations de rendement et les facteurs du milieu, à différentes phases culturales. Il explique qu'« *on perçoit […]*

$dRdt_{R\ j} = \mu + FL1_j + FL2_j + FL3_j + \ldots + E_{ijk}$

$dRdt_{R\ j}$ est la perte relative de rendement observé pour un génotype donné, dans le milieu j,
$dRdt_{R\ j}$ = (Rdtpot-Rdtj)/Rdtpot avec Rdtpot le rendement potentiel du génotype considéré
μ est la moyenne générale de l'essai
FL1 est l'effet du facteur limitant 1 dans le milieu j, *FL2* celui du facteur limitant 2, etc
E_{ijk} est la variabilité résiduelle

Les pertes de rendement relatives moyennes (moyenne des répétitions) de chaque génotype révélateur ont été interprétées par une régression linéaire multiple pas à pas (méthode stepwise) dans laquelle les indicateurs de facteurs limitants sont introduits et retirés un à un au seuil de significativité de 15% (seuil par défaut sous SAS).

Cadre A-4 : modèle de la régression multiple (Lecomte, 2005)

$dRdt_{R\ i} = param_i * note_i * dRdt_r / \Sigma_i (param_i * note_i)$

avec :
$dRdt_{R\ i}$: perte de rendement due au ième facteur limitant dans l'essai pour le génotype considéré
$dRdt_R$: perte de Rdt du génotype dans l'essai, estimée par le modèle
$param_i$: valeur du paramètre correspondant à la variable décrivant le facteur limitant dans le modèle de régression linéaire multiple obtenu à l'issue du diagnostic
$note_i$: note obtenue par la variable descriptive du facteur limitant dans l'essai et pour le génotype considérés. C'est la valeur de 0 à 10 qui caractérise chaque facteur limitant pour un génotype révélateur, dans un essai donné (note obtenue dans l'étape de diagnostic des milieux).

Cadre A-5 : mode de calcul de l'impact quantitatif des facteurs limitants sur le rendement

l'intérêt de développer une méthode de diagnostic agronomique applicable à des génotypes révélateurs dans des réseaux expérimentaux dont la mise en œuvre soit simple et les résultats reproductibles, qui ne fasse pas appel à des compétences approfondies en agronomie, et qui permette de caractériser chaque milieu par autant de variables quantitatives qu'il y a de facteurs limitants. Cette méthode doit prendre en compte a priori tous les facteurs limitants possibles, elle doit choisir ceux qui sont réellement explicatifs des variations de rendement, et estimer leur effet sur le rendement et les composantes affectées. Nous faisons l'hypothèse que de telles exigences peuvent être satisfaites en utilisant une régression linéaire multiple dans laquelle sont introduites en premier les variables les plus explicatives des variations de rendement. ». Plus exactement, il propose d'utiliser une régression linéaire multiple stepwise, dans laquelle les variables sont testées étape par étape, pour être successivement introduites et/ou retirées lorsque l'ajout d'une nouvelle variable les rend non significatives. La méthode de sélection stepwise est largement utilisée pour identifier un nombre limité de variables explicatives dans les modèles de régression, en particulier dans des situations comportant un grand nombre de variables explicatives potentielles (Steyerberg et al., 1999). La sélection stepwise indique les variables ayant un effet statistiquement significatif tout en ajustant simultanément cet effet à celui des autres variables introduites (Steyerberg et al., 1999), ce qui est très précieux dans des situations où les différentes variables explicatives testées sont suspectées d'être corrélées entre elles, ce qui est très courant en agronomie. Il est par exemple connu que des problèmes de sécheresse et de carence azotée peuvent être corrélés (e.g. Sebillotte et al., 1978 ; Boiffin et al., 1981).

L'emploi d'une telle méthode a de plus l'avantage de fournir une information supplémentaire : celle du poids du facteur limitant diagnostiqué sur le rendement, en utilisant l'estimation du paramètre associé au facteur limitant dans la régression linéaire multiple.

Le modèle utilisé dans cette régression multiple est détaillé dans le cadre A-4. Il est appliqué aux pertes de rendement relatives, c'est-à-dire aux différences entre le rendement potentiel du génotype révélateur et le rendement observé de ce génotype, ramenées au rendement potentiel. S'intéresser aux pertes de rendement relatives permet de regrouper ensuite plus facilement les données provenant des différentes variétés.

Le travail de C. Lecomte (2005) pour mettre au point la méthode a consisté en plusieurs points :

- Etablir les rendements potentiels des génotypes révélateurs. La méthode utilisée est celle décrite par Brancourt et al. (1999), basée sur une procédure bootstrap utilisant un ensemble de points collectés à travers différents réseaux expérimentaux.

- Mettre au point les indicateurs de facteurs limitants à introduire dans la régression linéaire multiple. C. Lecomte a établi une liste de 63 indicateurs de facteurs limitants du rendement en blé définis sur les différentes phases de culture du blé (tableau A-3, voir plus haut). Ces indicateurs sont calculés puis ensuite transformés linéairement de façon à ce qu'ils varient tous dans le même sens (une augmentation de la valeur de l'indicateur se traduit par une augmentation de l'intensité du facteur) et que leur intensité soit directement

Réseau	Sites	Coordon	Type de sol	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1 INRA 1995-1999 (61 milieux)	Clermont-Ferrand (63)	45.47° N 3.05° E	Limons volcaniques	IN -F	IN -F	IN +Ng	IN -FN	IN EX			
	Dijon (21)	47.19° N 5.01° E	Sols argilo-limoneux sur marnes et graviers	IN	IN IRG	IN IRG	IN EX IRG	IN			
	Le Moulon (91)	48.48° N 2.11° E	Limons profonds et battants	IN -F	IN -F	IN -F	IN -F	IN -F EX			
	Mons (80)	49.56° N 2.56° E	Limons profonds argileux	IN -FNR	IN -FNR	IN -FNR	IN -F EX	IN -F EX			
	Rennes (35)	48.05° N 1.41° O	Limons légers	IN -F -NR -FNR	IN -F -NR -FNR	IN -F -N -FN	IN -F -N -FN	IN -F EX			
2 GIE C5 – INRA (intrants) (34 milieux)	Orgerus (78)	48.50° N 1.42° E	Limons profonds et battants				IN EX	IN EX	IN EX		IN EX
	Cappelle en Pévèle (59)	50.30° N 3.12° E	Limons profonds argileux				IN EX	IN EX	IN EX		IN EX
	Rennes (35)	48.05° N 1.41° O	Limons légers				IN EX	IN EX	IN EX		IN EX
	Premesques (59)	50.40° N 2.57° E	Limons profonds argileux						IN EX		IN EX
	Verneuil l'étang (77)	48.39° N 2.50° E	Limons profonds et battants				IN EX		IN EX		IN EX
3 INRA – Serasem (stabilité de la qualité) (27 milieux)	Clermont-Ferrand (63)	45.47° N 3.05° E	Limons volcaniques							IN -N	IN -N
	Dijon (21)	47.19° N 5.01° E	Sols argilo-limoneux sur marnes et graviers							IN -N	
	Le Moulon (91)	48.48° N 2.11° E	Limons profonds et battants							IN -N -F	IN -N -F
	Mons (80)	49.56° N 2.56° E	Limons profonds argileux							IN -N -F	
	Premesques (59)	50.40° N 2.57° E	Limons profonds argileux								IN -F
	Rennes (35)	48.05° N 1.41° O	Limons légers							IN -N -F	IN -N -F
	Toulouse (31)	43.31° N 1.30° E	Sols argilo-calcaires							IN -N	IN -N

Légende :
IN : conduite "intensive"
-NR : sans régulateur, et avec réduction de la dose d'azote
-FNR : sans fongicides ni régulateur, et avec réduction de la dose d'azote
EX : conduite extensive (réduction de la dose de semis, sans fongicides ni régulateur, et avec réduction de la dose d'azote)
-N : réduction de la dose d'azote
-F : sans traitement fongicide
IRG : conduite irriguée
+Ng : apport d'azote supplémentaire au gonflement

Tableau A-4 : Présentation des différents réseaux expérimentaux de l'étude : situation géographique des sites et conduites culturales.

comparable (une échelle commune allant de 0 à 10 a été établie, 0 représentant un facteur limitant non présent, 10 un facteur limitant dont l'intensité est maximale).

- Fixer des seuils d'action des facteurs limitants qui ont permis de calculer les niveaux « 0 » et « 10 » des indicateurs de facteurs limitants. Pour certains, les seuils étaient faciles à établir (par exemple, pour st25, la température journalière devient limitante à partir du moment où elle dépasse 25°C). Pour d'autres, ces seuils n'étaient pas connus (par exemple, à partir de quelle somme de rayonnements sur une phase donnée sait-on qu'il y a un effet limitant sur le rendement du blé). Les seuils ont alors été déterminés comme les minimum et maximum observés sur l'ensemble des réseaux expérimentaux.

- Fixer une certaine forme de régression multiple qui assure la validité agronomique des facteurs limitants sélectionnés. Au cours de la procédure stepwise, seules les variables dont la contribution est positive sont ainsi retenues. En effet comme ces variables décrivent les facteurs limitants, l'augmentation de leur valeur doit correspondre à une augmentation des écarts de la variable expliquée. A chaque étape de la stepwise, il est donc nécessaire de vérifier le signe de la variable introduite, de la retirer si elle est négative et de réaliser une nouvelle régression, ainsi de suite jusqu'à ce qu'il n'y ait plus aucune variable de signe négatif introduite.

- Proposer un mode de calcul de l'impact quantitatif des facteurs limitants sur le rendement : le mode de calcul des pertes de rendement dues à chaque variable est tel que la somme des contributions de chaque facteur limitant soit égale à la perte de rendement estimée pour le génotype révélateur et dans le milieu considérés (voir cadre A-5 plus haut)

- Proposer des éléments de validation de la méthode. 3 réseaux expérimentaux ont été utilisés pour valider la démarche. Nous reproduisons ci-contre le tableau A-4 descriptif des réseaux. De plus amples détails sont donnés dans Lecomte (2005). La validation a été faite principalement en comparant les conduites d'un même milieu, par exemple en vérifiant l'apparition de facteurs limitants type stress hydrique entre un milieu conduit de façon intensive et le même milieu ayant bénéficié d'irrigation. La validation a aussi consisté à vérifier la cohérence des facteurs limitants entre génotypes révélateurs, mais aussi entre facteurs limitants déterminés pour le rendement et les composantes du rendement (le diagnostic a également été fait sur les variables nombre de grains et poids de mille grains).

A l'issue de cette étape de diagnostic, une liste des facteurs limitants ayant joué un rôle significatif dans les milieux testés est donc disponible par génotype révélateur. En concaténant les informations provenant des différents génotypes révélateurs, on obtient une caractérisation globale des milieux testés en termes de facteurs limitants. Ce sont ces facteurs limitants qui seront introduits comme covariables du milieu dans l'étape de décomposition des interactions génotype-environnement pour caractériser les variétés. Seuls seront donc introduits dans la partie suivante de calcul des résistances variétales les facteurs limitants dont le rôle agronomique a été montré dans l'étape de diagnostic des milieux.

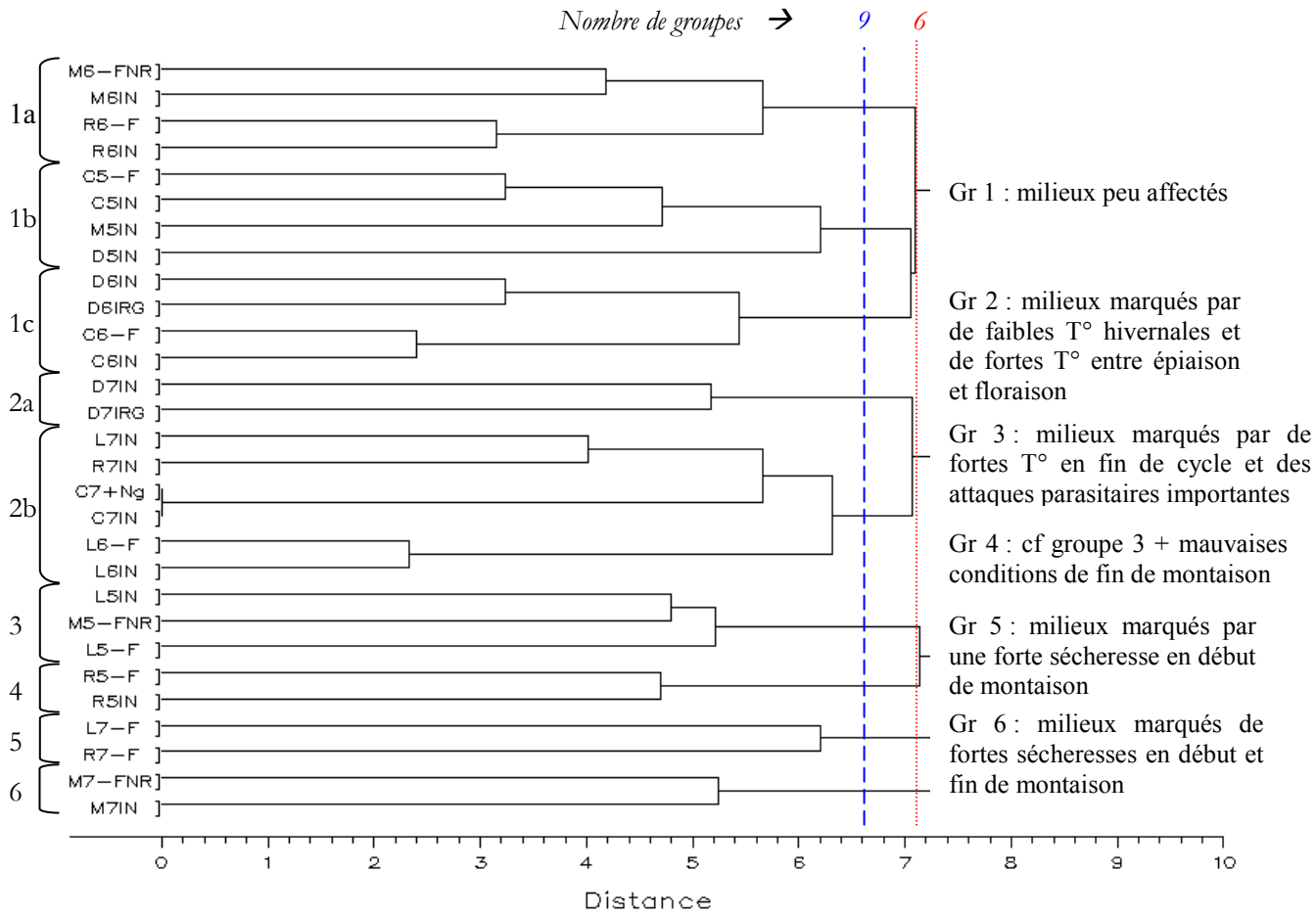


Figure A-15 : Classification des milieux obtenue à partir des pertes de rendement dues à chacune des 20 variables descriptives des facteurs limitants qui ont été identifiés sur 4 génotypes révélateurs (méthode "average" de la procédure "cluster" sous SAS)

Le modèle qui sous-tend cette méthode de régression factorielle est le suivant. Nous avons pris l'exemple d'un milieu qui aurait été décomposé selon une unique covariable, appelée 1 dans le modèle :

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + Vm1_j + M'_j + R_k(M_j) + G_i \times Vm1_j + G_i \times M'_j + E_{ijk}$$

Y_{ijk} est le rendement observé pour le génotype i, dans le milieu j, et dans la répétition k
μ est la moyenne générale de l'essai
G_i est l'effet du génotype i
$Vm1_j$ est l'effet de la covariable environnementale 1 dans le milieu j,
M'_j est le reste de l'effet du milieu j
$R_k(M_j)$ est l'effet de la répétition k dans le milieu j
$G_i \times Vm1_j$ est l'interaction du génotype i avec la covariable environnementale Vm1j
$G_i \times M'_j$ est le reste de l'interaction du génotype i avec le milieu j
E_{ijk} est la variabilité résiduelle

Pour estimer les effets de l'ensemble des covariables, la régression factorielle est effectuée selon une procédure forward : les covariables sont successivement introduites dans le modèle, selon une explicativité croissante de l'IGE. De plus à chaque étape de la régression, seules sont conservées les covariables dont l'effet principal est négatif : il s'agit ici d'une vérification agronomique. Les covariables étant définies comme des facteurs limitants, on ne conserve dans le processus que celles qui ont un effet négatif sur le rendement.

Cadre A-6 : détails sur la méthode de la régression factorielle (Lecomte, 2005)

Le diagnostic constitue également une base pour proposer un regroupement des milieux. C. Lecomte (2005) propose d'effectuer une classification automatique des milieux sur la base des contributions des différentes variables explicatives aux pertes de rendement des témoins obtenues dans chaque milieu (utilisation de la procédure *Cluster* de SAS, méthode de groupement *average linkage*). Le lien entre les groupes de milieux ainsi constitués et les facteurs limitants est produit par une analyse en composantes principales (procédures *Princomp* et *Factor* de SAS) dans laquelle les caractéristiques de chaque groupe de milieux correspondent à la moyenne des caractéristiques des milieux qui constituent chaque groupe. Le résultat de cette classification, présenté sous forme de dendrogramme, peut permettre de repérer des groupes de milieux s'avérant proches en termes de facteurs limitants qui y sont exprimés, ce qui peut être une information utile pour les gestionnaires de réseaux désireux d'optimiser leurs réseaux en lien avec les facteurs limitants qui s'y expriment. Nous avons reproduit ci-dessous un dendrogramme produit par C. Lecomte (ibid.) sur un sous-réseau du réseau 1 (figure A-15).

4.2 Décomposer les IGE pour mieux connaître les variétés

C. Lecomte (2005) propose d'exploiter les informations issues de l'étape de diagnostic des facteurs limitants par une méthode de décomposition des IGE qui permette d'accéder aux sensibilités variétales. Il propose, suivant les travaux antérieurs de généticiens et statisticiens (e.g. Denis, 1980 ; van Eujwick, 1995 ; Brancourt, 1997), d'utiliser une méthode de régression factorielle pour décomposer l'environnement en covariables du milieu. Ces covariables représentent les contraintes des environnements, ou dit autrement, les facteurs limitants des performances qui se sont exprimés dans les environnements. Il décompose ainsi l'interaction génotype-environnement en interactions génotype-facteur limitant dans lesquelles il trouve l'information pour caractériser le comportement des variétés aux facteurs limitants. La principale difficulté dans cette méthode de décomposition des IGE est d'utiliser des covariables qui ont eu un rôle biologique effectif dans les essais. De fait, « *on cherche logiquement à identifier les covariables qui sont plus explicatives de l'interaction, ce qui, sur le plan statistique correspond à celles qui sont les mieux corrélées aux variations de la variable expliquée. Mais une bonne corrélation avec la variable expliquée peut être fortuite. Et, si un facteur limitant qui est intervenu dans les essais n'est pas décrit, un autre facteur limitant pourra être mis en cause par erreur à sa place.* » (Lecomte, 2005 ; pp 13). C'est pour répondre à cette difficulté que la décomposition des IGE est précédée par un diagnostic des facteurs limitants ayant joué dans les essais. Le modèle mathématique de la régression factorielle est explicité dans le cadre A-6.

Les paramètres variétaux associés à chaque covariable environnementale (paramètre associé au terme « Gi x Vm1j » dans le modèle présenté, voir cadre A-6) correspondent à la pente de la relation entre le rendement estimé (plus précisément l'effet d'interaction sur le rendement estimé, après retrait des effets principaux génotype, milieu et répétition) et chacune des covariables introduites dans la régression factorielle. Le rendement diminue avec l'augmentation des valeurs de la covariable, d'autant plus que le génotype considéré est sensible au facteur limitant correspondant. **Les pentes des différentes relations représentent donc une estimation de la résistance des variétés aux différents**

facteurs limitants. Remarquons ici que l'évaluation de la résistance de la variété est relative à la gamme des variétés présentes. En effet, la méthode permet de classer les résistances des variétés les unes par rapport aux autres, pas d'accéder à une résistance « dans l'absolu » de la variété, qui correspondrait par exemple à celle que les expérimentateurs relèvent au champ en se basant sur des protocoles de notation spécifiques. La régression factorielle fonctionne en effet sur la base des différences de rendements des variétés : si les rendements ne sont pas assez contrastés, la régression estimera des paramètres variétaux équivalents.

4.3 Récapitulatif des fonctionnalités potentielles de la méthode

Nous disposons donc d'une méthode construite en trois temps. Dans un premier temps, les données nécessaires aux calculs postérieurs (indicateurs des facteurs limitants de chaque génotype révélateur, notamment) sont préparées, notamment le calcul des indicateurs de facteurs limitants. Dans un second temps, un diagnostic de la variabilité du rendement est réalisé sur quelques génotypes révélateurs et permet d'accéder à un diagnostic des facteurs limitants d'un milieu. Dans un troisième temps, on décompose le facteur « environnement » de l'interaction génotype-environnement en fonction des facteurs limitants dont on a démontré le rôle dans l'étape précédente pour accéder à la sensibilité de chacune des variétés testées dans le milieu.

Du fait de ces trois étapes, la méthode présente un certain nombre de fonctionnalités que nous avons récapitulé ci-dessous.

- Fonctionnalité de caractérisation des milieux, qui se décline de la façon suivante :
    - Fonctionnalité de diagnostic au champ : mieux décrire les milieux expérimentaux,
    - Fonctionnalité de caractérisation globale des milieux : diagnostic agronomique des facteurs limitants à l'échelle d'un réseau,
    - Fonctionnalité de regroupement d'essais ou d'optimisation des réseaux.
- Fonctionnalité de classement relatif des résistances des génotypes par rapport à des facteurs limitants.

4.4 Une méthode pour des réseaux d'essais

Nous avons souligné à plusieurs reprises le fait que les résultats de la méthode dépendent des gammes de variation explorées en terme de génotypes révélateurs, de milieux, et de nouvelles variétés. En effet, les génotypes révélateurs doivent être suffisamment contrastés pour permettre de capter l'ensemble des facteurs limitants d'un milieu. Les différents milieux d'expérimentation doivent être suffisamment contrastés, en termes de facteurs limitants, pour que la régression linéaire puisse discriminer l'effet des facteurs limitants. Par exemple, comme l'a noté C. Lecomte, l'ensemble des milieux expérimentaux testés dans la méthode en 2003 présentaient des indicateurs élevés de facteurs limitants du type sécheresse et stress hydrique (notes proches de 10 presque systématiquement). Ces facteurs ne sont pas ressortis significativement de l'étape de diagnostic des milieux car il n'y avait pas assez de variabilité dans leur intensité pour que l'outil statistique les détecte. Enfin, les nouvelles variétés doivent être suffisamment contrastées en termes de profil de résistances

pour que la régression factorielle détecte des différences de comportement entre elles et propose un classement des variétés également contrasté et donc plus intéressant pour les évaluateurs.

Cette méthode s'applique donc préférentiellement sur des réseaux expérimentaux (séries d'essais multilocaux conduits de façon similaire) et pas à des essais individuels.

4.5 Une méthode qui requiert des outils informatiques et une automatisation

Le fait de formaliser des relations entre perte de rendement et indicateurs de facteurs limitants, puis entre rendement et covariables du milieu, le fait de devoir calculer des indicateurs de facteurs limitants en intégrant des informations journalières (ex : le calcul de *stmphv* nécessite d'additionner toutes les températures moyennes en base 0 du jour du semis au jour du stade épi 1 cm) nécessitent de recourir à des outils informatiques d'une puissance de calcul non négligeable. C. Lecomte a utilisé les logiciels SAS et INTERA pour gérer les calculs statistiques mais a procédé lui-même aux calculs intermédiaires via des outils EXCEL. Au début de ce travail de thèse, la méthode consistait donc en un ensemble de programmes SAS et INTERA qui tournaient et s'enchaînaient grâce à l'expertise d'un opérateur (le concepteur). Elle nécessite également des entrées calibrées (les indicateurs de facteurs limitants notamment) qui ne correspondent pas aux informations dont les acteurs de l'évaluation variétale disposent et elle fournit des sorties, notamment des graphiques SAS, qui sont difficiles à exporter et à retoucher.

IV. Vers des questions de recherche

Nous avons dans un premier temps établi que la conception des modèles agronomiques suivait une méthodologie largement standardisée dont la structuration n'est pas liée à un usage ou à une utilisation. Nous avons également établi que cette méthode de conception était insuffisante lorsqu'il s'agissait de produire des modèles utilisés en dehors de la recherche. Nous nous proposons d'investir ce problème du rapport entre conception et usage à partir de l'exemple des modèles d'analyse des interactions génotype-environnement. Nous disposons en effet, à travers la méthode mise au point par C. Lecomte, d'un modèle de l'analyse des IGE qui est en cours de conception et qui peut être mis à l'épreuve avec des utilisateurs potentiels, fortement intéressés par l'outil que ce modèle peut devenir. Nous pouvons ainsi étudier ce que produit le fait de mettre en lien conception et usage.

Nous avons établi l'importance d'impliquer les utilisateurs potentiels dans le travail de conception pour se saisir de cette question d'usage. Nous avons également établi que traiter la conception en relation avec une problématique d'usage peut se conceptualiser sous l'angle du développement : développement des activités des différents participants au processus de conception et développement de l'outil en cours de conception. Dès lors, nous envisageons d'engager le travail de thèse pour traiter deux questions de recherche.

Première question de recherche : quel processus construire pour mettre au point un outil d'analyse des IGE, en faire un outil utilisable et utilisé par les acteurs de l'évaluation variétale, et initier une dynamique de développement conjoint des activités et de l'outil ?

Deux éléments méthodologiques ressortent de notre analyse bibliographique des travaux sur la conception et sur le développement des activités. Le premier renvoie à la nécessité d'analyser l'activité des utilisateurs dans laquelle l'outil que nous concevons a vocation à venir s'insérer. Cette analyse doit nous permettre : (i) d'adapter le modèle aux besoins et aux manières de travailler des utilisateurs, (ii) de repérer les dimensions de l'activité sur lesquelles nous appuyer pour initier un développement. Plus précisément, nous proposons que cette analyse puisse servir simultanément des objectifs :

- de *cristallisation* pour inscrire dans l'artefact un modèle de l'utilisateur et de l'utilisation permettant aux utilisateurs de se saisir de cet artefact et de l'inscrire dans leur activité,
- de *plasticité* pour prendre la mesure de la variabilité des utilisateurs et de leurs actions,
- de *développement* pour aider les utilisateurs à dépasser les contradictions de leur activité et pour leur donner l'occasion de construire des genèses instrumentales.

Le second élément méthodologique repose sur le rôle de médiation d'un outil dans l'activité. L'introduction d'un nouvel outil dans une activité va avoir un effet perturbateur sur l'activité. Mais pour l'évaluer, il faut que les utilisateurs potentiels aient les moyens de mettre à l'épreuve le nouvel outil dans leur activité. Il ne suffit pas *a priori* que les concepteurs décrivent leur idée de conception aux utilisateurs potentiels. Il faut

que cette idée prenne un sens dans l'activité des utilisateurs. Il faut que ces derniers aient les moyens d'expérimenter comment cette idée remet en mouvement les ressources de leurs propres actions. C'est là que nous voyons l'intérêt des méthodes de « simulation » : simuler est une opportunité pour susciter une activité constructive qui permet justement aux acteurs en situation de simulation de se construire des ressources d'action. Nous proposons donc de mettre en scène le nouvel outil, à l'état de prototype, dans la simulation. Nous parlons de mise en scène car il ne s'agit pas uniquement de faire utiliser l'outil en cours de conception aux utilisateurs. Il faut construire la simulation de façon à ce que les utilisateurs y trouvent un écho pour mettre en mouvement leur propre activité. Nous nous proposons d'utiliser le concept des « contradictions, moteur du développement » proposé par Engeström pour construire la mise en scène autour de l'outil dans notre démarche de simulation.

Pour répondre à cette question, nous souhaitons donc élaborer une démarche de conception basée sur une analyse de l'activité et sur la mise en scène des contradictions dans une simulation de façon à articuler, dans le cours du projet, les objectifs de cristallisation, plasticité et développement. Nous expliciterons la façon dont les choix faits en matière d'analyse de l'activité et de simulation sont plus ou moins contingents de notre cas d'étude, celui de l'élaboration d'un outil d'analyse des IGE conçu pour aider les acteurs de l'évaluation variétale. Ceci nous permettra de dégager les éléments génériques susceptibles d'être remobilisés dans d'autres situations par des agronomes voulant concevoir des outils à destination de non-chercheurs. Il existe en conséquence une tension assez forte entre cette recherche de généricité et la nécessaire inscription dans un contexte particulier de travail, dont on a montré qu'elle était indispensable à la conception.

Deuxième question de recherche : comment le fait de conjuguer conception et usage transforme l'outil en cours de conception et l'activité des différents participants à la conception ?

Nous avons envisagé le traitement de cette question à travers deux « filtres » différents. Dans un premier temps, nous avons pris un filtre d'agronome pour observer les conséquences d'une articulation conception-usage. Ce faisant, nous avons plus particulièrement étudié le modèle agronomique en jeu dans la conception et l'activité des agronomes-modélisateurs dont ce modèle est l'objet de recherche. Dans un second temps, nous avons pris un filtre d'ergonome pour étudier les effets de cette articulation conception-usage. Nous avons alors analysé les éléments méthodologiques travaillés dans notre démarche et les transformations de l'activité des utilisateurs. C'est pourquoi nous présentons ci-dessous deux déclinaisons de cette question de recherche, que nous retrouverons dans nos chapitres de résultats.

2.a : comment le fait de conjuguer conception et usage fait évoluer le modèle en cours de conception et l'activité de modélisation?

En envisageant la question de l'articulation conception-usage au travers d'un filtre d'agronome, nous avons principalement abordé la question des changements que cela a initié dans le modèle agronomique et l'activité de modélisation.

Si nous affirmons que l'utilisateur a légitimement sa place dans le processus de conception, au même titre que le concepteur, nous n'affirmons pas pour autant que concepteur et utilisateur sont confondus : chacun a sa propre activité, qui peut être mise en mouvement différemment dans le processus de conception tel que nous cherchons à le mettre en place. En tant qu'agronome, il nous importe de comprendre si l'articulation entre conception et usage, tout en faisant évoluer nos démarches de travail, contribue ou non à faire évoluer nos objets de recherche. Nous cherchons ainsi à identifier comment les concepts que les agronomes ont mis en jeu dans l'outil en cours de conception sont interrogés, spécifiés voire enrichis. Ces concepts sont ceux présents dans le modèle qui est inscrit dans l'outil : le diagnostic agronomique, la notion de réseau d'expérimentation, la modélisation des interactions génotype environnement, l'évaluation variétale. Notre démarche a donc une exigence de questionnement du modèle agronomique en jeu, dans les concepts qu'il mobilise et qu'il met en oeuvre. En étudiant la façon dont l'outil est mis en mouvement dans notre processus de conception, c'est aussi le développement de l'activité des agronomes que nous étudierons puisque la mise en mouvement des concepts qui sont inscrits dans l'outil est potentiellement source de développement de cette activité.

Pour traiter cette question de recherche, nous nous intéresserons donc aux mises en mouvement du modèle qui sont apparues lors de notre travail avec les utilisateurs potentiels. Nous étudierons comment ces mises en mouvement renvoient des questions scientifiques aux agronomes et comment nous avons traité certaines d'entre elles.

2.b : comment le fait de conjuguer conception et usage permet de travailler des éléments méthodologiques de la conception et les dynamiques du processus de conception, du point de vue de l'activité des utilisateurs notamment ?

Il nous paraît important de rappeler ici que nous tentons, dans cette thèse, de tenir une double position : une position d'agronome mais aussi une position d'ergonome. En effet, nous refusons de considérer l'ergonomie comme une boite à outil de ce travail. Nous nous fixons donc aussi l'objectif de discuter comment notre démarche visant à articuler conception et usage nous permet de produire des connaissances en ergonomie. Il s'agit plus particulièrement de connaissances sur l'activité d'évaluation variétale, sur les méthodes développées pour l'analyser et la mettre en mouvement, sur la façon d'organiser la contribution des utilisateurs à la remise en question d'un modèle inscrit dans un outil et sur les conséquences du processus pour l'activité des utilisateurs. Nous chercherons à

préciser la façon dont notre triple objectif de cristallisation, plasticité et développement impacte notre conduite de projet en tant qu'ergonome.

En lien avec nos deux questions de recherche, nous nous proposons d'organiser la suite du document de la façon suivante. Nous présenterons, dans un premier chapitre de résultats, la démarche de conception que nous avons construite au cours de ce travail de thèse. Nous montrerons ensuite ce que cette démarche produit comme résultats, pour les agronomes puis pour les ergonomes. Nous développerons ainsi un chapitre de résultats sur l'exploration des questions agronomiques ayant émergé du processus. Nous reviendrons ensuite sur notre intervention ergonomique et les particularités de notre processus de conception. Nous terminerons par un chapitre de discussion générale et de conclusion.

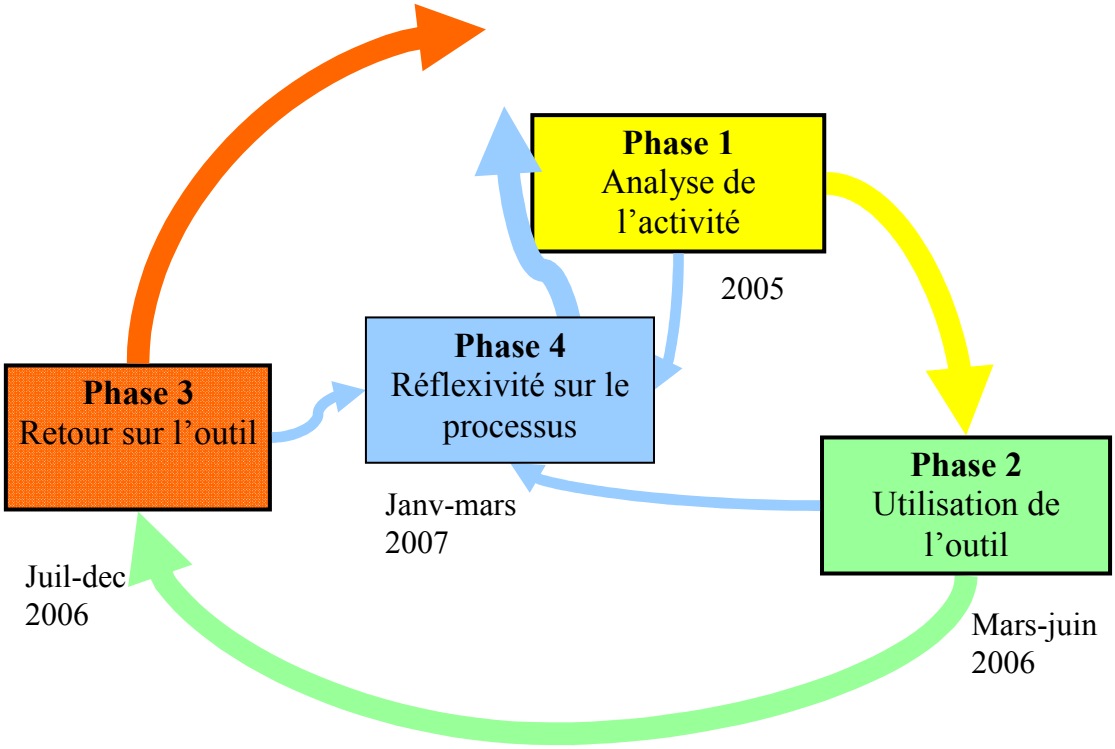


Figure B–1 : Phases de la démarche de travail

B. La démarche de recherche mise au point

Ce premier chapitre de résultats vise à présenter la démarche de travail mise au point au cours des trois années de travail. Nous cherchons ici à identifier les éléments méthodologiques innovants pour l'agronome et développés pour construire un processus qui permette le développement conjoint de l'outil en cours de conception et des activités. Rappelons que deux principes sous-tendent cette démarche : la volonté de construire un dialogue entre concepteurs et utilisateurs et la volonté d'utiliser l'outil en cours de conception, car nous avons montré qu'il peut occuper une place particulière et être un vecteur de développement dans un processus de conception à condition de savoir le mettre en scène.

La démarche s'articule en quatre phases de travail, présentées sur la figure B–1 de façon chronologique : une phase 1 d'analyse de l'activité dévaluation variétale, une phase 2 de mise en scène de l'outil en cours de conception, une phase 3 de retour sur l'utilisation de l'outil et une phase 4 de réflexivité sur le processus. Nous avons choisi de décrire chaque phase en présentant le principe qui prévaut à sa mise en place, la mise en œuvre de la phase et les produits obtenus, en insistant sur la cohérence qui se construit sur l'ensemble de la démarche : comment chaque phase se nourrit de la précédente et alimente la suivante.

I. Phase initiale : l'analyse de l'activité

1. Principe : privilégier l'exploitation d'entretiens existants

Nous avons vu que les ergonomes posent l'analyse de l'activité des utilisateurs potentiels de l'outil comme un élément fondamental de la conduite des projets de conception (Daniellou, 2004). L'objectif de cette analyse est de comprendre la réalité du travail des acteurs pour approcher l'activité future pour en tirer des recommandations quant aux spécifications de l'outil. Dans notre cas, nous avons fixé trois objectifs à cette phase :

1. en tirer des éléments pour nous orienter dans le choix des acteurs avec qui mettre en place le travail de mise en scène de l'outil,
2. en tirer des éléments pour construire un prototype de l'outil qui pourrait être mis en scène dans les phases suivantes,
3. préciser, d'un commun accord entre les acteurs, ce que recouvre l'activité d'évaluation pour capter ensuite les changements éventuels provoqués dans celle-ci par l'ensemble de la démarche.

Etant donné ces objectifs, notre approche des situations actuelles s'est appuyée sur la structuration de l'activité faite par Leontiev (1977). Dans le distinguo fait entre activité, action et opération, le niveau des actions relève des individus là où l'activité relève d'une dimension collective (Kuutti, 1995 ; Seppänen, 2004). Les actions sont donc les éléments de compréhension de l'activité les plus accessibles et c'est dans leur mise en cohérence avec un motif général qu'apparaît l'activité. Nous nous sommes donc focalisée sur la description des actions des différents acteurs de l'évaluation variétale pour parvenir à capter la diversité et les invariants de l'activité d'évaluation. Une telle analyse est, pour nous, une façon de recenser des classes de situations futures probables ainsi que le propose Daniellou (2004) lorsqu'il définit ce qu'il appelle les « situations d'action caractéristiques ».

Type d'entreprise	N° entrepr	Echelle d'activité	Fonction de l'interlocuteur	Type de fonction
Obtenteur	1 1	Nationale / internationale	(1) Responsable de la sélection (2) Responsable du nouveau service de développement	(Sélection)
Obtenteur	2 2 2	Nationale / internationale	Sélectionneur Directeur des programmes de sélection Responsable du développement	(Développement)
Obtenteur	3 3	Nationale / internationale	Sélectionneur Responsable du développement (et animateur d'un réseau de coop)	
Organisme chargé de l'inscription des variétés	4 4 4	Nationale	Secrétaire de la section céréales Animateurs du réseau blé (1) et orge (2) Animateur du réseau oléagineux et secrétaire de la section lin	(Inscription)
Groupement de multiplicateurs - distributeurs	5	Nationale	Animateur d'un réseau de coop (et resp du dévpt chez 2 obtenteurs)	(Réseau de distribution
Multiplicateur - distributeur	6 6	Régionale	Responsable variétés du service semences Responsable variétés du service technique	(Multiplication - Distribution)
Multiplic-distrib	7	Régionale	Responsable variétés du service technique	
Multiplic-distrib	8	Régionale	Responsable du service agronomique	
Multiplicateur - distributeur	9 9	Régionale	Responsable du service technique Responsable variétés du service technique	
Groupem. d'agriculteurs	10	Locale	Ingénieur - Animateur du groupement	(Technique)
Groupem. départem. d'organismes techniques	11	Département.	Ingénieur - Animateur du groupement départemental	
Institut technique	12 12	Nationale Régionale	Responsable du réseau national d'évaluation des variétés de céréales Ingénieur régional, responsable des expérimentations	
Transformation des récoltes	13	Nationale	Responsable technique	(Valorisation - Transf)
Expérimentateur à façon	14	Locale	Directeur de la station expérimentale	(Prestation)

Tableau B-1 : liste des acteurs interviewés sur l'expérimentation variétale (Lecomte, 2005)

Type d'entreprise	Echelle de travail	Fonction de l'interlocuteur	Type de fonction
Recherche	Nationale	Chercheur généticien-agronome Chercheur généticien Chercheur agronome	(recherche) (recherche) (recherche)
Obtenteur	Nationale /internationale	Développement	(Développement)
Interprofession semences et plants	Nationale	Secrétaire de la section céréales	(Inscription)
Multiplicateur –distributeur	Régionale	Service semences	(Multiplication - Distribution)
Multiplic-distrib	Régionale	Responsable collecte	(Multiplication - Distribution)
Multiplic-distrib	Régionale	Responsable du service technique et appro	(Multiplication - Distribution)
Négoce	Régionale	Acheteur	(négoce)
Institut technique	Nationale	Responsable du réseau national d'évaluation des variétés de céréales	(technique)
Transformation des récoltes	Nationale	Responsable technique	(Valorisation - Transf)
Expérimentateur à façon	Locale	Responsable	(Prestation)

Tableau B-2 : liste des acteurs interviewés dans le cadre du projet d'ingénieurs (Prost et al., 2003)

Dans le champ de l'ergonomie, l'analyse de l'activité se construit à partir d'entretiens et d'observations précises des situations de travail, négociées et consenties par les acteurs (Daniellou et Béguin, 2004). Pourtant, plusieurs éléments de l'activité d'évaluation variétale nous ont conduite à ne pas observer les situations de travail :

- Tout d'abord, cette activité s'effectue sur un temps long, à l'échelle de l'année au moins. Pour évaluer les nouvelles variétés, chaque évaluateur intègre des informations acquises tout au long du cycle de développement de la culture, au cours de visites d'essais, de contacts avec les expérimentateurs, mais aussi d'informations échangées et confrontées avec d'autres personnes en charge de l'évaluation des variétés. Il était difficile de prétendre observer l'ensemble des moments dont c'est le cumul qui finit par rendre possible une évaluation des variétés d'autant que ces moments ne sont pas forcément anticipés ni anticipables. En effet, si les visites d'essais sont -à peu près- planifiées, les informations s'échangent fréquemment à l'occasion de communications téléphoniques informelles, ce qui rend impossible l'observation systématique de l'activité, sauf à suivre chaque évaluateur au quotidien sur un temps long, ce qui nous était matériellement impossible.
- L'observation se heurte alors à une deuxième caractéristique de l'activité d'évaluation des variétés : la diversité des acteurs impliqués dans cette activité. La description rapide, faite dans la partie problématique, des différents acteurs de cette évaluation montre d'emblée l'impossibilité de suivre la totalité des acteurs de l'évaluation. Nous aurions pu nous focaliser sur l'observation et la compréhension de l'activité d'un évaluateur. Cependant notre objectif n'était pas de parvenir à une compréhension ethnologique de l'activité, mais plutôt d'en saisir les éléments invariants pour les différents acteurs, à intégrer dans le processus de conception pour créer un outil qui corresponde à une diversité d'acteurs.
- Par ailleurs, l'activité d'évaluation est essentiellement cognitive et l'information recueillie par les évaluateurs n'est pas toujours matérialisée. Elle est donc difficile à observer. Un moyen d'y accéder est de demander à l'acteur de verbaliser son raisonnement pendant qu'il agit, ou juste après, avec, par exemple, le support d'enregistrements vidéo des moments de l'activité. Ce sont des techniques bien connues des ergonomes (e.g. Mollo et Falzon, 2004), mais qui risquaient ici d'atteindre leurs limites car l'activité d'évaluation ne se construit pas autour d'un moment bien identifié.
- Enfin, comme nous l'avons dit plus haut, l'observation doit se négocier. Or l'activité d'évaluation est une activité fortement concurrentielle, qui ne se laisse pas facilement observer, d'autant que les acteurs du monde agricole, s'ils sont familiers des enquêtes, ne sont pas habitués à ces techniques d'observation. Nous avons donc rencontré assez rapidement une opposition à l'utilisation de cette technique. Il est bien clair que les ergonomes travaillant dans les milieux industriels sont confrontés aux mêmes difficultés de savoir négocier les conditions de leurs interventions (Daniellou et Béguin, 2004), l'observation étant souvent ressentie comme un examen, un jugement, ou plus simplement parce que l'acteur ne sait pas exactement comment va être utilisée cette observation. Cependant, le travail que nous proposions aux acteurs, leur investissement dans un processus de conception, nécessitait de construire un lien de confiance très fort entre eux et nous. Nous avons donc préféré ne pas éprouver ce lien d'emblée,

Question n°1 :

Pouvez-vous décrire le dispositif actuel de l'expérimentation variétale dont vous vous occupez ?

- réseau, choix des sites
- dimension des essais, choix des conduites culturales
- témoins de référence, critères de comparaison des génotypes, index éventuel
- critères de choix des essais retenus, synthèse des résultats, mode de regroupement et d'analyse

et : Comment prenez-vous en compte les différences de réaction des génotypes aux milieux ?

ex : si une variété est bien classée dans 3 lieux et mal dans 1 ou 2 autres, que faites-vous ?

Question n°2 :

Quelle a été l'évolution de votre dispositif ou de votre pratique ?

et : Quels facteurs sont responsables de cette évolution ?

Question n°3 :

Vous faites de l'expérimentation variétale. Pour prendre quelle décision ?

Autres formulations :

- Quelle est l'importance de l'expérimentation variétale dans votre métier ?
- Quelle information en retirez-vous ?

Question n°4 :

Pouvez-vous décrire comment cette décision est prise ?

- Qui la prend : personne seule, comité ?
- Quelles sont les étapes et le calendrier de la prise de décision ?
- Comment s'appuie t-on sur l'expérimentation variétale pour prendre cette décision ?
- Quelles autres informations sont utilisées ?

Question n°5 :

Quel risque d'erreur vous paraît-il le plus grave ?

et : Comment faites-vous pour essayer de le minimiser ?

Cadre B-1 : guide des entretiens de Lecomte (2005) et liste des questions abordées

Type d'entreprise	Echelle de travail	Fonction de l'interlocuteur	Type de fonction
Obtenteur	Nationale / internationale	Responsable de la sélection	(Sélection)
Obtenteur	Nationale / internationale	Sélectionneur	(Sélection)
Obtenteur	Nationale / internationale	Responsable du développement	(Développement)
Obtenteur	Nationale / internationale	Responsable du développement	(Développement)
Multiplicateur - distributeur	Régionale	15 personnes (divers services)	(Multiplication - Distribution)
Transformation	Régionale	9 personnes (divers services et fournisseurs)	(valorisation-transf)
Institut technique	Nationale Nationale Régionale	Responsable du réseau national d'évaluation des variétés de céréales 4 membres du service qualité et valorisation Conseil régional	(Technique)
Transformation des récoltes	Nationale	Responsable technique	(Valorisation - Transf)

Tableau B-3 : liste des acteurs interviewés dans le cadre du stage de fin d'étude (Cazenave et Ferté, 2003)

d'autant que les autres arguments exposés justifiaient déjà de ne pas nous focaliser sur une observation des situations de travail.

En conséquence, nous avons choisi d'exploiter un certain nombre d'entretiens, conduits antérieurement (notamment dans le cadre du travail de Lecomte, 2005, lors de différents stages d'élèves ingénieurs et lors d'un travail d'ingénieur de recherche à l'INRA, voir plus loin) et au début de la thèse, en nous attachant à y relever tous les éléments descriptifs des actions d'évaluation variétale des acteurs. Ce choix était également motivé par le souhait de valoriser les nombreux entretiens effectués auparavant par différentes personnes autour de la thématique de l'évaluation variétale et notamment dans le cadre de l'action transversale « IMPACT ET GESTION DES INNOVATIONS VARIETALES » menée par l'INRA.

2. Mise en oeuvre : les entretiens utilisés

Nous avons, dans un premier temps, repris les enquêtes menées par Lecomte dans sa thèse (2005), qui avaient été intégralement enregistrées et transcrites. Vingt-deux entretiens, de 1h30 en moyenne, menés entre 2000 et 2002, ont été exploités, couvrant une large gamme des acteurs évoqués dans la partie problématique. La liste des entretiens se trouve dans le tableau B-1 (voir plus haut).

Ces entretiens avaient initialement été construits autour de la problématique de l'expérimentation variétale. Le but de l'enquête était en effet de mieux connaître les besoins des différents partenaires faisant de l'expérimentation variétale afin de dégager pour les chercheurs INRA des voies d'amélioration à explorer au sujet de l'exploitation des données issues des réseaux d'expérimentation. Pour cela, des entretiens ont été réalisés auprès d'acteurs appartenant à différents types d'organismes qui pratiquent l'expérimentation variétale en vue d'évaluer les innovations variétales. Il s'agissait d'identifier la diversité des pratiques et des objectifs, et d'évaluer la préoccupation des expérimentateurs concernant l'amélioration de leur façon d'exploiter un réseau expérimental dans leur travail d'évaluation des variétés (Lecomte, 2005). Les entretiens ont été conduits de façon semi-dirigée en utilisant le guide présenté dans le cadre B-1. Ces entretiens, focalisés sur l'expérimentation, permettent d'éclairer une partie importante du travail d'évaluation et nous ont semblé être une source d'informations valorisables par rapport à notre travail.

La deuxième source d'entretiens provient d'un projet d'ingénieur réalisé par des élèves-ingénieurs (Prost et al., 2003) en troisième année à AgroParisTech, intitulé « Mais où s'en vont les nouvelles variétés de blé tendre ? », mené sur la base d'entretiens effectués entre fin 2002 et début 2003 auprès d'un large panel d'acteurs intéressés par la question de l'évaluation des variétés (Tableau B-2, voir plus haut). Les entretiens ont été menés de façon ouverte à partir de la question initiale : « comment fonctionne l'évaluation variétale et comment expliquez-vous que la création variétale soit si forte et le nombre de variétés finalement cultivées si réduit ? ».

Nous avons ensuite utilisé les informations contenues dans des entretiens menés lors d'un stage de fin d'études de deux élèves-ingénieurs d'AgroParisTech (Cazenave et Ferté, 2003) au cours du premier semestre 2003, intitulé « Quelle est la place de la variété dans les activités de gestion de la qualité chez les acteurs de la filière blé tendre ? ». L'objectif de cette étude était de chercher

Ancienneté dans le poste. Description générale de vos grandes activités et les objectifs visés pour chacune.
Quelles sont leurs répartitions dans le temps, au cours d'une année ? Quelles ont été les évolutions au sein de votre poste ?
Dans une année quels sont les grands moments clefs ? Quelles sont les grandes décisions ? Dans quel cadre sont elles prises ? Quels sont les outils à votre disposition pour prendre ces décisions ?

Création de nouveaux génotypes :

- *Comment faites vous pour ?*

… créer de nouvelles variétés ? combien de temps est nécessaire pour créer une nouvelle variété ?
… estimer qu'une variété est suffisamment robuste ? Qu'est ce que cela signifie pour vous « robustesse » ?
… stocker les informations d'une année sur l'autre et d'une variété à l'autre ? Quel intérêt de garder les informations année après année ? Peut-on prendre un exemple de variétés ?
… prendre en compte les interactions génotypes / milieux ? Exemples.

- *Tâches ?*

Combien et quel genre d'essais effectuez vous au cours du temps ?
Peut-on prendre un exemple de variété connue ? Pourriez vous reprendre son historique depuis le départ et décrire les tâches et les décisions que vous avez été amené à prendre au cours du temps pour la faire « naître » et connaître ?
Quelle est la représentativité des essais que vous menez ?
Les essais effectués sont ils identiques à ceux du CTPS ?
Faites vous aussi des essais en panification ? Qui fait ces tests (prestation de services) ?
Est-ce que vous faites appel aux développeurs dès cette étape ? Pourquoi ? Est-ce un service de l'entreprise ?
Quoiqu'il arrive présentez vous tout le matériel que vous avez créé et qui est suffisamment stable ?

- *Objectifs visés ?*

Quels sont les objectifs visés, objectifs indispensables ? Et plus facultatifs ?
Quels sont les seuils d'acceptabilité pour une nouvelle variété ?
Sur quels critères sont éliminées les variétés non conformes aux objectifs recherchés ?
Combien de variété avez vous pour objectifs de créer chaque année ? Pourquoi y a-t-il autant de nouvelles variétés inscrites tous les ans et si peu utilisées ?
Est-ce que les objectifs ont évolué au cours du temps (du productivisme, on passe à un esprit plutôt de filière) ?
Qu'est ce que cela a eu comme conséquences pour vous ?
Comment votre activité prend t-elle en compte les besoins du marché ? Essayez vous de travailler dans un esprit de filière ?
Quelles sont alors vos relations avec les utilisateurs des variétés : les producteurs, mais surtout les utilisateurs finaux comme les meuniers (en particulier GMP), et pour les autres (alimentation animale, export, amidonnerie) ?
Existence de contrats ? Quel type ? Visiblement, il existe plusieurs niveaux de partenariats avec les utilisateurs et cela dépend de chaque variété, peut-on prendre des exemples ?

- *Outils ?*

De quels outils disposer vous pour trier et gérer les variétés ?
Quels sont vos moyens d'aide à la décision ?
Quel logiciel ? Quelles bases de données ? Quelles entrées, quelles clés de recherche ? Comment l'utilisez vous, à quelle fréquence ?
Pouvez vous identifier un « algorithme » pour la gestion des variétés ?
Y a-t-il des décisions consensuelles avec d'autres personnes de l'entreprise, des meuniers, l'ANMF, Arvalis, etc... ? Que pensez vous du test de panification pour votre travail ?
Avez-vous un lieu de parole, des réunions annuelles ou plus informelles pour orienter vos recherches ?
Quels types d'informations peuvent vous apporter les personnes de la filière meuniers, multiplicateurs, OS, alimentation animale, etc... ?
Est-ce que l'ensemble des données récoltées chaque année est homogène en terme de contenu, ou est ce que cela varie d'une année à l'autre ? Comment faites vous pour gérer cette hétérogénéité ? Comment faites vous pour au final agréger les informations et avoir une certaine fiabilité sur ce résumé d'info final ?
Imaginons que vous changiez de poste, comment feriez vous pour transmettre votre connaissance et votre mode d'appréciation des variétés ?

Cadre B-2 : extrait du guide d'entretiens pour sélectionneurs (Cazenave et Ferté, 2003)

à comprendre comment les acteurs de la filière de production du blé tendre s'organisaient autour de la variété, et de comparer les manières dont les différentes structures étudiées mobilisaient la variété dans leur maîtrise de la qualité. Deux structures ont été plus particulièrement l'objet d'investigation au cours de ce stage : une entreprise de collecte-stockage et une entreprise de transformation. Mais de nombreux acteurs de la filière ont également été interrogés (Tableau B-3, voir plus haut).

Les entretiens visaient à comprendre comment la personne interrogée mobilisait la variété dans son travail, dans une logique globale de gestion de la qualité. La référence à la variété a été particulièrement analysée : la définition que la personne enquêtée en donne, la connaissance qu'elle en a, sa place dans l'organisation, l'utilisation qu'elle en fait. Les entretiens, dont la liste des principaux points abordés est donnée dans le cadre B-2, ont notamment visé à inventorier les sources d'information mobilisées dans leur travail avec les entrées suivantes : nature, origine, degré de précision, utilisation. Les dispositifs techniques et relationnels ou outils utilisés pour une maîtrise globale de la qualité, et en particulier ceux utilisant la variété, ont aussi été investigués.

Enfin, nous avons réalisé des entretiens en 2004 auprès des membres du GIE Club des 5 et d'Arvalis-Institut du Végétal, l'institut technique des céréales (voir la liste des interlocuteurs rencontrés, Tableau B-4 au dos), dans le cadre d'un projet financé par le FSOV (fonds de soutien à l'obtention végétale) entre 2004 et 2006. Ce projet, intitulé « Méthodologies de caractérisation des variétés et proposition de conduites culturales adaptées à une agriculture durable » avait pour objectif, entre autres, de développer la méthode mise au point par C. Lecomte (décrite dans la problématique) en un prototype d'outil opérationnel. Les acteurs ont donc été interrogés autour de ce thème, en orientant la discussion sur leur travail d'évaluation variétale, sur la base d'une présentation des fonctionnalités envisagées de la méthode d'analyse des données du réseau telle qu'elle avait été développée par C. Lecomte. Ces entretiens ont été enregistrés et transcrits. Le guide des entretiens est présenté dans le cadre B-3 (au dos).

3. Produits de la phase 1

Nous avons traité les éléments nous renseignant sur l'activité d'évaluation variétale avec 5 objectifs :

- produire des connaissances sur l'activité d'évaluation variétale en relation avec les trois objectifs repérés dans les processus de conception : (i) cristallisation, (ii) plasticité, (iii) développement. Pour cela, nous avons analysé respectivement (i) les invariants du système d'activité de l'évaluation variétale, (ii) la diversité des actions conduites par les acteurs de l'évaluation, (iii) les contradictions qui apparaissent dans le système d'activité. Nous avons choisi de présenter les résultats de ce travail, tels qu'ils sont inscrits dans le cadre cristallisation / plasticité / développement dans le chapitre D. Mais nous illustrerons, à travers les produits des quatre objectifs suivants, comment la compréhension des éléments de l'activité d'évaluation nous permet d'atteindre ces objectifs,
- construire notre dispositif de recherche, en termes de partenariat, à partir de la compréhension de l'activité d'évaluation variétale,

Type d'entreprise	N° entrepr	Echelle de travail	Fonction de l'interlocuteur	Type de fonction
Obtenteur	1 1	Nationale / internationale	(1) Responsable de la sélection (2) Responsable du service de développement	(Sélection) (Développement)
Obtenteur	2	Nationale /	(1) Responsable de la sélection	(Sélection)
	2	internationale	(2) Responsable du service de développement	(Développement)
Obtenteur	3 3	Nationale / internationale	(1) Responsable de la sélection (2) Responsable du service de développement	(Sélection) (Développement)
Obtenteur	4 4	Nationale / internationale	(1) Responsable de la sélection (2) Responsable du service de développement	(Sélection) (Développement)
Institut technique	5 5	Nationale Nationale	Responsable du réseau national d'évaluation des variétés de céréales Adjoint au responsable du réseau national d'évaluation céréales	(Technique) (Technique)

Tableau B-4 : liste des acteurs interviewés, FSOV 2004

A. Objectif

Définir les usages de la méthode de « diagnostic agronomique des facteurs limitants +régression factorielle » (Lecomte, 2005).

La définition de ces usages doit être envisagée par rapport à l'opérationnalité de l'outil : quelles conséquences les attentes des acteurs en terme d'évaluation variétale ont-elles sur l'adaptation de la méthode ?

B. Démarche

Il s'agit d'évaluer au cours de ces entretiens l'usage que veulent faire les acteurs de la méthode de Christophe Lecomte dans le but d'adapter cette méthode aux attentes des acteurs: Comment les acteurs veulent-ils utiliser l'outil ? Quel est pour eux, dans leur métier, l'intérêt potentiel de cette méthode ?

Afin d'adapter la méthode de Christophe Lecomte aux besoins des acteurs, il est nécessaire d'appréhender plus généralement et dans un premier temps les besoins d'amélioration dans la façon d'évaluer les variétés exprimés par les acteurs.

De plus, cet usage doit être relié au type de réseau sur lequel les acteurs ont accepté de déployer la méthode : comment justifient-ils ce choix de réseau ? Trouveraient-ils un intérêt à le transférer à d'autres réseaux ? Ces questions permettront également de mieux cerner l'usage que les acteurs attendent de la méthode.

C. Logique de déroulement

1. La présentation débutera par un rappel du projet FSOV :
2. Ensuite, rappel de la méthode de Christophe Lecomte
3. Améliorations à apporter à l'évaluation variétale
   ➔ Objectif : voir la place de la méthode dans les métiers de la sélection au sens large. Du point de vue des concepteurs, la méthode est plus adaptée aux besoins et exigences des développeurs commerciaux. Les utilisateurs le conçoivent-ils différemment ?
4. Test de la méthode dans le réseau mis en place par le GIE C5 juste avant la commercialisation (précom)
   ➔ Objectif : en s'intéressant aux particularités du réseau précom, on peut en déduire les attentes des acteurs. Sont-ils capables de les exprimer ou non ? Correspondent-elles à ce que l'on prévoyait ? Sont-elles les mêmes pour le développement et la sélection ?
5. Description des autres réseaux d'essais de variétés
   ➔ Objectif : A travers les points 3, 4 et 5, identifier ce que les acteurs connaissent de la méthode et les usages qu'ils veulent en faire.
6. Présentation exhaustive des différentes fonctionnalités de la méthode
   ➔ Objectif : leur présenter toutes les fonctionnalités aujourd'hui envisagées, et les classer par ordre d'intérêt pour eux.
7. Les contraintes de la méthode
   ➔ Objectif : s'assurer que les acteurs ont l'intention et les moyens de s'approprier l'outil.
8. Transfert de la méthode
9. Négociation de la suite du travail

Cadre B-3 : guide des entretiens FSOV 2004

- identifier des éléments susceptibles de nous aider à construire la mise en œuvre de l'outil dans une phase de simulation,
- mettre en évidence des problèmes de compatibilité entre les données nécessaires au fonctionnement de la méthode et les pratiques des acteurs,
- mettre au point un prototype de la méthode d'évaluation des variétés, appelé DIAGVAR.

3.1 Construction du partenariat de travail

3.1.1 Choix des acteurs

L'INRA, notamment via ses agronomes et ses généticiens, entretient historiquement des relations étroites avec l'ensemble des acteurs de la filière variétale, et notamment les acteurs se trouvant au amont de cette filière (Bonneuil, 2006). Trois groupes d'acteurs de la filière variétale se trouvent de fait impliqués dans des maillages de collaboration sur la thématique de l'évaluation variétale et le développement de la méthode de C. Lecomte : le GEVES, qui est notamment responsable des épreuves d'inscription des nouvelles variétés au catalogue officiel, Arvalis-Institut du Végétal, l'institut technique des céréales en charge de l'évaluation de l'ensemble des variétés nouvellement inscrites l'année qui suit leur inscription, et certains obtenteurs en charge de la création et du développement des nouvelles variétés. Ces obtenteurs sont notamment ceux appartenant au groupement d'intérêt économique « Club des 5 » qui se compose de quatre des plus importants obtenteurs français : Florimond-Desprez, CC Benoist (Syngenta), Serasem (In Vivo) et Verneuil Semences (Limagrain).

Les collaborations entre l'ensemble de ces acteurs prennent différentes configurations : des contrats de l'interprofession de l'obtention végétale ou du CTPS, financés par le FSOV et le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche respectivement, des travaux de réflexion commune lancés dans l'action transversale IMPACT de l'INRA, des interactions développées dans les instances du CTPS auxquelles les chercheurs de l'INRA participent en tant qu'experts scientifiques, ou encore des participations des acteurs de la filière aux travaux de différentes thèses (Barbottin, 2004 ; Zhang, 2005 ; Lecomte, 2005). De nombreuses collaborations préexistaient donc à ce projet de thèse autour de l'évaluation variétale et ont joué un rôle dans les négociations qui ont été menées pour définir les modalités d'un travail conjoint autour d'un outil d'aide à l'évaluation des variétés. Ces différents acteurs avaient également été impliqués dans la réalisation du travail de C. Lecomte (2005) et étaient donc d'ores et déjà intéressés par la méthode qu'il avait développée.

Les données recueillies lors des différents entretiens montrent aussi que ces trois groupes d'acteurs ont des réseaux expérimentaux d'une structure compatible avec celle nécessaire pour mettre en œuvre la méthode de Christophe Lecomte. Nous avons vu, dans la description de la méthode (chapitre A), que cette dernière s'appuie sur l'expression de variations du comportement des milieux et des variétés, liées aux variations du milieu pédo-climatique et des techniques appliquées aux cultures. Nous avons fait l'hypothèse que cela encourageait à travailler avec des réseaux couvrant plutôt des échelles régionales et nationales (tout en étant consciente que cette hypothèse ne garantissait pas d'avoir une gamme suffisante de variation).

Code de l'entretien	Echelle d'activité		Nombre de sites expérimentaux	
S1-1	Nationale /	A1		
S1-1	internationale	A2		
S3-1	Nationale /	A1		
S3-1	internationale	A2		
S2-1	Nationale /	A1		
S2-1	internationale	A2		
S2-2	Nationale /	A1		**Obtenteurs**
S2-2	internationale	A2		
D2-3	Nationale /	RR		
D2-3	internationale	RC		
D3-2	Nationale /	RR		
D3-2	internationale	RC		
I4-1	Nationale	A1		
I4-1		A2		
I4-2	Nationale	A1		
I4-2		A2		
I4-3	Nationale	A1		
I4-3		A2		**GEVES**
R5-1	Nationale	RP		
R5-1		RV		
M6-1	Régionale	R1	2 sites	
M6-2	Régionale	R2		
M7-1	Régionale	R1	2 sites	
M7-1		RR		
M7-1		R2		
M8-1	Régionale	R1	1 site	
M8-1		RR	2-3 sites	
M8-1		R2		
M9-1	Régionale	R1	3 sites	
M9-1		R2		
M9-2	Régionale	R1	3 sites	
M9-2		R2		
T10-1	Locale	R1	1 site	
T10-1		RP	2 sites	
T11-1	Départementale	RP		
T12-1	Nationale	RP		
T12-2	Régionale	RP	2 sites	
T12-2		RR	2 sites	**Arvalis**
V13-1	nationale	RP		

Légende

- >= 15
- 5-15
- <= 5

A1 : premières années
A2 : années ultérieures ou réseau aval
RR : réseau de recherche ou d'acquisition de références
RC : réseau pour faire connaître les variétés
RP : réseau principal
RV : réseau de veille ou de surveillance
R1 : réseau restreint ou réseau amont
R2 : réseau élargi ou réseau aval

Tableau B-5 : taille des réseaux expérimentaux et échelle d'activité (d'après Lecomte, 2005)

Or Lecomte (2005) a montré que les échelles d'activité se réduisaient au fur et à mesure qu'on avance dans les étapes de la vie d'une variété (tableau B-5). Les acteurs travaillant à des échelles au moins régionales sont notamment ceux évoqués plus haut : les obtenteurs, le GEVES et Arvalis-Institut du Végétal. Ces observations nous ont confortée dans l'idée de travailler avec trois groupes d'acteurs potentiels : les acteurs du GEVES, ceux d'Arvalis-Institut du Végétal et ceux du GIE Club des 5. Nous avons représenté dans la figure B-2 (au dos) un schéma de sélection moyen, représentant la trajectoire d'une variété au cours des premières années de sa vie, celles investies par nos trois groupes d'acteurs. Ce schéma peut aider le lecteur à mieux se représenter les étapes de la vie d'une variété et la façon dont les trois groupes d'acteurs avec lesquels nous avons travaillé apparaissent dans cette vie.

L'analyse des entretiens sous l'angle de l'activité des acteurs nous a permis de conforter ce choix. En effet, les entretiens utilisés nous ont fourni des informations sur une large gamme des acteurs de l'évaluation variétale, de la sélection à la transformation. Nous avons donc pu explorer largement la diversité des acteurs potentiellement intéressés par le développement d'un outil d'aide à l'évaluation. Or, parmi ceux-ci, un pôle se dégage autour de la phase d'inscription qui équivaut à une autorisation de mise sur le marché. Ce pôle se compose du GEVES, d'Arvalis-Institut du Végétal et des obtenteurs. L'analyse des entretiens montre qu'ils travaillent en forte interaction. Cette interaction prend forme tout d'abord dans les différentes instances du CTPS qui regroupent des acteurs des trois groupes :

- au sein du comité plénier qui définit les grandes orientations du CTPS et qui comprend notamment des personnalités représentatives des différentes branches du secteur public (Ministère chargé de l'Agriculture, INRA) et du secteur privé intéressées par les variétés, les semences et les plants (comme les obtenteurs et les instituts techniques) ;
- au sein du comité scientifique qui étudie les possibilités d'application des acquis les plus récents de la recherche et les conséquences techniques et scientifiques pour l'évaluation des variétés et de la qualité des semences et qui propose des actions de recherche. Il est composé de représentants des secteurs public (CNRS, INRA, Universités) et privé (industries semencières et instituts techniques de nouveau) ;
- au sein de la section Céréales à Paille, qui propose les règlements techniques d'inscription au catalogue officiel, l'inscription, l'ajournement ou la radiation des variétés et qui comprend là-aussi des représentants du GEVES, des obtenteurs et des instituts techniques dont Arvalis-Institut du Végétal ;
- au sein des commissions d'experts, notamment celle mise en place pour le choix des essais qui seront retenus pour l'inscription. Là encore, on trouve des représentants des trois groupes d'acteurs de l'évaluation en plus des représentants de l'INRA.

Cette interaction existe également autour des essais réalisés pour l'inscription, que le GEVES délègue à différents partenaires. Dans les essais gérés par le GEVES en 2006, parmi les 20 essais blé tendre de deuxième année menés dans la zone nord, 8 étaient menés par Arvalis-Institut du Végétal, 5 par des obtenteurs et 4 par le GEVES lui-même (GEVES, 2006b).

Repères	Générations (nb d'années de sélection)	Type de réseau	conduite	matériel gardé à	acteur principal
	F0		micro-parcelles, une seule conduite	Sélection très conséquente sur le phénotype	**obtenteurs Club des 5 ici**
	F1				
	F2				
	F3	essais comportement			
	F4	essais comportement		1000 lignées	
Début des essais de rendement	**F5**	pépinières essais dans un faible nombre de lieux (1-3)	comportement en pépinières maladies.		
	F6	réseau multilocal réduit (4-7 lieux)	à partir de F6/F7, début des tests comparatifs de conduite (traitée/ non traitée)		
Pré dépôt	**F7**	réseau multilocal en augmentation (7-10 lieux) + réseau pré-dépôt Club des 5		10 à 20 génotypes / Décision de dépôt pour inscription	
CTPS 1	**F8**	réseau GEVES + essais chez des partenaires acceptant de prendre des CTPS 1 + réseau obtenteur	Conduite traitée / non traitée. Essais factoriels possibles	1 à 5 variétés déposées / obtenteur	**GEVES**
CTPS 2	**F9**	réseau GEVES + réseau précom + mise en essai chez les clients très largement + réseau obtenteur			
Post inscription	**F10**	réseau précom + réseau Arvalis + essai clients	id	2 var inscrites en moyenne / obtenteur	**Arvalis**

Figure B–2 : schéma de sélection moyen, 1eres années d'un génotype

Les décisions prises concernant l'inscription ont d'autre part un impact très fort sur les obtenteurs : sachant que la mise en marché de leurs nouvelles variétés est conditionnée par cette étape, les obtenteurs citent régulièrement les critères d'inscription et le comportement de leurs variétés dans les essais GEVES comme des éléments orientant fortement leur activité. Les liens entre GEVES et obtenteurs sont en conséquence très étroits. Le GEVES et Arvalis-Institut du Végétal travaillent également en interaction très étroite pour préparer les essais post-inscription d'Arvalis-Institut du Végétal.

En résumé, ces trois groupes d'acteurs partagent des lieux de concertation et de négociation, partagent des expérimentations, partagent des données et partagent des intérêts autour de l'évaluation des variétés. Leurs objectifs diffèrent : les obtenteurs cherchent à développer une gamme variétale compétitive sur le marché français et international, le GEVES, en lien avec le CTPS, cherche à orienter et favoriser le progrès génétique, Arvalis-Institut du Végétal cherche à donner le conseil le meilleur possible aux agriculteurs en termes de choix variétal. Pour autant, tous partagent une même activité qui est l'évaluation variétale, un même motif à cette activité qui est de construire la variété qui convient au marché, et cette activité leur permet de répondre à l'ensemble de ces objectifs. Nous avons donc estimé qu'il était nécessaire de chercher à travailler avec les trois groupes d'acteurs simultanément car nous les voyons comme un méta-système qui a sa propre cohérence. Etant donné les liens entre ces groupes d'acteurs, ainsi que l'influence que les décisions des uns peuvent avoir sur celles des autres, il nous a semblé décisif de nous engager avec l'ensemble de ce système dans un travail de développement d'outil susceptible de transformer les activités des acteurs. Nous reviendrons en discussion sur l'intérêt et les limites de ce choix de trois groupes d'acteurs.

3.1.2 Mise en place des interactions pour le travail autour de l'outil d'évaluation variétale

Les négociations avec les trois groupes d'acteurs ont visé à construire un nouveau type de partenariat autour de la conception d'un outil d'évaluation des variétés. Ces trois négociations ont pris des formes différentes d'un groupe d'acteurs à l'autre.

La négociation avec les obtenteurs du Club des 5 semblait assez facile à mener dans le sens où ces obtenteurs avaient été impliqués dans la thèse de C. Lecomte et étaient les instigateurs du projet FSOV « Méthodologies de caractérisation des variétés et proposition de conduites culturales adaptées à une agriculture durable » visant au développement d'un outil opérationnel à partir de la méthode proposée par C. Lecomte. Leur intérêt et leur implication semblaient donc acquis. Pour autant, il était nécessaire de négocier les nouvelles conditions du travail : celui engagé dans le projet FSOV était un travail d'ingénierie, nous leur proposions désormais d'adhérer à un travail de recherche, moins orienté sur l'opérationnalité de l'outil en cours de conception que sur les produits d'une démarche de conception un peu différente, alors même que le projet FSOV ne devait se terminer que fin 2006 (c'est-à-dire deux années après le début de la thèse). Cette négociation a été discutée au fur et à mesure des réunions FSOV et à l'occasion d'entretiens téléphoniques individuels, mais aussi de réunions téléphoniques impliquant l'ensemble des entreprises du Club des 5. Elles ont également été l'occasion de réfléchir au nombre d'entreprises à impliquer dans le travail de la thèse : fallait-il maintenir un travail avec les quatre sociétés ou

simplement avec les plus motivées et/ou disponibles ? Un peu dans le même esprit que celui qui nous a fait privilégier un travail avec les trois groupes d'acteurs, nous avons décidé qu'il était délicat de faire ce choix, d'autant que le travail mené en parallèle dans le projet FSOV se faisait avec l'ensemble des partenaires. En revanche, quelques aménagements ont été proposés pour alléger le dispositif : certaines réunions ont eu lieu avec chaque entreprise du Club des 5, d'autres par binôme d'entreprises (les 2 obtenteurs implantés dans le nord de la France d'une part, les 2 implantés en région parisienne d'autre part) et d'autres avec l'ensemble du collectif. Au sein de chaque entreprise se sont détachés des interlocuteurs privilégiés : en général un binôme responsable de la sélection/ responsable du développement.

Le cas d'Arvalis-Institut du Végétal a été assez similaire dans le sens où l'institut avait également été impliqué dans la thèse de C. Lecomte et participait au projet FSOV. La responsable du réseau national d'évaluation des variétés, principale interlocutrice dans ces différentes instances, s'était toujours affirmée intéressée par un travail qui lui semblait utile pour rationaliser les réseaux expérimentaux, dans un contexte où les administrateurs d'Arvalis-Institut du Végétal, souvent multi-casquettes (Arvalis-Institut du Végétal, Semences de France, CETA, Coopératives) réfléchissaient sérieusement aux problématiques de rationalisation de leurs nombreux réseaux d'expérimentation. L'intérêt était donc là, mais il a fallu également renégocier la nature du travail effectué, s'orientant plus vers des questions de recherche alors que l'attente de l'institut était très clairement dirigée vers l'obtention d'un outil opérationnel. Cela a été l'occasion de rencontres avec différents membres de la hiérarchie de l'institut, qui ont largement bénéficié de la position volontaire de la responsable du réseau, très intéressée par la thématique et la possibilité de faire entrer dans l'outil des ajustements répondant à ses propres questionnements.

Côté GEVES, l'interaction était à construire quasi entièrement. Si le GEVES avait été impliqué dans l'action transversale IMPACT et si certains de ces membres avaient été interviewés par C. Lecomte, les liens sur cette thématique de l'évaluation variétale étaient pourtant plus lâches que ceux liant l'INRA au Club des 5 ou à Arvalis-Institut du Végétal. La construction du partenariat a bénéficié de différents éléments. Tout d'abord, un nouveau directeur venait de prendre la tête du GEVES et était désireux de lancer une grande réflexion sur les aspects méthodologiques du travail du GEVES. D'autre part, les ingénieurs en charge des réseaux VAT et FRR céréales avaient été intéressées par les possibilités offertes par la méthode de C. Lecomte et avaient commencé à construire des liens avec les unités Agronomie et SADAPT de l'INRA de Grignon. Enfin, le projet de la thèse est arrivé à un moment où les apports de la modélisation commençaient à pouvoir être discutés, en particulier grâce aux présentations de chercheurs devant le conseil scientifique du CTPS (le 8 mars 2005, puis le 13 octobre 2006), le comité plénier du CTPS (21 novembre 2006) ou devant les acteurs du GEVES (séminaire GEVES à Angers le 27 septembre 2005). Plusieurs réunions ont donc été organisées, au cours de l'année 2005, à différents niveaux de la hiérarchie du GEVES. En parallèle, le GEVES a ouvert une réflexion méthodologique en identifiant différents « fronts méthodologiques » pour lesquels des budgets importants ont été dégagés et qui mobilisent une partie non négligeable des forces du GEVES. Les négociations ont convaincu le GEVES de réserver une partie de ces fonds pour contribuer à l'avancée de la réflexion sur l'espèce blé et sur un travail concernant l'adaptation pour le GEVES de la méthode mise au point par C. Lecomte. Le projet de la thèse a donc finalement fait

	Nb d'années	nb de zones géo	nb de conduites	nb de lieux
réseau sélection	2 à 3 (F5-F7)	1 à 2 (zone nord, zone sud)	1 (2 rarement)	1 à 10
réseau développement	2 à 3 (pré-dépôt et CTPS 1&2)	Couverture la plus large possible	1 à 2	variable: environ 50.
réseau GEVES	2	zones nord et sud	2	environ 15 lieux nord pour la 1ère année (doublés car deux séries à cause du nb de variétés) environ 10 lieux sud pour la 1ère année environ 20 lieux nord pour la 2ème année environ 10 lieux sud pour la deuxième année
réseau Arvalis	1 au moins	couverture la plus large possible	1 (2 dans qq lieux)	50 environ

Tableau B-6 : quelques caractéristiques des réseaux

l'objet d'un très important investissement du GEVES et les interactions avec l'organisme ont concerné principalement les ingénieurs responsables des réseaux « blé » nationaux VAT et FRR, ainsi que l'ensemble des membres du sous-groupe blé du front méthodologique intitulé « Consolidation, optimisation et amélioration de la capacité prédictive du dispositif expérimental VAT ».

Le processus de construction du dispositif de la thèse a donc eu pour conséquence la reconfiguration des relations de travail avec des partenaires historiques, tout d'abord au niveau stratégique. En ce qui concerne la réalisation concrète du travail, ces relations ont aussi évolué. Les démarches de réalisation du travail, négociées avec chaque groupe d'acteurs, ont été assez proches parce qu'elles étaient structurées par un certain nombre de principes de notre côté (autour de la participation et de la simulation) mais aussi parce que les négociations ont été faites dans une même période et se sont donc influencées mutuellement. Pourtant, nous avions des objectifs et motivations d'acteurs différents d'un groupe à l'autre : objectif très opérationnel avec les entreprises de sélection et avec Arvalis-Institut du Végétal, objectif davantage orienté sur une réflexion des activités avec le GEVES, pour qui le travail devait directement alimenter leur réflexion méthodologique.

3.2 Elaboration d'un cadre pour la phase de simulation

L'analyse des entretiens sous l'angle de l'activité a mis en évidence l'importance de l'outil « expérimentation » dans l'activité d'évaluation variétale. L'expérimentation variétale permet de comparer les résultats obtenus par différentes variétés « toutes choses égales par ailleurs ». Elle est répétée dans des milieux diversifiés pour évaluer les comportements variétaux vis-à-vis de la diversité des contraintes environnementales et pour tenir compte de l'existence des interactions génotype-milieu (e.g. Van Eeuwijk, 1995 ; Brancourt, 1997). L'ensemble des essais constitue alors ce que les acteurs de l'évaluation appellent un réseau d'expérimentation variétale. Ce dernier est ainsi constitué d'expérimentations réparties sur l'ensemble du territoire considéré par les acteurs (de la taille d'un département pour certains, l'ensemble de la France pour d'autres) pendant une ou plusieurs années. Ces expérimentations constituent la principale ressource pour évaluer le comportement des variétés et occupent une place centrale parmi les instruments de l'évaluation variétale : les réseaux structurent les autres outils de l'évaluation, comme les protocoles de mesure et d'observation ou bien les protocoles de traitement des données. Ils sont aussi le lieu d'échange d'informations avec les expérimentateurs ou d'autres acteurs de l'évaluation, lors des visites d'essais par exemple.

Le travail sur les entretiens a montré que les réseaux mis en place sont variés et spécifiques à chaque groupe d'utilisateurs. Le tableau B-6 présente quelques caractéristiques des réseaux de nos trois groupes d'acteurs : le GIE Club des 5, le GEVES et Arvalis-Institut du Végétal. En réalité, quatre configurations de réseaux se distinguent. Deux métiers cohabitent en effet dans les entreprises d'obtention en terme d'évaluation : celui des sélectionneurs qui sont en charge de la création des variétés à proprement parler et celui des développeurs qui arrivent plus tard dans le processus de création variétale et qui cherchent à positionner, commercialement et techniquement, les génotypes les plus prometteurs issus de la sélection.

Comme cela apparaît dans ce tableau et malgré le fait que les trois groupes d'acteurs travaillent à des échelles régionale et nationale, les trois groupes couvrent une gamme large de configurations de réseaux, allant de quelques milieux d'expérimentation (le milieu étant la combinaison lieu*année*conduite) à près d'une centaine de milieux. Ces réseaux sont d'autre part relativement stables : ils bougent assez peu d'une année à l'autre car ils s'établissent en fonction de contraintes souvent difficilement contournables. Par exemple, les lieux dans lesquels se déroulent les expérimentations des réseaux de sélection sont en général les lieux propres des obtenteurs, ceux sur lesquels se trouvent leurs locaux. Les réseaux sont donc propres et caractéristiques à chaque acteur.

En conséquence, il nous a semblé extrêmement important de tenir compte de cette caractéristique pour préparer la phase de mise en œuvre du prototype de l'outil. Nous avons décidé de constituer des bases de données susceptibles de reproduire ces configurations de réseaux et propres à chaque acteur. Nous nous sommes donc procuré des données réelles des acteurs, provenant de lieux qu'ils connaissent bien, puisque les réseaux se reproduisent globalement dans les mêmes lieux chaque année, de façon à constituer des bases de données spécifiques à chaque groupe d'acteurs. Nous avons cherché par là à créer les conditions nécessaires pour projeter les acteurs en situation de travail en nous focalisant sur la dimension instrumentale qu'a l'expérimentation variétale dans ce travail et qui nous semble prédominante dans l'activité d'évaluation.

3.3 Questionnement des données d'entrée nécessaires à la méthode

Les entretiens ont été l'occasion de relever un certain nombre de difficultés relatives aux entrées nécessaires à la mise en œuvre de la méthode de C. Lecomte. En particulier, nous avons pu repérer quelques incompatibilités entre les informations nécessaires au fonctionnement de la méthode et les pratiques des acteurs. Les informations nécessaires au fonctionnement de la méthode en question sont des données provenant des réseaux d'expérimentation. Elles sont de trois ordres :

- les données relatives au rendement de la culture : poids récolté, surface, humidité, à relever sur l'ensemble des variétés expérimentées dans les essais,
- les données relatives au lieu d'essai : données météorologiques et caractéristiques du sol,
- les données relatives à la culture : notation des maladies et accidents de culture, mesure de l'état azoté de la culture. Ces données doivent souvent être relevées à des dates précises, ce qui constitue une véritable contrainte pour les expérimentateurs. Elles ne sont nécessaires que pour les génotypes révélateurs.

C. Lecomte, dans son travail (2005), avait déjà fait un tri très important dans les données requises auprès des utilisateurs de la méthode pour rendre leur relevé le moins contraignant possible dans le cadre des pratiques habituelles des acteurs. Néanmoins, la présentation des données d'entrée faite aux acteurs dans le cadre des entretiens FSOV en 2004 a permis de relever de nouveaux besoins de simplification à prendre en compte dans l'optique d'utiliser la méthode en routine. Plusieurs remarques se sont concentrées sur la mesure de l'état azoté de la culture. Nous ne traiterons en détail que de ce cas mais d'autres problèmes ont été évoqués : autour de la mesure des déficits hydriques, de l'intérêt de disposer des composantes du rendement pour améliorer le

diagnostic, et également autour des possibilités de suivi du stade épiaison des variétés et des maladies dans des lieux où les expérimentateurs ne se déplacent que ponctuellement (à la différence des lieux où ils sont présents constamment). De plus, la liste des maladies gérées par la méthode a été remise en question, certaines apparaissant comme trop rare en France. La non prise en compte des problèmes de mauvaises herbes et de certains ravageurs comme les pucerons a parfois aussi été repérée comme problématique. Nous reviendrons sur le choix de traiter la problématique de l'état azoté des cultures, et sur les pistes que nous pouvons proposer pour traiter des autres problèmes dans le chapitre suivant.

Concernant la mesure de l'état azoté de la culture, une discussion a également eu lieu. L'indicateur, dont l'usage est préconisé par C. Lecomte parce que c'est l'indicateur considéré comme le plus précis, le plus fiable et le plus spécifique de la nutrition azotée, est l'indice de nutrition azotée (INN). Cet indice se calcule comme le rapport entre la teneur en azote total de la culture et sa teneur critique en azote total, c'est-à-dire la teneur minimale en azote nécessaire pour maximiser la croissance en matière sèche de la culture. Connaître la teneur en azote total d'une culture (ou d'une variété en l'occurrence puisque cette mesure doit être faite pour chaque génotype révélateur) nécessite de réaliser un prélèvement destructif de quelques plantes entières sur une surface à noter, les faire sécher à l'étuve, les peser, les broyer finement puis les envoyer pour analyse de la teneur en azote. On établit ensuite l'INN avec la formule suivante :

$$INN = \frac{N\%mesurée}{5.35(MS^{-0.442})}$$

N% mesurée= teneur en azote total mesurée. MS=matière sèche ramenée à l'hectare. Un INN inférieur à 1 indique l'existence d'une carence azotée pour la culture considérée.

La validité de cet indicateur pour diagnostiquer une carence azotée est bien établie scientifiquement (e.g. Lemaire et Meynard, 1997). Mais sa mesure s'avère destructive, lourde et coûteuse d'autant que, dans le cas de la méthode de C. Lecomte, elle doit être faite le plus près possible de la floraison de chacun des génotypes révélateurs. Or, dans les essais variétaux, cohabitent des variétés de précocité très différente. Le suivi des INN nécessite alors des passages réguliers dans les expérimentations pendant la période de la floraison, alors que les expérimentateurs ont déjà une grosse phase de travail dans les champs autour du stade épiaison, donc une à deux semaines plus tôt. D'autre part, C. Lecomte a montré qu'une partie des essais variétaux des évaluateurs est déléguée à des prestataires (Lecomte, 2005) : expérimentateurs à façon, coopératives, agriculteurs, etc. Le suivi de ces essais est souvent plus délicat, le commanditaire de l'essai ne pouvant généralement pas l'assurer et les prestataires n'étant pas toujours prêts à réaliser des suivis fins. Les différents acteurs rencontrés dans le cadre FSOV ont donc déclaré de ne pas être en mesure de poursuivre la mesure de cet indicateur qu'ils avaient acceptée de relever dans le cadre du travail de thèse de C. Lecomte. Pour autant, la présentation des différentes fonctionnalités de la méthode et la démonstration de quelques résultats les a convaincus de l'intérêt de connaître le statut azoté de leurs cultures. Mieux anticiper et communiquer sur le comportement des variétés en réponse à des stress azotés sont en effet des éléments qui intéressent fortement les évaluateurs dans un contexte de raisonnement de plus en plus précis des intrants.

Nous avons donc entrepris un travail visant à proposer un nouvel indicateur du statut azoté des cultures. Repartant des contraintes exprimées par les acteurs, nous avons étudié la capacité

d'indicateurs indirects mesurés par un chlorophylle-mètre (de type SPAD, Soil Plant Analysis Development, Minolta Camera Co., Osaka, Japon) à remplacer l'INN. Ces appareils mesurent un indicateur de la teneur en chlorophylle, elle-même liée à la teneur en azote des plantes. Ils évaluent la transmission de la lumière émise au travers de la feuille et relient cette transmittance à la teneur en chlorophylle de la feuille (Schepers et al. 1992 ; Dwyer et al., 1995). Le chlorophylle-mètre est utilisé pour évaluer la teneur en azote des feuilles puisque la majeure partie de l'azote est contenue dans la chlorophylle. Nous avons cherché à savoir si cette méthode d'estimation *a priori* rapide, portable et simple d'utilisation pouvait remplacer l'indicateur INN et mieux correspondre aux pratiques des acteurs en terme de moments pendant lesquels effectuer la mesure. Nous avons pour cela réutilisé des résultats d'expérimentations réalisées antérieurement où INN et SPAD avaient été mesurés sur les mêmes parcelles, et mis en place une expérimentation complémentaire spécifique pour étudier l'évolution de la mesure SPAD dans le temps sur une plage allant de quelques jours avant l'épiaison à quelques jours après la floraison d'une gamme de variétés de précocités variées. Les résultats de ce travail sont présentés dans le chapitre suivant.

3.4 Mise au point d'un prototype

La phase 1 a enfin abouti à la production d'un prototype informatique de la méthode développée par C. Lecomte. Nous nous sommes appuyée sur les entretiens, notamment ceux effectués en 2004 dans le cadre du contrat FSOV, pour bâtir un prototype qui soit susceptible d'être utilisé par les acteurs de l'évaluation.

Le travail de description de l'activité d'évaluation variétale dans un cadre articulant cristallisation, plasticité et développement, détaillé dans le chapitre D, nous a permis d'établir de grandes spécifications pour le prototype. Nous faisons donc ici le résumé de ces grandes spécifications et nous explicitons ensuite comment elles ont été traduites d'un point de vue technique et informatique.

- L'analyse des invariants de l'activité d'évaluation a fait ressortir les contraintes de délai et de coût auxquelles sera soumis l'outil. Les acteurs disposent de peu de temps pour analyser les données sur le comportement des variétés et évaluer leurs performances, l'outil devra donc être automatisé et rapide. D'autre part, les coûts liés à l'expérimentation variétale sont très élevés. Il est donc nécessaire que l'outil puisse fonctionner à partir de données expérimentales dont le relevé se fait déjà en routine. Il faut limiter autant que possible d'accroître la quantité d'informations à recueillir (que ce soit via l'ajout de lieux ou l'ajout d'observations dans les lieux existants).
- Le constat de la diversité des actions qui concrétisent aujourd'hui l'activité d'évaluation nous a fait prendre conscience de la nécessité d'assurer une flexibilité dans l'usage des analyses produites par l'outil. Il s'agit en particulier de proposer des sorties adaptées à la diversité des objectifs des acteurs de l'évaluation. Au travers des différentes conceptualisations de ce qu'est l'objet de l'évaluation, les acteurs utilisent différents critères pour évaluer les variétés et il nous semble important de proposer des sorties diverses pour répondre à cette diversité d'objectifs et de critères.

- Enfin, dans une optique de développement, nous proposons que l'outil aide à montrer comment mieux valoriser les données produites à l'échelle globale du réseau, tout en faisant état des transformations qui seraient alors nécessaires au niveau des protocoles de recueil de données.

Concrètement, la mise au point de ce prototype posait trois problèmes techniques : celui de la mise au point des liens entre données d'entrée, prototype et données de sortie, celui de la mise au point de l'interface du prototype et celui de la programmation du prototype lui-même.

→ Liens données d'entrées – prototype – sorties

Ce premier paragraphe renvoie aux spécifications mises en évidence dans le cadre de la dimension « plasticité » de l'outil. Les entretiens, ainsi que des contacts auprès des responsables informatiques de chaque groupe d'acteurs, ont mis en évidence l'existence d'outils de gestion de bases de données spécifiques à chaque acteur : le système SILENA pour Arvalis-Institut du Végétal, le système THALIE pour le GEVES, etc. Chaque acteur dispose donc de ses bases de données, structurées dans un outil qui lui est propre. En revanche, il est apparu que les expérimentateurs travaillaient majoritairement avec Excel pour la saisie des résultats d'essais. N'étant pas en mesure de proposer un logiciel qui sache gérer des bases de données programmées sous des formats différents, nous avons donc fait le choix de passer par Excel pour la saisie des données d'entrée. Il nous a fallu alors trouver le moyen de limiter le côté fastidieux d'une double saisie pour les expérimentateurs. Nous avons donc mis au point un duo de fichiers d'entrée : un fichier récolte, contenant l'ensemble des résultats d'un essai (caractéristiques de l'essai, données de rendement et notations) et un fichier météo par lieu et année. Ces deux fichiers ont été organisés de façon à ressembler le plus possible aux fichiers déjà utilisés par les expérimentateurs, en termes d'organisation des données, pour faciliter les copier/coller d'un fichier à un autre. Dans le même esprit, le fichier récolte a été automatisé pour créer, à partir de quelques renseignements de l'utilisateur sur les caractéristiques de l'essai, des tables qui soient ensuite compatibles dans le logiciel de traitement des données. Ces fichiers d'entrée ont été présentés en mars 2005 à plusieurs groupes d'expérimentateurs, du GIE Club des 5 dans un premier temps, puis du GEVES, pour valider leur utilisation. Ces réunions ont abouti à de nouveaux ajustements dans l'organisation du fichier récolte par exemple.

En ce qui concerne les sorties, les différents acteurs interviewés en 2004 puis 2005 ont mis en avant la nécessité de conjuguer sorties graphiques exportables et sorties chiffrées, accessibles dans un format Excel pour leur laisser des possibilités d'explorer les données, par exemple de faire de nouveaux graphiques plus personnalisés. Le choix des sorties graphiques a été basé sur le travail de C. Lecomte. En effet, les sorties qu'il avait mises au point avaient largement été présentées aux différents acteurs de l'évaluation variétale, et leur étaient désormais familières. Pour les sorties chiffrées, nous avons choisi de peu trier et de rendre accessibles et visibles un grand nombre de données pour se donner ensuite les moyens de voir comment les acteurs s'en saisissaient. Cela était en cohérence avec l'analyse que nous avions faite de la diversité des actions d'évaluation des différents acteurs (voir chapitre D).

Figure B–3 : structure de l'interface de DIAGVAR

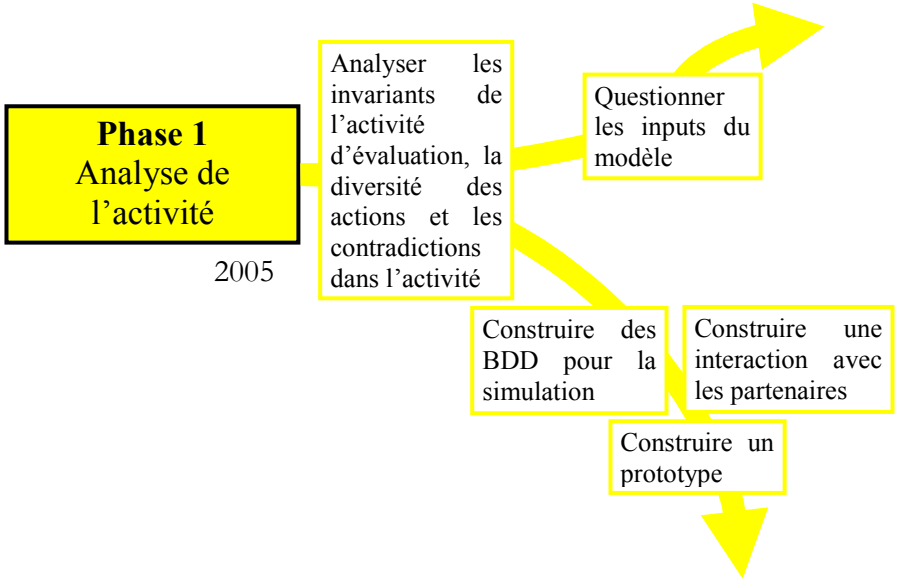
→ Programmation du prototype

Deux éléments sont ressortis de l'analyse de l'activité, notamment de ses invariants : la nécessité de mettre au point un prototype donnant des résultats rapides à des évaluateurs souvent contraints de construire leur avis final sur une variété en quelques jours, entre la réception des résultats à la récolte et les décisions de semis suivants, et la nécessité d'automatiser fortement le prototype pour qu'il fonctionne indépendamment d'autres logiciels ou outils. Le terme « d'outil presse-bouton » est revenu de façon récurrente dans les entretiens. Par ailleurs, les acteurs ne souhaitaient pas que le fonctionnement du prototype soit lié au logiciel SAS (SAS Institute Inc, 1999), initialement utilisé par C. Lecomte, certains acteurs n'étant pas familiers de ce logiciel. Il nous a donc fallu reprogrammer la méthode dans un langage qui puisse produire un exécutable, qui soit capable de gérer des calculs statistiques lourds et qui soit doté d'une puissance de calcul suffisamment importante pour traiter éventuellement des données provenant de plusieurs dizaines d'essais. Le calcul des indicateurs de facteurs limitants notamment, basé sur des incrémentations journalières de différentes variables, s'avérait assez coûteux en temps de calcul. Nous avons fait le choix de programmer le prototype logiciel en langage C++ en assurant les liens entre les fichiers d'entrée Excel et le C++ par des outils ODBC. Ainsi, les tableaux construits sous Excel sont lus comme des bases de données dans le programme C++ et le système fonctionne ensuite par requêtes SQL pour discriminer les données.

Nous avons rédigé un cahier des charges du prototype logiciel en interaction avec C. Lecomte afin de respecter au mieux les principes de sa méthode. Remarquons qu'à l'occasion de ces interactions, une première série de modifications ont été faites dans la méthode. C. Lecomte a par exemple suggéré quelques modifications dans la liste des indicateurs de facteurs limitants potentiellement limitants en en rajoutant certains et en en éliminant d'autres. Nous sommes ainsi passée d'une liste de 63 facteurs limitants à 82 facteurs durant cette phase de programmation. Nous avons ensuite délégué la programmation du prototype à une société de services en ingénierie informatique avec laquelle nous avons très fortement interagi pendant plus d'un an. Du fait de la complexité de la programmation statistique, nous avons dû faire des choix parmi les fonctionnalités de l'outil. Nous avons choisi de ne pas intégrer la partie « regroupement des réseaux » qui nécessitait de programmer des procédures de classification et d'ACP et nous avons dû simplifier la partie « caractérisation des variétés », basée sur une régression factorielle pour laquelle C. Lecomte utilisait le logiciel INTERA (Decoux et Denis, 1991) que les acteurs n'avaient pas souhaité conserver.

→ Programmation de l'interface

La présentation des fonctionnalités de l'outil aux acteurs en 2004 et 2005 a montré que les acteurs s'intéressaient différemment aux différentes étapes de la méthode. Ils en distinguaient trois : une partie de préparation des données, correspondant aux indicateurs de facteurs limitants, une partie de caractérisation des milieux, correspondant au diagnostic des facteurs limitants dans les milieux du réseau étudié, et une partie de caractérisation des variétés, correspondant à la décomposition de l'interaction génotype-environnement et à l'estimation de notes de résistance des variétés.


Phase 1
Analyse de l'activité
2005
Analyser les invariants de l'activité d'évaluation, la diversité des actions et les contradictions dans l'activité
Questionner les inputs du modèle
Construire des BDD pour la simulation
Construire une interaction avec les partenaires
Construire un prototype

Les sélectionneurs et les acteurs du GEVES se sont dits plus intéressés par la partie « caractérisation des milieux », alors que les développeurs et les acteurs d'Arvalis-Institut du Végétal se sont davantage focalisés sur la partie « caractérisation des variétés ». Nous avons donc décidé de structurer le logiciel autour de ces trois étapes pour répondre au besoin de flexibilité de l'outil identifié dans l'analyse de l'activité d'évaluation variétale.

L'interface a par ailleurs été conçue de façon à laisser constamment à l'écran le réseau d'essais constitué pour une simulation donnée (la combinaison des milieux sur laquelle l'outil travaille), à présenter l'ensemble des sorties disponibles de façon organisée et à créer une fenêtre de visualisation directe des différentes sorties du prototype, à la fois chiffrées et graphiques. Nous avons essayé, par ces spécifications techniques, de fournir les outils pour pouvoir discuter avec les acteurs de la notion de réseau en mettant systématiquement en parallèle la combinaison des milieux choisie et les résultats que l'outil produit. De même le fait de pouvoir visualiser les données d'entrées (et pas uniquement celles de sorties) nous a paru important pour pouvoir discuter de l'impact des données fournies par l'expérimentation sur les résultats. Ce sont deux éléments (raisonnement en réseaux et recueil de données) que nous avions identifiés comme importants dans une optique développementale. Pour autant, il aurait été intéressant d'aller plus loin encore dans les spécifications notamment dans la gestion des données d'entrée depuis le logiciel. Il aurait été très utile de rendre les données d'entrée modifiables dans le logiciel et pas seulement visibles. Nous aurions ainsi mieux respecté les spécifications que nous avions identifiées autour de l'introduction d'expertise sur les entrées de l'outil ou pour mieux comprendre l'impact de transformations dans le protocole de recueil de données. Nous avons ici été limitée par le temps, la difficulté à interagir avec la société en charge de la programmation et nos propres compétences techniques en termes de programmation.

Sur la figure B-3 (voir plus haut) est représentée une vue de la fenêtre principale du logiciel DIAGVAR, avec quelques-uns des choix effectués.

A l'issue de la phase 1, nous disposions donc d'un prototype opérationnel DIAGVAR de la méthode d'aide à l'évaluation variétale proposée par C. Lecomte (2005). Il était néanmoins clair que DIAGVAR n'était qu'un prototype : les délais et la complexité de sa programmation informatique nous ont limitée. Ainsi, nous n'avons pas pu assurer la programmation de tous les éléments que nous avions repérés comme importants dans cette première phase (par exemple, nous n'avons pas pu proposer un prototype capable de communiquer avec les outils de gestion propres à chaque partenaire). Dès lors, il était sûr que le prototype serait amené à évoluer pour être réellement opérationnel pour les différents partenaires. Mais nous cherchions de toute façon à disposer d'un prototype à remettre en mouvement dans les phases suivantes de la démarche. De notre point de vue, les imperfections n'étaient donc pas complètement dommageables, à condition qu'elles ne gênent pas les partenaires outre mesure dans leur découverte de l'outil. Nous avons informé rapidement les acteurs qui ont affirmé préférer pouvoir tester un prototype imparfait que ne pas avoir de support concret. C'est un élément qui est ressorti très fréquemment au cours des entretiens : les acteurs étaient définitivement intéressés par la méthode mais disaient attendre désormais « faire eux-mêmes », de « le toucher ». Ils ont donc accepté très vite l'idée que le prototype était perfectible et qu'il donnait simplement accès à la méthode.

II. Phase 2 : première utilisation du prototype

1. Principe : créer une interaction autour de l'utilisation du prototype

Le principe de cette deuxième phase était de permettre aux trois groupes d'acteurs de travailler directement avec le prototype de l'outil DIAGVAR pour qu'ils s'approprient et questionnent le modèle qui le sous-tend et pour créer, autour de l'utilisation du prototype, un échange entre concepteurs et utilisateurs, et entre utilisateurs eux-mêmes, sur l'activité d'évaluation variétale. Nous nous situons en cela dans le champ des techniques de simulation développées par les ergonomes (Daniellou, 2007). En théorie, dans les simulations ergonomiques opératives, c'est-à-dire celles visant à mettre l'acteur en situation de travail (Pastré, 2005a), des scénarii doivent être élaborés, respectant la systémique d'une situation de travail : ils doivent comporter des éléments sur l'activité de travail, la tâche à réaliser, les caractéristiques de la production, de l'organisation, des éléments de déroulement temporel, etc (Maline, 1994). L'objectif de ces simulations en conception est d'appréhender et surtout d'anticiper l'activité dans laquelle les acteurs vont se trouver. Les contraintes qu'ils risquent de subir, les marges de manœuvre dont ils vont bénéficier dans la mise en œuvre des tâches qui leur sont assignées doivent être mises en évidence pour donner à l'ergonome des éléments lui permettant de discuter l'objet en cours de conception, de sa fonctionnalité (Maline, 1994 ; Pastré, 2005b). Notre objectif est un peu différent. Nous cherchons de fait dans cette phase de simulation à **discuter le support de la simulation en lui-même, à savoir le prototype : dans sa dimension concrète (son interface, son mode d'emploi) et dans sa dimension conceptuelle (son modèle)**. Plus qu'anticiper les situations de travail qui pourraient se créer autour de l'outil DIAGVAR, nous cherchons à mieux **comprendre** à travers sa mise en scène dans les simulations **comment cette activité se réalise** et à **permettre aux évaluateurs de prendre conscience de cette activité, et éventuellement de la façon dont elle pourrait évoluer.** En conséquence, nous avons choisi de bâtir les simulations sur l'exploration du comportement de DIAGVAR par les acteurs. Il s'agissait de leur permettre de voir comment se comportait l'outil face à une grande diversité de bases de données et de mettre en résonance les actions des acteurs pendant les simulations avec celles qui constituent leur activité d'évaluation variétale. Nous cherchons donc dans cette phase de simulation à utiliser le plus possible le potentiel du prototype de l'outil DIAGVAR comme vecteur et objet de l'interaction entre concepteurs et utilisateurs.

Pour favoriser la mise en situation des acteurs de l'évaluation et pour nous permettre d'aborder des éléments de l'activité qui nous avaient interrogée, comme les éléments liés à la problématique de la diversité des réseaux d'expérimentation par exemple, nous avons constitué des bases de données reprenant des essais connus des acteurs et susceptibles d'être combinées pour représenter les caractéristiques des réseaux d'évaluation des acteurs. Nous souhaitions ainsi permettre aux acteurs de découvrir le prototype de l'outil et le questionner en se fondant sur des données sur lesquelles ils disposent d'une forte expertise.

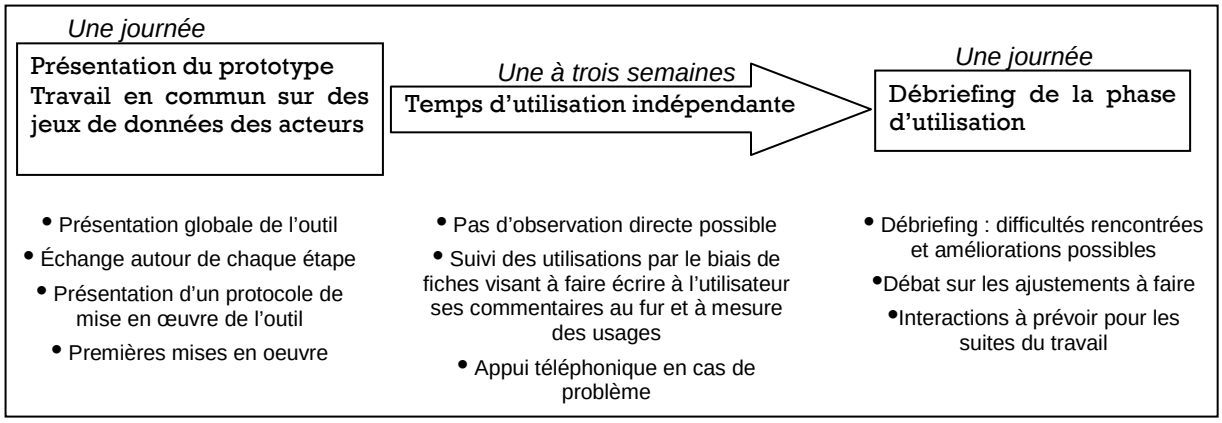


Figure B–4 : organisation de la phase d'utilisation

2. Mise en oeuvre : simulations avec le prototype

La phase d'utilisation du prototype s'est construite en trois temps négociés avec les acteurs (Figure B-4). Elle s'est étalée entre février et juin 2006 (une dernière réunion de débriefing a également été organisée en décembre 2006).

2.1 Premier temps : la découverte du prototype

Dans un premier temps, nous avons organisé des réunions de découverte du prototype avec les différents acteurs. Ces réunions se sont déroulées en collectif, par groupes d'acteurs. Nous avions en effet invité en préalable chaque groupe (GIE Club des 5, GEVES, Arvalis-Institut du Végétal) à exprimer sa préférence, entre un travail entièrement collectif (les trois groupes d'acteurs ensemble), en partie collectif (par groupe d'acteurs) ou par entreprise (chaque obtenteur du GIE-C5 séparément). Les acteurs ont dit préférer travailler indépendamment (pas de regroupement des trois types d'acteurs) dans un premier temps, les obtenteurs du Club des 5 préférant de leur côté rester associés.

Nous avons orienté le choix des acteurs présents à cette première série de réunions en proposant la présence de certaines personnes en particulier. Pour les entreprises du Club des 5, nous avons suggéré la présence d'un professionnel de la sélection, d'un professionnel du développement, d'un expérimentateur et d'un responsable informatique. Côté GEVES, nous avons suggéré la présence des responsables du réseau VAT blé et FRR blé, ainsi que des membres du front méthodologique travaillant sur l'espèce blé. Pour Arvalis-Institut du Végétal, nous avons suggéré la participation de la responsable du réseau national d'évaluation des variétés de céréales ainsi que de son adjoint. Ces suggestions ont été en général suivies par les acteurs qui les ont également complétées (nous leur avions en effet laissé le choix d'inviter d'autres personnes intéressées par la thématique). Les effectifs des réunions ont donc varié côté utilisateurs : 4 personnes (Arvalis-Institut du Végétal), 6 personnes (GEVES), 8 personnes (GIE Club des 5). Côté chercheurs, l'effectif a toujours été d'au moins deux personnes : L.Prost et M. Cerf et/ou MH. Jeuffroy.

Ces réunions de découverte ont été structurées en deux temps. Nous avons tout d'abord fait une démonstration du prototype DIAGVAR à partir des bases de données provenant d'essais INRA et des essais des acteurs. Il s'agissait de faire un rappel aux acteurs des différentes fonctionnalités de la méthode et d'échanger avec eux autour de chaque étape de fonctionnement de l'outil pour mieux identifier les exigences de chacune de ces étapes. Nous leur avons montré comment nous naviguions parmi les différentes sorties fournies par le prototype. Ce premier moment a duré de deux heures à une demi-journée selon les acteurs. Dans un deuxième moment, nous avons installé le logiciel et les bases de données des acteurs sur les ordinateurs amenés par ceux-ci pour leur faire utiliser le prototype une première fois. Nous les avons encouragés à tester différentes combinaisons de milieux à partir des bases de données et à explorer l'ensemble des fonctionnalités du prototype en notre présence. Il était prévu de récolter les données suivantes pour suivre les différentes simulations faites par les acteurs :

- les combinaisons de milieux testées, que les utilisateurs devaient mentionner sur une fiche distribuée à chaque participant (voir en annexe).

- Un enregistrement audio des échanges entre les utilisateurs et les concepteurs en cas de problème à résoudre, et un point réalisé par chaque personne dès qu'elle avait terminé une simulation sur un jeu de données.
- Un enregistrement audio des échanges collectifs.
- Une fiche par poste (voir en annexe) pour identifier les éléments positifs et les problèmes que chacun(e) devait remplir au fil de l'utilisation de l'outil, les sorties précises qui étaient regardées (par ex : tel graphique dans tel milieu), l'analyse qui en était faite.

2.2 Deuxième temps : l'utilisation indépendante

Les réunions collectives de découverte ont été suivies d'un temps d'utilisation indépendante. Chaque acteur est reparti avec DIAGVAR installé sur son poste de travail, ainsi qu'avec un CD permettant de réinstaller le logiciel sur un autre poste et l'ensemble des bases de données propres à chaque acteur. Les seules consignes étaient d'utiliser le logiciel le plus possible sur une période variable suivant les acteurs (de 10 jours à 3 semaines environ). Nous souhaitions qu'ils le testent en y introduisant différentes combinaisons de milieux, en comparant les résultats avec leurs connaissances des essais utilisés et des variétés qui y avaient été cultivées, et en relevant tous les éléments qui les faisaient réagir : sur l'interface, sur sa praticité et sur les résultats fournis. Pour suivre ce temps d'utilisation, nous avions fourni aux acteurs des fiches (voir en annexe), distribuée lors des réunions collectives visant à :

- relever les combinaisons de milieux testées,
- identifier les éléments positifs et les problèmes que chacun(e) devait relever au fil de l'utilisation qu'il (elle) avait fait de l'outil,
- identifier les sorties précises qui étaient regardées (par ex : tel graphique dans tel milieu), l'analyse qui en était faite,
- tirer un bilan suite à la réalisation du diagnostic pour une combinaison donnée (incompréhension sur les résultats produits, intérêt d'avoir construit cette combinaison, tests éventuels complémentaires pour cette combinaison, suggestions…).

Nous nous étions également rendue disponible dans ce temps d'utilisation pour répondre aux questions et difficultés d'utilisation des acteurs. Pour anticiper des difficultés d'utilisation, nous leur avions fourni un fichier d'aide sur le logiciel (voir en annexe). En vue de la préparation de la réunion de débriefing, nous avions demandé aux acteurs de nous faire parvenir, juste avant la réunion, ces fiches de suivi, ainsi que de faire le point des problèmes majeurs qu'ils souhaitaient aborder en préparant éventuellement les jeux de données et les sorties qui correspondaient à ces problèmes.

2.3 Troisième temps : le débriefing de l'utilisation

Dans le troisième temps, nous avons organisé des réunions pour débriefer la période d'utilisation de DIAGVAR. Nous avons à nouveau rencontré les acteurs par groupe de travail. Nous avons subdivisé les obtenteurs en deux sous-groupes : le groupe des obtenteurs localisés dans le nord et le groupe des obtenteurs localisés en région parisienne. L'objectif était de parvenir à entrer suffisamment dans les détails de l'utilisation avec chacun, donc en limitant les effectifs, tout en conservant le caractère inter-entreprises de ces réunions. Pour le GEVES, la première réunion de débriefing n'a pas suffi à faire le tour des remarques des utilisateurs, d'autant que

Acteur GEVES 3: Un [indicateur de facteur limitant d'une valeur de]10 pèse de façon forte dans la régression.
Chercheur 1 : pas si tous les milieux sont à 10. Si toutes les mesures sont globalement assez hautes, ça ne se verra pas.
Acteur GEVES 3 : mais si on a des différences très importantes, ça va forcément peser dans la régression.
Chercheur 1: si c'est corrélé aux rendements
Acteur GEVES 3 : ce sont des questions qu'on se pose : quand on a des 10 comme ça, est-ce que c'est normal, est-ce qu'il faut qu'on vérifie les données… ? Pour l'instant quand on voit les sorties, on est obligés de le prendre un peu comme argent comptant parce qu'on a du mal à savoir ce qu'il y a derrière.

Cadre B-4: Extrait d'une discussion au GEVES durant les débriefings

Sélectionneur 5 : c'est surprenant d'avoir stmphv qui sorte sur tous les milieux. C'est surprenant parce que c'est lié à des dégâts de gel ?
Chercheur 1 : non c'est différent du gel. C'est un problème de froid pas forcément très intense mais de températures basses sur tout l'hiver
Sélectionneur 5 : ce qui est bizarre, c'est qu'il sort sur Charger, alors qu'il n'est pas connu pour ça. On ne sait pas exactement pourquoi il sort sur celui là et pas sur les autres.
Chercheur 1 : il faut se rappeler que « hv » correspond à la période « levée jusqu'à épi 1cm ».
Sélectionneur 5 : c'est une période longue en plus, pas très ponctuelle.
Chercheur 1 : est-ce qu'il y avait beaucoup de facteurs limitants qui sortaient sur Charger ?
Sélectionneur 5 : il y a eu d'autres facteurs limitants qui sont sortis sur Charger et qui sont plus compréhensibles : stmpem, st25ef, …
Chercheur 1 : je regarde dans la table dataR2part. Il a sorti 3 facteurs sur Charger : stmphv, stmpem alors que Soissons a eu froid plus tard (plus précoce) et CapHorn n'a pas eu froid.
Sélectionneur 5 : qu'est-ce qu'il faut mettre derrière ces étiquettes là ?
Chercheur 2 : est-ce que tu as vérifié que, dans ce réseau là, tu étais dans la même gamme que celle de Christophe [Lecomte] ? Puisqu'on impose des mini et maxi pour remettre les indicateurs de facteurs limitants sur une même échelle de 0 à 10. Mais bon, là on a quand même des faibles sommes de température hivernale.
Sélectionneur 3 : l'intérêt c'est aussi que l'outil sorte des choses auxquelles on ne s'attend pas.
Chercheur 1 : oui mais il faut toujours avoir à l'idée que l'outil sort des résultats très relatifs à la gamme de milieux qui lui sont soumis. C'est pour ça qu'on le confronte à votre expertise.
Sélectionneur 5 : par rapport aux régressions des témoins : comment interpréter les points qui s'écartent de la droite [graphique mettant en relation les pertes de rendement observées dans les essais et les pertes de rendement diagnostiquées par l'outil] ? Ils sont mal expliqués ? Ou est-ce qu'on peut faire un lien avec la précocité ? Par exemple, pour les variétés de même précocité que Soissons, on a bien décrit les facteurs limitants mais pas pour des variétés de précocité Charger par ex ?
Chercheur 1 : oui si on est sûr de ses données d'entrée. Ces graphiques peuvent être aussi utilisés pour détecter des problèmes dans les données d'entrée.
Sélectionneur 5 : donc première chose, vérifier les données.

Cadre B-5 : Extrait d'une discussion avec le groupe Nord du GIE Club des 5 durant le débriefing

Sélectionneur 5 : à l'étape 2, il y a sélection de facteurs limitants et dans l'étape 3, on ne garde que quelques-uns de ces facteurs limitants pour l'estimation des notes. Comment se fait cette sélection ?
Chercheur 1 : vous avez l'info sur la table DataRegFact. On a trois types de critères pour le test de chaque facteur limitant dans la régression factorielle : le R^2 du terme d'interaction, le signe du paramètre de l'effet principal du facteur limitant, et un test de Fisher sur le terme d'interaction
Développeur 1 : dans les sorties graphiques, à l'étape 2, il sort les facteurs limitants expliqués par chaque témoin. Et dans un jeu que j'ai testé, dans la régression factorielle, quand il fait sortir une variable, il ré-indique le témoin sur lequel ce facteur limitant s'est exprimé. Et une fois, je n'ai pas trouvé le même témoin pour un facteur limitant dans l'étape 2 et l'étape 3 : par ex, la chaleur était sortie sur Charger et dans la régression factorielle, il a dit utiliser la chaleur sur Soissons.
Chercheur 1 : Christophe [Lecomte] a testé plusieurs possibilités pour l'introduction des covariables. Du moment que la verse était sortie sur un témoin, il a voulu tester ce que ça donnait de prendre les indicateurs de tous les témoins. Et il a constaté que régulièrement, ce n'était pas le témoin qui avait fait ressortir le facteur limitant dans l'étape 2 qui servait à faire sortir le facteur limitant dans l'étape 3. Donc il a choisi d'essayer d'introduire dans la régression factorielle les indicateurs de facteurs limitants provenant de chaque témoin et pas uniquement de celui ayant fait ressortir le facteur limitant.
Développeur 1 : même si le facteur limitant n'est démontré que par un témoin ?
Chercheur 2 : dans l'étape 2, l'objectif est de savoir quels sont les facteurs limitants dans l'essai donc qu'ils aient été montrés sur un témoin ou un autre, c'est une astuce de calcul pour faire ressortir l'ensemble des facteurs limitants. Ensuite, il n'y a plus trop de logique de faire référence à un témoin en particulier. Ce qu'on veut, c'est que la régression factorielle tienne bien compte du facteur limitant qu'on a mis en évidence avant. Donc on lui laisse plus de possibilités de tenir compte de ce facteur limitant en tenant compte de tous les témoins.
Chercheur 1 : parce qu'on perd beaucoup de facteurs limitants entre l'étape 2 et 3. Ca pose quand même question sur des facteurs limitants liés à la précocité.

Cadre B-6: exemple de discussion où le collectif rentre dans les détails du modèle

la partie « caractérisation des variétés » du logiciel ne fonctionnait pas dans un premier temps avec les fichiers GEVES. Nous avons donc poursuivi le débriefing trois semaines plus tard, après identification et résolution du problème dans le prototype. Pour Arvalis-Institut du Végétal, l'interaction s'est faite de façon plus étalée dans le temps. La première réunion collective avait été faite à peu près à la même époque que celles du GIE ou du GEVES mais la réunion de débriefing n'avait pas pu être organisée dans la foulée. Nous avons donc repris contact en novembre 2006, la responsable des réseaux d'évaluation a fait fonctionner le logiciel de façon plus intensive et la réunion de débriefing a été organisée en décembre 2006.

Les participants à ces réunions étaient globalement ceux qui avaient participé aux réunions de découverte du prototype. Mais il est arrivé que des personnes supplémentaires assistent à ces débriefings, pour se tenir au courant du projet, voir l'avancement du prototype, participer aux débats sur les points faibles et forts du prototype, pour confronter également les résultats à leur propre expertise. Nous avons donc vu 9 personnes du GIE Club des 5, 3 puis 2 personnes pour les réunions avec le GEVES, 1 personne pour Arvalis-Institut du Végétal. Côté chercheurs, l'effectif a varié de une (L.Prost) à trois personnes (avec M. Cerf et MH Jeuffroy), voire quatre avec l'appui occasionnel de C. Lecomte.

Pour préparer cette réunion, nous avions demandé aux participants de nous faire parvenir par fax les fiches d'utilisation remplies avant la réunion pour préparer les discussions ou bien de nous récapituler par mail l'ensemble des simulations tentées. Nous souhaitions ainsi refaire un certain nombre de simulations pour en projeter les sorties au cours des débriefings et pouvoir discuter sur les sorties graphiques.

Les débriefings ont été organisés en trois moments :

- un débriefing collectif de l'utilisation de DIAGVAR organisé sous la forme de discussions sur les résultats de DIAGVAR en lien avec les données introduites, et la confrontation de ces résultats à l'expertise des acteurs. Pour cela, nous disposions d'un vidéo-projecteur : nous avons projeté les sorties jugées problématiques par l'un ou l'autre des participants lors de l'utilisation faite individuellement. Nous avons refait « en direct » un certain nombre de simulations à la demande des acteurs pour pouvoir discuter du comportement de DIAGVAR.
- Un échange autour de l'utilisation du prototype : il a été organisé autour de questions assez générales portant sur les possibilités d'utilisation de l'outil : « si vous deviez utiliser l'outil en routine, quelles pourraient être les conséquences ? vous pensez utiliser l'outil à quel moment ? vous cherchez une meilleure caractérisation des lieux pour quoi : mieux décrire les variétés, optimiser les réseaux ? »
- Une réflexion sur les suites du travail : le mode de recueil des avis des différentes personnes, les améliorations prioritaires et les nouveaux tests de l'outil à réaliser.

L'ensemble des réunions des premier (réunions de découverte) et troisième temps (réunions de débriefing) ont été audio-enregistrées et transcrites.

Développeur 1 : Pareil, on avait regardé si la verse ressortait sur Prémesques en 2004 et ce n'est jamais ressorti.
Sélectionneur 3 : il se peut aussi que la verse n'affecte pas le rendement.
Développeur 1 : on a essayé de jouer avec l'outil, de retourner dans les données d'entrée et de changer les notes sans changer les rendements. On a mis à Charger des notes très basses de verse alors que Soissons en avait des très importantes mais on n'a pas réussi à faire ressortir la verse.

Cadre B-7: exemple où les acteurs rapportent avoir joué avec DIAGVAR pour comprendre son fonctionnement

Développeur 1 : ce qui est gênant, c'est que des observations ont été faites juste avant l'épiaison et d'autres juste après, et c'est traité différemment par l'outil. Il faudrait arrêter la montaison un peu avant l'épiaison.
Chercheur 1 : est-ce qu'on pourrait avoir une règle fixe là-dessus ?
Sélectionneur 3 : le problème, c'est qu'on note tout en même temps.
Sélectionneur 6 : il faudrait tout ramener aux stades mais quand on travaille avec des différences de 15 jours dans les précocités, on ne peut pas. On ne peut pas passer tous les jours.
Chercheur 1 : vous notez plutôt sur la période remplissage ?
Sélectionneur 6 : on note quand les maladies apparaissent, quand on voit les symptômes.
Sélectionneur 3 : ce qu'il aurait fallu faire, c'est transformer des notes avant épiaison en notes après épiaison.
Développeur 2 : parce qu'il n'y a pas d'écart réel entre des notes juste avant et juste après épiaison.
Sélectionneur 6 : il y a aussi le problème de confusion entre les maladies.
Sélectionneur 3 : plutôt que de calculer les notes que les variétés auraient eu avant, décaler celles qui sont trop précoces (pour les faire passer après leur épiaison, pour que tout le monde soit dans la même période) ? enfin tout dépend combien il y a de notations comme ça.
Sélectionneur 7 : généralement les notes maladies sont plutôt après l'épiaison.
Chercheur 2 : en fait il va jusqu'à floraison pour la période de montaison.
Développeur 1 : donc en gros, il y a après floraison et avant floraison.
Chercheur 1 : plus la période maturité. Quand il a deux notes pour la même période, il va chercher la dernière note de la période.
Sélectionneur 8 : du coup, il faudrait peut être changer le nom de la période montaison.
Chercheur 1 : est-ce que c'est dans le nom que ça ne va pas ou bien dans la façon de découper les phases ?
Développeur 1 : il peut y avoir de la septo pendant montaison, la vraie montaison et ensuite il peut y avoir de la septo entre épiaison et floraison.
Chercheur 1 : et épiaison-floraison, ça ne rentre pas pour vous dans la montaison ?
Développeur 1 : indiquer que c'est pendant la montaison alors que la septo est apparue à épiaison, ça fait bizarre.
Chercheur 2 : pour vous, est-ce que c'est différent de savoir que c'est apparu entre épiaison et floraison ?
Développeur 1 : pour nous, montaison, ça veut dire que c'est apparu tôt (par exemple avril une année normale en île de France). Alors que les notes de floraison sont plutôt en mai.
Chercheur 2 : vous notez parfois pendant la montaison ?
Sélectionneur 5 : certaines années, oui, par ex pour la septo feuille.
Développeur 1 : mais classiquement, c'est plutôt autour d'épiaison
Chercheur 2 : donc il faudrait rediviser la période qui s'appelle montaison, entre une période précoce et une plus épiaison-floraison**.**
Sélectionneur 6 : vu qu'on note toutes les variétés en même temps, certaines sont à épiaison quand d'autres sont à floraison.
Sélectionneur 3 : le problème, c'est surtout qu'il y a des variétés qui ne sont pas notées à un stade alors que les autres ont été notées à ce stade là. Il faudrait recalculer pour ces variétés là, à ces stades là, à partir de la note qui a été faite.
Chercheur 1 : donc il faut connaître la dynamique de la maladie.
Sélectionneur 3 : c'est mieux d'estimer une note que de dire que la variété n'a pas été touchée par la maladie.

Cadre B-8 : exemple de discussion donnant des clés de compréhension sur l'activité d'évaluation

Sélectionneur 4 : on pourrait considérer l'ensemble des essais pré dépôt, CTPS et précom sur un même lieu comme un gros essai. On a ce gros essai sur 5 lieux, une année donnée et possiblement beaucoup de témoins. Ça nous permettrait de faire des rapprochements entre des groupes de variétés, faire des typologies. Ça, ce serait l'option sélection. Après, on aurait l'option développeur où on pourrait avoir un groupe plus restreint mais avec plus de lieux et plus d'années. On peut compiler pour reconstruire des essais fictifs avec des listes variétales communes, on peut faire ça sur 4 ans. F6, pré-dépôt, CTPS 1 & 2. Et là on ne met que la série de CTPS 2 qui intéresse les développeurs ».
Chercheur 1 : et peut-on faire ça sur F5, F6 et pré-dépôt, pour les sélectionneurs ? faire tourner l'outil au moment du pré-dépôt pour évaluer les variétés au moment du pré-dépôt.
Sélectionneur 4 : oui ce serait déjà une avancée, même si on ne va pas forcément sélectionner les variétés sur des critères aussi fins. Il y a aussi qu'on peut utiliser la caractérisation d'un lieu, faite dans un autre réseau plus complet. Est-ce que ce serait pertinent de forcer l'entrée de facteurs limitants parce qu'on sait par ailleurs déjà comment est caractérisé un milieu ? Ce qu'on pourrait imaginer, c'est de valoriser dans la durée les caractérisations des milieux. C'est-à-dire tenir pour acquis la description d'un lieu une année donnée. On se servirait par exemple d'un réseau bien carré et fonctionnant bien (par exemple le précom) pour caractériser les facteurs limitants d'un milieu et ensuite on peut réutiliser cette description du milieu pour une série variétale un peu différente, dans une génération antérieure où on aura collecté moins de données que ce qu'on fait dans le réseau précom. »

Cadre B-9: exemple de discours à propos de réaménagements de l'activité

3. Produits de la phase 2

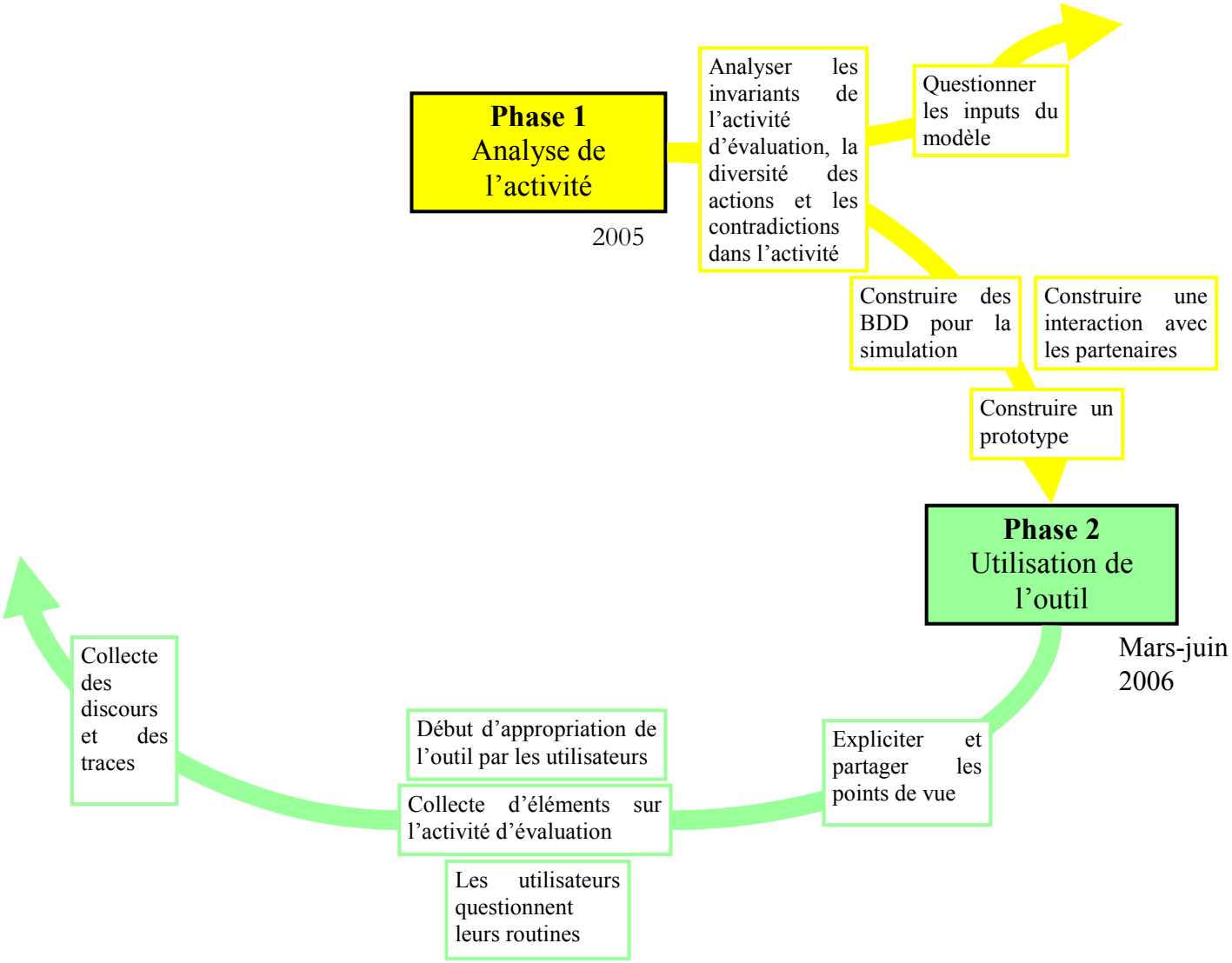
3.1 La transcription des discussions

Le premier produit de la phase d'utilisation est la collecte des discours et des traces, effectuée tout au long de la phase. Déjà habitués à cette méthode par la série d'entretiens effectuée en 2004 (projet FSOV) et 2005 (réunions à propos du format des entrées de DIAGVAR), les acteurs ont accepté sans difficulté que leurs discours soient enregistrés pour être « décortiqués » ensuite. En revanche, nos fiches de suivi se sont avérées assez lourdes et répétitives, les acteurs les ont peu remplies : ils avaient relevé les combinaisons testées et pouvaient les justifier mais n'avaient pas forcément pris le temps de noter à chaque fois les impressions produites par les résultats. Ayant pris la mesure de cette difficulté lors de la réunion de débriefing faite avec le premier groupe d'acteurs, nous avons insisté pour que les acteurs reviennent au cours des réunions de débriefing sur les simulations effectuées et les discutent avec nous. Le support du vidéo-projecteur s'est avéré très utile pour y parvenir : chaque utilisateur présent pouvait voir la situation en cours (que lui-même n'avait pas forcément testée) et discuter de son intérêt et de la pertinence des résultats obtenus. Il faut en effet se rappeler que les réunions ont été effectuées par groupe d'acteurs et que chaque personne présente aux réunions connaissait relativement bien les données expérimentales discutées. Par exemple, pour le GIE Club des 5, les visites des essais des partenaires sont courantes : chaque membre du GIE était donc à même d'avoir une expertise sur les essais qui étaient introduits dans l'outil. Notre premier produit est donc fondé sur les collectes et transcriptions des discours des acteurs durant les réunions collectives, plus que sur le suivi du temps d'utilisation individuelle[9]. Nous illustrons dans les cadres B-4 et B-5 (voir plus haut) quelques-unes de ces discussions.

3.2 Un partage des points de vue

Cette phase d'utilisation, mettant en présence les chercheurs en charge de la conception et les utilisateurs, a permis d'expliciter et de partager les différents points de vue. Les chercheurs ont en effet été amenés à décrire précisément le modèle sous-tendant DIAGVAR : ses hypothèses et son fonctionnement. Le fait de confronter les résultats à l'expertise des acteurs notamment a permis de donner un support à cette explicitation : confrontés à des résultats qui semblaient aberrants aux acteurs, les chercheurs ont dû chercher dans les détails du modèle ce qui pouvait expliquer ces résultats, permettant ainsi aux acteurs de se familiariser avec les mécanismes fins de DIAGVAR. Ceux-ci ont donc commencé à s'approprier DIAGVAR. Nous avons illustré cette appropriation par deux exemples (cadres B-6 plus haut et B-7). Le premier montre que les acteurs commencent à s'approprier les mécanismes fins du modèle de DIAGVAR. Le second montre

[9] Il faut néanmoins souligner le fait que le travail en collectif a parfois posé problème au niveau des transcriptions, surtout en ce qui concerne le premier temps d'utilisation, celui des réunions collectives de découverte du prototype. Les réunions GIE et GEVES se sont déroulées avec un effectif important et, à de nombreuses reprises, les acteurs se sont mis en sous-groupes pour discuter, ce qui rend l'écoute de l'enregistrement difficile. En revanche, les réunions de débriefing donnent des transcriptions claires, les discussions étant restées au niveau de l'ensemble du collectif.


Phase 1
Analyse de l'activité
2005
Analyser les invariants de l'activité d'évaluation, la diversité des actions et les contradictions dans l'activité
Questionner les inputs du modèle
Construire des BDD pour la simulation
Construire une interaction avec les partenaires
Construire un prototype
Phase 2
Utilisation de l'outil
Mars-juin 2006
Expliciter et partager les points de vue
Collecte d'éléments sur l'activité d'évaluation
Les utilisateurs questionnent leurs routines
Début d'appropriation de l'outil par les utilisateurs
Collecte des discours et des traces

que les acteurs se familiarisent avec le produit DIAGVAR et qu'ils manipulent l'outil pour confronter ses résultats à leur expertise (l'acteur dit « avoir joué » avec l'outil) et mieux comprendre ainsi son fonctionnement.

Réciproquement, les chercheurs ont demandé aux acteurs d'expliciter leurs remarques : pourquoi tel résultat leur paraissait aberrant, sur quels critères fondaient-ils leur jugement des résultats, comment leurs pratiques expérimentales expliquaient les résultats… La façon de concevoir l'évaluation des variétés côté utilisateurs a donc elle aussi été explorée et explicitée, donnant aux chercheurs un accès supplémentaire à l'activité d'évaluation dans sa complexité et leur permettant de mieux partager les attentes et contraintes des utilisateurs (cadre B-8, voir plus haut).

3.3 Des remises en question des routines

Enfin les discussions autour des simulations de l'outil ont permis d'aller au-delà de l'explicitation et du partage des points de vue. Les acteurs de l'évaluation ont parfois imaginé, proposé et débattu d'aménagements de leurs actions ou de leur organisation en termes d'évaluation pour répondre à des problèmes ou des difficultés mis en évidence par les discussions autour de DIAGVAR. Les configurations de réseaux ont notamment été débattues, ainsi que la façon d'organiser la collecte des données sur les lieux où il n'y pas d'expérimentateur constamment. Les utilisateurs ont donc, au cours de ces discussions collectives, questionné certaines de leurs routines et exploré des solutions excédant leurs actions habituelles (cadre B-9, voir plus haut).

	Interface	Points de questionnement sur le modèle	Points en lien avec l'activité + la démarche
Groupe d'acteurs 1	**1ère réunion :** - Rendre plus facile la constitution des listes variétales : rentrer toutes les variétés présentes dans un essai et avoir la possibilité ensuite de travailler sur un sous-ensemble de variétés, présentes partout. (pour l'instant, on n'a aucune possibilité de trier a posteriori les variétés sur lesquelles on veut travailler) - Homogénéiser entre l'entrée de notes d'attaque et la sortie de notes de résistance - Intégrer des tests pour vérifier les données d'entrée pour éviter des saisies aberrantes - Menus déroulants pour éviter les erreurs d'orthographe dans les noms de variété - Codes couleurs pour les témoins à homogénéiser entre la partie diagnostic et la partie estimation de résistance	**1ère réunion** - Partie estimation de la résistance des variétés aux facteurs limitants : avoir un profil par variété, sur l'ensemble des variétés. Il s'agit de décrire, pour chaque variété, quels ont été les principaux facteurs limitants qui ont joué dans le réseau. « on a l'interaction GE. Par milieu, tu as l'intensité du facteur limitant. Ensuite tu sais que la variété est très résistante à la rouille brune, tu as son paramètre. Donc avec les deux, tu peux revenir au rendement ou avoir l'information que dans ce milieu, même s'il y avait une pression rouille brune importante la variété n'a pas été affectée par ce facteur limitant là et ensuite faire une analyse fréquentielle sur les milieux. » - Problème des données manquantes sur les maladies : c'est un problème que l'outil considère qu'une maladie n'est pas apparue lorsqu'elle n'a pas été notée. Parfois, il est impossible de noter une maladie (confusion entre maladies par ex) pourtant elle a été présente. Poss de test : rajouter à la main, dans les données, une notation manquante en se basant sur la connaissance de la variété, ou inversement partir d'un jeu de données parfait, enlever une note et voir comment l'outil réagit. Autre poss : que l'outil ne calcule l'influence d'un facteur limitant que lorsque ce facteur limitant est intégralement renseigné dans les données d'entrée - Comment voir que le modèle fait bien ressortir tous les facteurs limitants ? regarder la part résiduelle du modèle pas suffisant parce que le modèle peut attribuer la perte de rdt à un autre FL, par erreur. - Les acteurs sont surpris de voir que l'outil n'utilise pas les notes de résistance des données d'entrée et de voir qu'il les recalcule. Ils souhaiteraient qu'on puisse confronter notes à l'entrée et notes de l'outil. Est-ce que ça aurait un intérêt que l'outil se serve aussi des données d'entrée ? pour calculer d'autres notes de résistance ? pour bloquer une partie de l'équation en forçant les notes de maladie ? pour pouvoir dire à quelle perte de rendement correspondent les notes de maladie ? pour fournir un critère de fiabilité de jugement de l'outil (en étudiant la corrélation entre notes expé et notes outil). Pb : les notes de l'outil sont des notes relatives, pas des notes dans l'absolu. ***En rouge, les solutions suggérées par les acteurs, en bleu celles suggérées par les chercheurs***	**1ère réunion** - Partenaires moins réactifs que Groupe 2, pourquoi ? les réseaux que l'on a explorés ne sont pas leurs réseaux habituels, peut-être aussi que le raisonnement par réseau leur est moins facile si on s'appuie sur le fait qu'ils travaillent plus par duels, ou par essai - Réactions davantage à des aberrations internes à l'outil plutôt que par rapport à leur expertise : ça pourrait être dû au fait qu'ils ont de la difficulté à se projeter dans la logique de l'outil (raisonnement par réseau ? raisonnement en relatif par rapport à un réseau alimentant l'outil ? ou tout simplement, n'ont encore pas une idée suffisamment claire des modèles de l'outil pour pouvoir y réagir) - Difficultés, côté acteurs, à comprendre que l'outil fonctionne en relatif des résultats qui l'alimentent. ELEMENTS SUR L'UTILISATION ENVISAGEE - Essayer de constituer ou de trouver des jeux de données où on ait le problème de confusion ou d'impossibilité de noter une maladie (cf colonne centrale) : voir comment l'outil se comporte, voir comment les acteurs réagissent par rapport à ça. - Pour éviter les problèmes de liste variétale commune, un acteur propose de reconstruire a posteriori des essais à introduire dans l'outil en sélectionnant uniquement les variétés que l'on veut garder. STRATEGIE D'EXPLORATION - stratégie d'exploration de l'outil pas très claire. peut-être parce que les acteurs ne venaient pas avec cette idée (ils arrivaient un peu les mains dans les poches, ils n'avaient pas beaucoup réfléchi à ce qu'ils attendaient.) Acteur 1 : a testé directement les traités 2004 / 2005. Acteur 2 : tous les milieux. Acteur 3 : en cliquer quelques uns dans le pack des informaticiens. A ensuite tout fait tourner. Acteur 4 : a testé des gros combinaisons (au moins deux années) : sûrement tout. à la fin non traité 2005. Acteur 5 : sur des petits milieux. Acteur 1 : a déjà fait le projet d'enlever les variétés non inscrites, a reconnu les variétés sous numéro pour changer les noms… « il faudrait mettre à jour les listes variétales en fonction de ce qu'on sait ».

Tableau B-7 : extrait de classification des discours de la phase d'utilisation en trois catégories

III. Phase 3 : questionnement des concepts et de la validité de l'outil

1. Principe : une mise en débat des discours entre agronomes

La phase 3, très liée à la précédente, consistait à remettre en débat, entre agronomes, l'ensemble des remarques des utilisateurs collectées pendant la phase 2. Les objectifs étaient (1) de repérer des éléments susceptibles de constituer de véritables questions scientifiques en agronomie à partir des discussions sur l'utilisation du prototype et (2) de hiérarchiser ces questions pour choisir d'en traiter certaines.

2. Mise en oeuvre : discussions autour des transcriptions de la phase 2

Cette phase s'est basée sur l'ensemble des transcriptions des réunions collectives de la phase 2 : les réunions de découverte du prototype et les réunions de débriefing de l'utilisation.

Pour faciliter le travail sur les transcriptions, nous avons choisi de réaliser un premier niveau d'analyse en classant le contenu des transcriptions en trois catégories, à soumettre dans un deuxième temps à d'autres agronomes. Il nous semblait que cette classification en trois catégories pouvait permettre de discuter sur un support plus lisible et plus accessible qu'une transcription intégrale des réunions collectives. La première catégorie renvoie aux problèmes concrets et techniques d'interface et de programmation : nous y avons répertorié l'ensemble des modifications suggérées par les acteurs concernant la forme du logiciel, l'automatisation de certains calculs, les temps de calcul etc. La seconde catégorie rassemble toutes les questions s'adressant aux concepts qui fondent le modèle et à ses résultats. La troisième catégorie répertorie toutes les questions relatives à l'usage et à l'utilisation du prototype : celles s'inscrivant dans l'activité d'évaluation variétale, mais aussi les questions relatives à la découverte du prototype dans les phases d'utilisation, c'est-à-dire la façon dont les acteurs ont abordé la démarche, l'ont mise en œuvre.

Nous avons analysé, avec cette grille, les transcriptions de chaque réunion. Nous avons ensuite regroupé l'ensemble des grilles d'un même groupe d'acteurs (respectivement GIE, GEVES, Arvalis-Institut du Végétal) en les organisant de façon chronologique pour tenir compte (et rendre apparents) d'éventuels apprentissages se développant au fur et à mesure des séances de travail avec le prototype. Au sein d'une même réunion, nous avons éventuellement regroupé par grands thèmes les questions des acteurs. Lorsque la question a été l'objet de propositions de solutions, nous les avons fait apparaître dans la grille, de deux couleurs selon qu'il s'agissait de solutions proposées par les concepteurs ou les utilisateurs.

Nous présentons dans le tableau B-7 ci-contre un extrait de la grille de traitement des transcriptions.

Nous avons effectué cette classification avant de solliciter les commentaires d'autres agronomes sur les différents points que nous avions pu faire apparaître. Trois agronomes, connaissant tous de façon approfondie la méthode de C. Lecomte, ont ainsi travaillé sur l'analyse de ces discussions.

Ces grilles ont été partagées entre les trois agronomes selon plusieurs modalités.

Question 17 Relativité des résultats de l'outil à la base de données qui l'alimente : les acteurs la définissent ici par un problème de la taille du réseau : ils s'interrogent sur la taille à partir de laquelle on a des résultats fiables.
MHJ : ça c'est très important. C'est essayer de définir le mieux possible le cahier des charges du réseau. Commentaires de JMM : là il y a potentiellement une jolie question agronomique.
MHJ : […]il faudrait, sur 2 ou 3 réseaux, faire tourner sur des configurations différentes, faire ressortir les critères que David [Makowski, statisticien dans l'UMR Agronomie] nous aiderait à voir pour quelle configuration du réseau on a des résultats plus fiables que les autres et essayer de caractériser ces configurations en terme de variabilité, de nombre de lieux ou d'années.
LP : Il faudrait qu'on ait déjà des idées de caractérisation de la BDD pour se dire que ce n'est pas qu'un problème de taille.
MHJ : une idée serait de faire tourner d'abord sur un gros réseau puis enlever un milieu et essayer toutes les combinaisons lorsqu'on enlève un milieu. Puis on en enlève deux, avec toutes les combinaisons de 2, etc.. Et ça sur plusieurs réseaux. Là on verra le mieux à quel moment on décroche et pourquoi. En faisant comme ça, de façon très exhaustive, tu risques de tomber sur plusieurs réseaux qui donnent des résultats fiables et tu pourras comparer leurs caractéristiques. Et tu pourras définir peut être des choses comme « si cette condition n'est pas réalisée, ça n'ira pas »
LP : mais en préalable à tout ça, il faut qu'on ait des critères de jugement de la qualité du DA.
LP : et puis il y a aussi l'autre niveau : réfléchir au niveau du modèle statistique utilisé : est-ce que la régression stepwise est vraiment le meilleur outil pour choisir le meilleur modèle ? Et est-ce que les seuils qu'on a choisis sont bien adaptés ?
MHJ : et il faudrait se poser la question de savoir si l'outil qui serait basé non plus sur une régression linéaire mais sur des relations quantitatives serait aussi sensible à la configuration des réseaux que l'outil actuel ?
LP : normalement tu enlèves le problème de la variabilité. Il n'existe plus si on passe par des relations quantitatives.
MHJ : à ce moment là, c'est une réponse indirecte mais qui résout le problème ! mais quand même avec nos relations quantitatives, on ne résout pas tout puisqu'il y a le problème de l'interaction entre facteurs qui n'est pas évident. Mais finalement, il y a peut être une solution, proposée par David: ces relations quantitatives sont mises au point sur un ensemble de milieux. Et des gens ont montré que tu pouvais mettre au point plusieurs relations quantitatives et en faire la moyenne. Si par exemple on dit que le rendement est fonction de 4 variables explicatives, sur un réseau donné, on va faire une relation en disant que le rendement n'est fonction que de X1, puis de X1 + X2, puis de X1+X2+X3 etc… et tu fais toutes les combinaisons de tous les modèles possibles. Et finalement le meilleur modèle possible extrapolable à d'autres situations c'est la moyenne de tous ces modèles là.
LP : ça fait un nb incroyable de modèles quand même.
MHJ : ce serait génial. Ça voudrait dire qu'on essaie de mette au point ce modèle là sur le plus grand nombre de réseaux qu'on a pour arriver in fine à une relation quantitative unique qui serait notre base de diagnostic.
MHJ : pour mettre au point un modèle, on a deux solutions : soit on dit qu'on fait toute cette démarche sur un réseau, puis un autre, puis un autre et on fait la moyenne à la fin, soit on dit que pour mettre au point chaque relation, on utilise toutes les données qui viennent de tous les réseaux.
LP : le problème, même si ce n'était pas exactement similaire, c'est que ça marchait moins bien pour Christophe quand il prenait de gros réseaux.
MHJ : je pense que la différence d'interprétation par rapport à Christophe, c'est que lui dit que ça donne un R^2 moins bon que si je le fais réseau par réseau. Mais on est dans une situation différente. On dit que sur un nouveau réseau, la méthode qu'il propose n'est pas optimale parce qu'il y a plein de faits qui rendent la BDD pas optimale. Donc face à une situation comme ça, il vaut mieux se contenter d'un modèle moins bon que sa méthode à lui où on a tout très bien mais qui sera meilleur que sa méthode à lui sur des situations où on a plein d'infos. Quand on change de configuration de réseau (données manquantes…), ce serait super de montrer que la méthode n'est plus la même méthode statistique qui est la plus optimale. Ce serait génial de montrer ça.
LP : pour faire ça on utiliserait le plus de données possibles. Ca veut dire qu'on utiliserait des données qui ne sont pas géniales. Est-ce que ça n'est pas embêtant ?
MHJ : si, ça peut l'être. Donc il faudrait mettre au point ces relations sur les réseaux bétons qu'on a. Donc au bout du compte, on a un modèle mis au point sur un réseau béton et qu'on utilise sur des réseaux moins bétons. C'est peut être mieux que de dire qu'on met au point les relations à partir de réseaux pas bétons, ce qui fait que les relations ne seront pas super bonnes et quand en plus on va établir les relations sur des réseaux pas géniaux, on va cumuler les erreurs.
LP : est-ce qu'on peut considérer le réseau GIE, même de la thèse de Christophe, comme béton ? les réseaux bétons, ce sont les réseaux où on a toutes les infos nécessaires à un bon fonctionnement de l'outil. Est-ce que ça ne nécessite pas avant d'avoir fait une analyse de sensibilité globale sur l'ensemble des données qui alimente l'outil ?
MHJ : oui ou alors est-ce qu'on ne peut pas choisir les réseaux sur lesquels on met en œuvre cette méthode là comme les réseaux sur lesquels la méthode actuelle de diagnostic donne de très bons résultats ? Est-ce que c'est un critère de fiabilité d'un réseau ?
LP : on n'en est pas sûres parce qu'il juge uniquement sur le R^2.
MHJ : de toute façon, David est partisan d'utiliser toutes les données qui existent, même si ce sont des données pas géniales. Il a beaucoup mis ça en avant dans le travail sur les courbes enveloppes. Il explique que toutes les méthodes avant sélectionnent un sous échantillon de données et laissent de côté le reste et il dit que ça, c'est très mauvais en stat. Il dit que plus tu utilises l'ensemble de l'information, plus tu es performant.

Cadre B-10 : exemple de discussion autour d'un élément de la phase 2

Elles ont tout d'abord été commentées de façon individuelle. Elles ont ensuite été discutées en binôme, en utilisant les commentaires individuels. La discussion a consisté à discuter chaque groupe de remarques des trois catégories, à identifier les problèmes exprimés derrière une remarque ou une question des acteurs de l'évaluation et à rapprocher les problèmes similaires. Ces groupes de problèmes ont ensuite été discutés pour identifier les questions d'intérêt scientifique dans le champ de l'agronomie, les hiérarchiser en fonction à la fois de leur faisabilité et de l'évaluation que nous pouvions faire de leur importance pour les utilisateurs, puis pour en choisir quelques-unes pour un traitement effectif. Là encore, les traces de ce travail ont été collectées : les grilles et leurs commentaires ont été conservés, les discussions ont été enregistrées puis transcrites (voir un extrait dans le cadre B-10). A l'issue des débats entre agronomes, il est apparu que nous avions besoin d'avoir l'avis d'un chercheur statisticien sur des questions qui nous semblaient renvoyer à des problématiques statistiques. Nous avons donc présenté nos questions à un statisticien familier de la méthode du diagnostic agronomique, sur la base des débats entre agronomes. Cette réunion a également été enregistrée et retranscrite.

3. Produits de la phase 3

Les produits de cette phase sont des éléments que nous retrouverons dans les chapitres C et D qui suivront celui-ci, qui se placent successivement du point de vue des agronomes et des ergonomes. Nous présentons donc ici en quelque sorte une introduction à ces deux chapitres.

3.1 Réflexions pour les ergonomes

Du point de vue de l'ergonomie, les discussions entre agronomes ont donné matière à plusieurs réflexions, à la fois sur la conduite du processus et sur la compréhension des activités, activité des acteurs de l'évaluation comme activité des agronomes.

Concernant la conduite du processus, le choix que nous avons fait de ne pas interagir avec les acteurs dans cette phase peut être contesté. En effet, s'il paraît justifié de charger les chercheurs agronomes d'identifier des questions scientifiques pertinentes dans la discipline agronomique, nous avons longtemps réfléchi à retourner vers les acteurs après avoir formulé ces questions. Ce retour aurait pu être l'occasion de valider notre compréhension, de discuter des possibilités de solution, mais aussi de mettre en débat notre hiérarchisation des questions à traiter. Ce retour nous aurait peut-être également permis d'éclaircir le point suivant. Nous avions éprouvé le besoin d'essayer de trier ce qui relevait de questions pour les agronomes et ce qui semblait pouvoir être renvoyé à des transformations dans l'activité d'évaluation. Or cette distinction s'est avérée difficile à faire. En témoignent par exemple les allers-retours qu'ont faits les agronomes entre les colonnes de « questionnement du modèle » et de « points en lien avec l'activité ». Les agronomes ont mis en lien des éléments des différentes colonnes, montrant qu'on ne pouvait maintenir une séparation entre les classes de questionnements proposées, mais aussi qu'il s'avérait assez dur de trancher entre un renvoi du problème au champ scientifique et un renvoi à l'activité d'évaluation. Pouvoir discuter avec les acteurs de notre renvoi de certains points à l'activité nous aurait certainement aidé à mieux saisir ce qui caractérise la limite entre les deux domaines. Nous n'avons pas retenu cette solution faute de temps : à l'issue de la phase 3 (hiver 2006), il ne restait qu'un an de travail sur la thèse et nous tenions à traiter au moins une des questions agronomiques

identifiées. Nous avons donc choisi de favoriser la phase 4 permettant de faire un retour global sur l'ensemble de la démarche, au détriment d'un retour aux acteurs plus ciblé sur les questions agronomiques.

Cette phase a également permis de repérer des éléments en lien avec l'activité d'évaluation variétale et l'utilisation de l'outil. Nous avons par exemple pu repérer des moments où les acteurs se projettent dans une activité un peu différente, où les instruments classiques sont repensés, où la division du travail évolue. Il s'agit d'autant d'indices que les acteurs de l'évaluation repensent leur activité, réfléchissent à de possibles transformations de cette activité dans l'avenir en intégrant la dimension systémique de l'activité d'évaluation.

Toujours en se plaçant du point de vue de l'ergonomie, cette phase 3 permet d'approcher des éléments de l'activité de recherche des agronomes. Le recueil des traces lors de la phase 3 rend possible un travail réflexif des agronomes sur leur propre activité. Bien que nous ne les ayons pas travaillés systématiquement, les points suivants nous semblent porteurs d'informations intéressantes d'un point de vue d'une analyse ergonomique de l'activité des agronomes : essayer de mieux comprendre la façon dont nous avons circulé, en tant qu'agronomes, entre les catégories de problèmes, les différentes réunions dans le temps et les différents acteurs de l'évaluation pour formuler des questions agronomiques, étudier comment nous avons construit des solutions à ces questions, mettre à plat les critères que nous avons mis en avant pour justifier de retenir une question comme significative dans le champ de l'agronomie.

3.2 Réflexions pour les agronomes

Du point de vue de l'agronomie, deux grands champs de questions ont été dégagés par les débats entre agronomes lors de la phase 3. D'une part, un certain nombre de questions ont émergé directement en lien avec le modèle de DIAGVAR et les concepts de ce modèle, remettant en mouvement certains choix de programmation, de formalisation des phénomènes, ou les liens de cause à effet établis. Mais des questions excédant le cadre du modèle de DIAGVAR sont également apparues, renvoyant à des champs plus larges : écophysiologie, pathologie et statistiques appliquées à l'agronomie. Il est particulièrement intéressant de relever que le nombre des questions agronomiques identifiées est relativement élevé. A partir des transcriptions des entretiens de phase 2, plus d'une douzaine de questions scientifiques potentielles ont été définies. Nous aurons l'occasion d'en parler plus avant dans le chapitre suivant. Parmi l'ensemble de ces questions, deux ont été traitées jusqu'à maintenant, dans le cadre de la thèse mais aussi dans le cadre de projets parallèles.

La première question traitée concerne le module maladies de DIAGVAR. Le diagnostic de l'effet des maladies sur le rendement repose sur la relation existant entre une note d'attaque effectuée à une période donnée (tallage, montaison, remplissage) et une perte de rendement. Un problème réside dans le fait que si l'expérimentateur n'a fait qu'un passage dans les champs pour effectuer les notations maladies, en période de montaison par exemple, la note sera attribuée à la période montaison mais ne sera pas propagée à la période de remplissage dans l'outil. On aura donc un indicateur de facteur limitant non nul sur la période montaison et nul sur la période remplissage. Or le fait que l'indicateur soit nul pendant cette période ne signifiera pas ici que la maladie n'a pas été présente, simplement qu'elle n'a pas été notée, ce qui peut affaiblir le diagnostic de l'effet de la

maladie sur le rendement. Pour autant, il ne serait pas juste d'extrapoler à la phase de remplissage la note observée pendant la première phase de développement, puisque tous les cas d'évolution peuvent alors se rencontrer : la maladie peut augmenter, diminuer (cela s'explique par exemple par le fait que ce ne sont pas les mêmes feuilles qui sont notées. Les maladies présentes sur les jeunes feuilles pendant la montaison n'ont pas obligatoirement un effet sur le rendement pendant la phase de remplissage), ou se stabiliser. Le problème se complexifie encore lorsqu'on prend en compte les différences de précocité des variétés. Les expérimentateurs notent les attaques de maladie le même jour pour l'ensemble des variétés, or la notation peut se situer dans la période montaison d'une variété (qui n'aura alors pas de notation en période de remplissage) et remplissage d'une autre (qui n'aura alors pas de notation en période montaison). Ce faisant, les notes sont intégrées dans deux indicateurs de facteurs limitants différents (l'indicateur de l'attaque de maladie en période de montaison, et son équivalent en période de remplissage) ce qui va introduire un biais ensuite dans l'évaluation de l'effet de la maladie sur le rendement. Il est alors difficile d'évaluer l'effet sur le rendement d'une maladie intervenant pendant le remplissage si la moitié des notes des expérimentateurs se situent pendant la montaison. Ces observations posent donc la question de l'introduction d'une dynamique dans l'évolution des maladies. Une possibilité serait d'utiliser la complémentarité des informations données par les notes ponctuelles et par une évolution dynamique, qui pourrait provenir de modèles de cinétique de maladies comme PRESEPT[10] pour la septoriose, TOP[11] pour le piétin verse, YELLO pour la rouille jaune (de Vallavieille-Pope et al., 2000), PROCULTURE pour la septoriose (Lemaire et al., 2003), le module maladies du modèle Arable DS (Audsley et al., 2005) ou RustDeP (Rossi et al., 1997). La combinaison de modèles dynamiques avec des mesures ponctuelles rend en effet les prédictions beaucoup plus précises (Naud et al., 2007). Cette question a été prise en charge dans le cadre d'un post-doctorat (Carof, travaux en cours), financé grâce aux fonds du front méthodologique du GEVES, évoqué précédemment. Les résultats sont en cours de traitement.

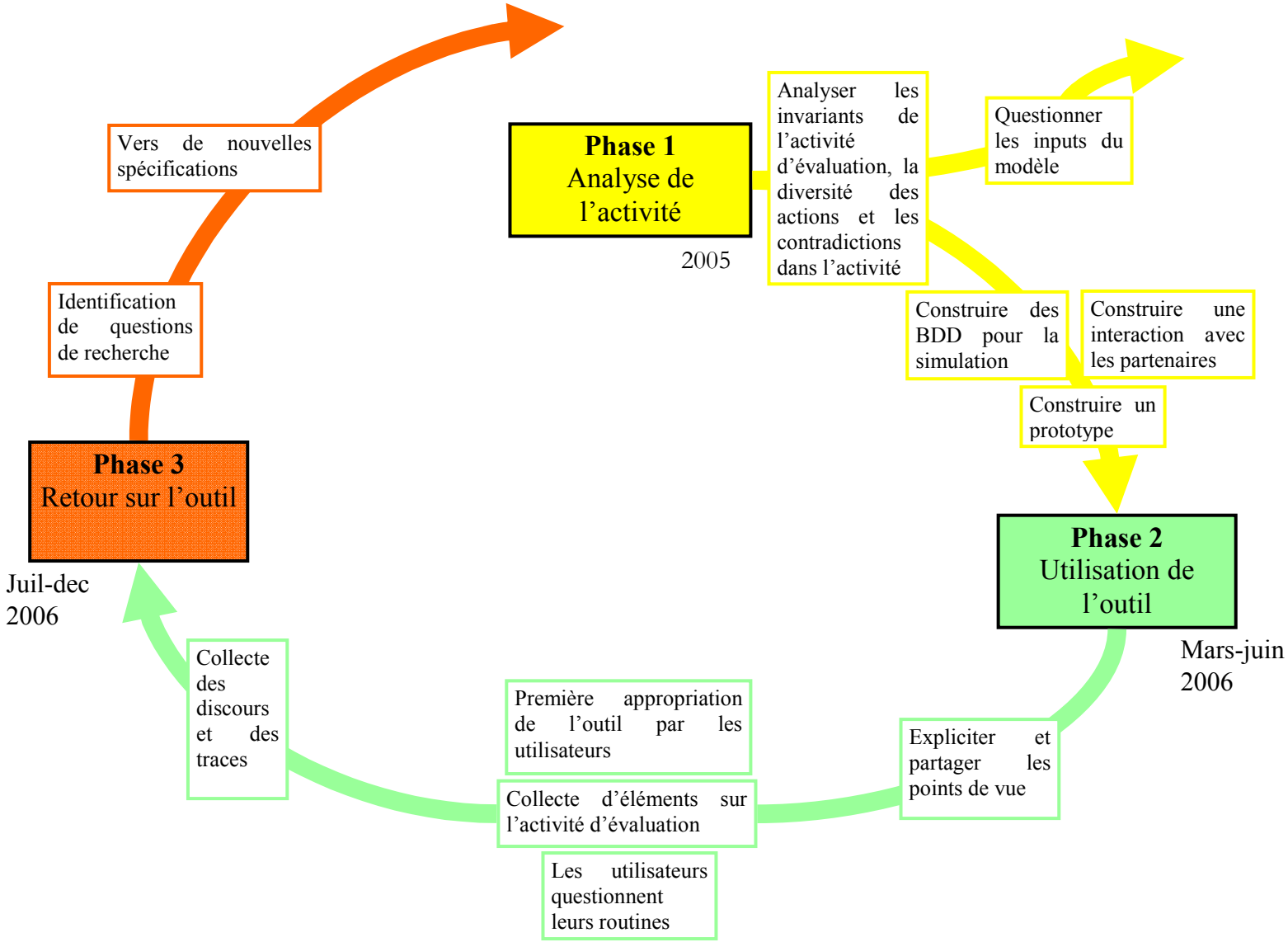
Le second problème concerne la relativité des résultats du diagnostic agronomique (étape 2 de DIAGVAR) à la base de données introduite. Lors des simulations, les acteurs ont constaté dans la phase d'utilisation qu'une faible variation de la combinaison des milieux en entrée ou une très légère modification des données d'un milieu de la combinaison testée pouvait aboutir à des résultats très différents en termes d'identification des facteurs limitants explicatifs des pertes de rendement. Par exemple il est arrivé que, en rajoutant un seul milieu dans la combinaison testée, un facteur limitant ne soit plus significatif ou au contraire apparaisse, ce qui est assez perturbant. Il est apparu assez vite qu'il ne s'agissait pas là d'un simple problème de taille de la base de données introduites dans l'outil : certains petits jeux de données (6 milieux par exemple) donnaient des résultats assez stables lorsqu'on y ajoutait ou qu'on retirait un milieu, d'autres jeux plus importants semblaient plus sensibles à des ajouts ou des retraits. De même, nous avons fréquemment trouvé, *a posteriori*, des erreurs de saisie dans les fichiers d'entrée : la correction de ces erreurs pourtant souvent minimes (erreurs dans une note de maladie, une date de notation ou une donnée de rendement) a pu changer assez profondément le diagnostic des facteurs limitants sur la combinaison des milieux testés. Là encore, il était difficile d'expliquer ces effets : une

[10] ***Presept*** : SRPV de Montpellier, DRAF Languedoc-Roussillon, rue Alco, 34080 Montpellier cedex
[11] ***Top*** : SRPV de Toulouse, Cité administrative bât. E, Bd Armand Duportal, 31074 Toulouse

modification dans un milieu pouvait ne rien modifier, alors que la même modification dans un autre milieu ne provoquait pas les mêmes effets dans le diagnostic. Ces problèmes réduisaient la confiance que les utilisateurs pouvaient avoir dans le prototype. Nous avons donc décidé d'étudier de manière plus approfondie la partie « diagnostic des milieux » de DIAGVAR pour comprendre le comportement du modèle par rapport aux données. Notre objectif était de parvenir à caractériser la stabilité de la méthode statistique utilisée dans l'outil (une régression multiple stepwise avec quelques aménagements liés à une validation agronomique, présentés dans le chapitre A) en fonction de caractéristiques diverses de la base de données : nombre de milieux explorés mais aussi gamme de variabilité explorée, lien entre cette gamme de variabilité et des éléments constitutifs d'un réseau comme le nombre d'années ou le nombre de conduites. Nous avons également exploré la possibilité d'utiliser d'autres méthodes statistiques que la régression multiple stepwise, en comparant la stabilité de ces méthodes sur la base de différents critères statistiques. Ce travail a été effectué en collaboration avec un statisticien. Les résultats sont présentés dans le chapitre suivant.

La phase 3 nous a finalement apporté de nombreuses pistes de modifications du prototype, à la fois dans son interface et ses concepts, qui devront être traitées pour proposer de nouvelles spécifications pour un prototype remanié. Nous avons insisté ci-dessus sur les questions qui sont renvoyées aux concepts de l'outil parce qu'elles sont porteuses de questionnements scientifiques à renvoyer aux agronomes. Mais les problèmes d'interface nous semblent mériter un développement spécifique. Les améliorations de l'interface n'étaient pas prioritaires pour nous au début du travail. Nous avons néanmoins relevé et classé les remarques des utilisateurs qui nous semblaient renvoyer à ce sujet. Les faire apparaître nous a permis de nous rendre compte de deux éléments importants liés à la conception de l'outil :

- Tout d'abord, il est parfois difficile d'affirmer qu'une remarque des acteurs ne renvoie qu'à l'interface du prototype. Par exemple, quand les acteurs disent souhaiter que le prototype donne une liste des variétés cultivées dans la combinaison de milieux testés pour pouvoir sélectionner celles qu'ils veulent effectivement caractériser, mais aussi faire des sous-groupes parmi les variétés, cela renvoie effectivement à un problème d'interface mais cela nous donne aussi accès à un élément de l'activité des acteurs à creuser : pourquoi souhaitent-ils faire des sous-groupes ? de quelle nature sont-ils ? quelle information en retirent-ils par rapport à leur gamme de variétés ? Les informations découlant des remarques d'interface renvoient donc à des caractéristiques des activités qu'il nous faudra sans doute approfondir.
- De plus, ces problèmes, même lorsqu'ils paraissent mineurs ou très pragmatiques, sont importants dans l'optique de produire un véritable outil, susceptible d'être utilisé par les acteurs. Ces modifications apportent de l'utilisabilité et de la flexibilité qui ne sont pas des éléments que les acteurs sont prêts à négliger s'ils doivent utiliser l'outil en routine. A travers ces problèmes, se pose en fait aussi la question de la maintenance d'un outil qui est trop souvent occultée dans les travaux d'opérationnalisation : à partir de quand parle-t-on de maintenance (et non plus de conception) ? Qui doit être en charge de cette maintenance ? Comment donner les possibilités aux acteurs de prendre en charge cette maintenance ? Sont-ils prêts à accepter cette charge ? Dit autrement, comment gérer la division du travail entre concepteurs et utilisateurs en fin de conception ?


Phase 1
Analyse de l'activité
2005
Analyser les invariants de l'activité d'évaluation, la diversité des actions et les contradictions dans l'activité
Questionner les inputs du modèle
Construire des BDD pour la simulation
Construire une interaction avec les partenaires
Construire un prototype
Phase 2
Utilisation de l'outil
Mars-juin 2006
Expliciter et partager les points de vue
Collecte d'éléments sur l'activité d'évaluation
Les utilisateurs questionnent leurs routines
Première appropriation de l'outil par les utilisateurs
Collecte des discours et des traces
Phase 3
Retour sur l'outil
Juil-dec 2006
Identification de questions de recherche
Vers de nouvelles spécifications

Nous sommes consciente que ces points de discussion paraîtront assez évidents aux lecteurs plus familiers de la littérature de la conception informatique et des interactions homme machine, où la conception des interfaces ne se pose pas uniquement comme un problème technique mais comme le produit de processus cognitifs complexes. Nous avons néanmoins trouvé important de les faire apparaître ici car ces questions ne sont pas forcément familières aux chercheurs agronomes. Elles touchent en effet à des problèmes liés à la production de logiciels et à la maintenance de ces produits que les chercheurs agronomes n'investissent pas forcément largement.

IV. Phase 4 : retour vers les utilisateurs pour faire un débriefing de la démarche suivie

1. Principe : se remémorer le processus pour discuter de son déroulement et de ses effets.

Dans cette phase, nous poursuivions un double objectif : (1) recueillir les impressions, le ressenti des utilisateurs à propos de l'ensemble de la démarche de travail afin de faire progresser la méthodologie développée et (2) identifier la façon dont la démarche avait ou non contribué à provoquer des transformations utiles, de leur point de vue, dans leur activité. En effet si, côté outil, nous faisions l'hypothèse que le processus produirait une transformation du modèle qui sous-tend l'outil, nous espérions également créer un mouvement de développement au niveau des activités en proposant un nouvel outil et en le mettant en débat. Nous n'avions néanmoins pas d'idées *a priori* sur ce qui pouvait changer dans l'activité des utilisateurs de l'outil. Notre objectif était donc de voir, grâce à ce retour vers les utilisateurs, si la démarche avait contribué à mettre en mouvement les actions des acteurs de l'évaluation et, dans l'affirmative, voir si elle avait suffisamment permis de révéler et d'accompagner des besoins de transformation. Nous sommes parties pour cela d'un rappel de l'ensemble des étapes effectuées au cours de la démarche de la conception de DIAGVAR (depuis le début de cette thèse) pour permettre aux acteurs de se remémorer l'ensemble du processus et d'en discuter.

2. Mise en oeuvre : des entretiens autour de l'ensemble de la démarche

2.1 Construction des entretiens

Nous avons sollicité des entretiens chez les acteurs les plus impliqués dans la démarche mise en place, plus spécifiquement ceux ayant été impliqués dans toutes les étapes des différentes phases. Cela limitait le travail à 7 personnes : la responsable des réseaux nationaux d'évaluation des variétés de blé chez Arvalis-Institut du Végétal, les deux ingénieurs en charge de la gestion des réseaux VAT et FRR au GEVES, les responsables de la sélection dans les 4 entreprises d'obtention du Club des 5.

Le travail sur DIAGVAR s'étant déroulé sur un temps long (plus de deux ans en se limitant à ce travail de thèse, souvent plus si l'on y associe le travail de C. Lecomte), il nous a semblé nécessaire de fournir aux personnes rencontrées des éléments pour leur remettre en mémoire l'ensemble de la démarche et les étapes parcourues. Notre objectif était de leur donner les moyens de se rappeler le processus et de leur permettre d'établir des liens avec des changements survenus dans leur travail au cours de la période. Nous nous sommes inspirée des méthodes de Pastré (2005a) et de Vermesch (2004) pour choisir la façon de présenter les informations de telle sorte que les acteurs se remémorent le processus, pour définir la façon de les questionner et de les relancer, pour constituer les supports de l'entretien. Nous avons donc rédigé un résumé chronologique récapitulant les moments d'interactions construits depuis fin 2004, et ceci par groupe d'acteurs (Arvalis-Institut du Végétal, GIE Club des 5, GEVES) (voir en annexe). Nous cherchions ainsi avant tout à nous focaliser sur le « faire » du dispositif. Nous avons construit des guides d'entretien en deux temps, précédés d'une introduction.

- L'introduction visait à préciser que ces entretiens ne devaient pas porter sur l'outil DIAGVAR en lui-même mais sur la démarche, la méthodologie de travail et le dispositif mis en place pour avancer dans la conception de cet outil.
- Le premier temps visait à obtenir un retour réflexif sur la démarche de travail. Cette réflexivité était aussi une façon de mettre les partenaires en situation de se remémorer ce qui avait été fait au cours de la démarche, afin qu'ils puissent ensuite plus facilement réfléchir à ce qu'elle avait pu avoir comme conséquences sur leur activité. Ce temps était construit principalement autour de la lecture du résumé chronologique produit et de son commentaire.
- Le deuxième temps cherchait à capter les transformations créées par le processus dans leur activité par des questions directes (Qu'est-ce que ça a changé (1) pour vous ?, (2) dans votre façon de travailler ?, (3) dans votre façon de recueillir et d'analyser les données du réseau ?) en cherchant à chaque fois à faire expliciter le lien, lorsqu'il existait, entre le travail autour de DIAGVAR et les changements évoqués.

Ces deux temps étaient menés au cours d'un même entretien mais avaient été précédés par un court entretien téléphonique préparatoire, visant à cibler ce qui avait changé dans l'activité des acteurs depuis deux ans environ. Il ne s'agissait pas de relier ces éléments à l'outil, ni au travail fait ensemble. Cet entretien préalable avait pour but de fournir à l'interviewer de quoi rebondir si l'acteur ne rentrait pas facilement dans le deuxième temps de l'entretien.

Les entretiens (téléphoniques et directs) ont eu lieu entre février et avril 2007. Le guide d'entretien se trouve en annexe. Les entretiens directs ont été enregistrés et ont été transcrits intégralement.

2.2 Méthode d'analyse des changements cités au cours des entretiens

L'analyse des changements ressentis par les acteurs n'a été que partiellement réalisée, faute de temps. Nous avons utilisé, à l'heure actuelle, le système d'activité tel qu'il est décrit par Engeström (1987) (voir chapitre A). Nous avons ainsi essayé de repérer, dans le discours des acteurs, ce qui renvoyait à des changements :

- d'instruments utilisés pour accomplir l'activité d'évaluation,
- dans l'objet de cette activité d'évaluation,
- pour le sujet de l'activité, à savoir l'évaluateur de variétés
- dans les règles qui régissent l'activité,
- dans la division du travail,
- dans la communauté liée à l'activité.

Parcourir les entretiens en repérant les éléments relevant de chaque pôle du système d'activité nous permettait d'avoir une première relecture, assez systématique, des entretiens de la phase 4 et de structurer les changements évoqués par les acteurs, en utilisant un cadre pratique et solide. Nous sommes néanmoins consciente que ces entretiens nécessiteront un traitement plus fin en particulier pour mieux appréhender ce que le discours tenu à cette occasion nous révèle des processus de développement de l'activité tels qu'ils sont exprimés dans ce type d'entretiens. Le contenu de ces entretiens nous permet d'accéder à la façon dont les acteurs parlent de ce qui a changé, mais ne permet pas d'appréhender ce qui a réellement changé dans l'activité.

3. Produits

3.1 Les retours sur la méthodologie du travail

La question visant à recueillir les impressions des acteurs sur la méthodologie de travail était volontairement ouverte : « si vous deviez raconter cette démarche à une personne se lançant dans un projet aux enjeux similaires, que lui diriez-vous, à quoi faut-il être attentif, qu'est-ce qui a bien fonctionné et moins bien fonctionné ? ». Pourtant, certains éléments de réponse ont été mentionnés systématiquement dans les neuf entretiens des acteurs. Nous les présentons ci-dessous.

→ Définition des objectifs

Tous les acteurs interviewés ont insisté sur l'importance d'impliquer la hiérarchie et d'inscrire une telle démarche dans une stratégie : tous ont eu besoin que soit bien définie la place de ce projet dans la stratégie globale de l'organisme ou de l'entreprise. Les situations se sont avérées assez contrastées d'un groupe d'acteurs à l'autre : certains ont apprécié la transparence du positionnement de leur direction sur le sujet, d'autres au contraire ont regretté que leur hiérarchie se positionne mal ou peu sur le projet.

Un autre point récurrent dans leurs remarques sur le travail a concerné l'importance de bien clarifier et négocier les objectifs d'un tel travail dès le début du processus. Il faut « avoir une bonne vision de ce vers quoi on veut aller ». Faire croire que la finalité d'une telle démarche était d'aboutir à un outil opérationnel aurait pu créer des désillusions. Les acteurs ont tous dit que nous avions fait l'effort d'être claire sur ce point. Pour autant, pour certains, qui participaient également au projet FSOV (cf partie 1 de ce chapitre), « nous en avions promis un petit peu trop », ce qui a pu entraîner des déceptions ensuite. Le positionnement initial des entreprises permet sans doute de comprendre pourquoi certains acteurs ont pu rester en attente de plus d'opérationnalité. Le projet FSOV visait, lui, la production d'un outil opérationnel. Bien que nous ayons différencié le travail de la thèse de celui mené dans le projet FSOV en prenant le temps d'en discuter avec les acteurs, les deux projets étaient fortement intriqués. De plus, notre position avait d'abord été celle d'ingénieur dans le cadre du projet FSOV avant de devenir celle de doctorant. Il est alors facile de comprendre que les attentes de certains partenaires du projet FSOV aient gardé la trace de celles définies dans le projet FSOV. En revanche, contrairement aux obtenteurs, le GEVES souhaitait réfléchir sur ses méthodes de travail, en apprenant de la démarche et de ses produits. L'outil opérationnel n'était donc pas un but affiché. La position d'Arvalis Institut du Végétal était certainement intermédiaire. Participants au projet FSOV, ils restaient en attente en partie d'un outil opérationnel. Mais l'institut développe habituellement lui-même ses propres outils. Les attentes de l'institut visaient donc *a priori* davantage à établir une méthode efficace d'évaluation des variétés qu'ils auraient pu insérer ensuite dans un outil qui leur aurait été propre.

→ Le rythme des interactions

Avoir des interactions fréquentes entre chercheurs et utilisateurs a été unanimement cité comme un facteur important dans ce genre de travail. Dans notre cas, certains les ont jugées suffisantes, c'est notamment le cas des agents du GEVES. D'autres, notamment des sélectionneurs, pensent

que le travail aurait dû être encore plus suivi, ne serait-ce que pour entretenir la motivation des acteurs, pour s'assurer que l'outil reste dans leurs préoccupations et ne disparaisse pas de la quantité de choses qu'ils ont déjà à faire. Là encore, la façon de construire les cadres dans lesquels chercheurs et acteurs ont interagi peut expliquer une partie des différences. Inscrire le travail de la thèse dans le cadre du front méthodologique mené au GEVES était très favorable. Outre les réunions institutionnelles, les agents du GEVES étaient très demandeurs de rencontres et d'échanges, l'enjeu de ce front étant très important pour le GEVES. Les participants au projet FSOV étaient peut être moins impliqués dans le sens où, s'ils attendaient beaucoup de DIAGVAR, ils n'en avaient pas fait un enjeu stratégique à court terme.

Beaucoup des acteurs ont de toute façon fait l'autocritique de leur disponibilité, disant ne pas avoir libéré assez de temps pour creuser le prototype notamment (lors de la phase 2). Cela pose la question de savoir comment parfaire l'animation d'une telle démarche, d'autant que tous ont affirmé que la temporalité spécifique de l'activité d'évaluation n'était pas favorable. En effet, l'activité est très concentrée sur la fin de printemps et l'été, entre les visites d'essais, les récoltes et le traitement urgent des résultats pour préparer la campagne de semis suivante. Les évaluateurs ne sont quasiment pas disponibles entre les mois de mai et septembre-octobre. Les interactions sont alors nécessairement hachées dans l'année. Nombreux sont ceux qui ont affirmé que cela avait joué sur le processus : ils ont senti à plusieurs moments un vrai entraînement, une vraie dynamique autour du projet, qui retombait systématiquement, au moins en partie, durant la période estivale.

→ Relation au prototype

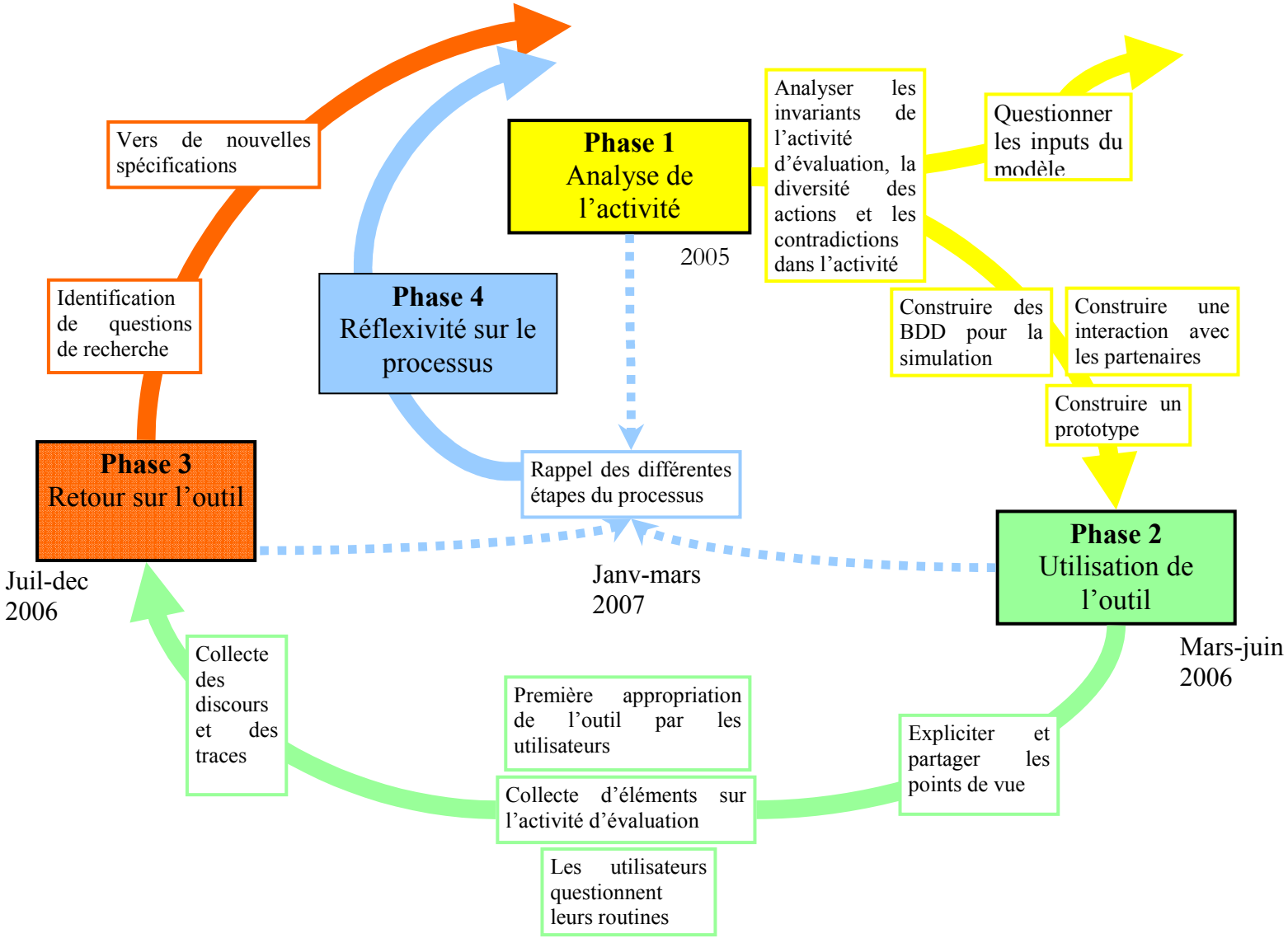
La façon qu'ont eue les acteurs de parler du prototype et de sa manipulation est très paradoxale. Tous ont fortement apprécié de pouvoir manipuler l'outil, de « le toucher » : c'est quelque chose qu'ils attendaient depuis longtemps souvent, qui était même parfois devenu un préalable indispensable pour qu'ils continuent à s'investir dans une collaboration avec les chercheurs. La phase d'utilisation du prototype a donc été très importante dans le processus, plusieurs acteurs en parlent comme d'un temps fort qui leur a permis de comprendre encore mieux le fonctionnement de l'outil et de pouvoir proposer des choses.

Pourtant, le prototype en lui-même a eu des effets pervers sur le processus et sur l'évaluation des acteurs : le temps de sa programmation, ses imperfections et dysfonctionnements, son adaptation seulement partielle à la diversité de leurs systèmes informatiques ont clairement été ressentis comme des freins au travail sur l'outil. Le développement informatique a parfois été jugé trop rapide dans le sens où des choix de programmation, d'interface, de souplesse ont été faits sans que les acteurs soient suffisamment consultés. Cela a pu entraîner des désillusions au moment de la phase d'utilisation où certains acteurs ont pu être découragés par les imperfections du prototype.

Il y a donc une tension forte autour du prototype qui s'est à la fois fait désirer tout en n'étant pas assez fini informatiquement.

→ Relation aux collectifs

Le travail en collectif a été ressenti comme un élément très positif et important à construire dans ce type de démarche. D'après les acteurs, le travail collectif a permis d'enrichir leurs relations


Phase 1
Analyse de l'activité
2005
Analyser les invariants de l'activité d'évaluation, la diversité des actions et les contradictions dans l'activité
Questionner les inputs du modèle
Construire des BDD pour la simulation
Construire une interaction avec les partenaires
Construire un prototype
Phase 2
Utilisation de l'outil
Mars-juin 2006
Expliciter et partager les points de vue
Collecte d'éléments sur l'activité d'évaluation
Première appropriation de l'outil par les utilisateurs
Les utilisateurs questionnent leurs routines
Collecte des discours et des traces
Phase 3
Retour sur l'outil
Juil-dec 2006
Identification de questions de recherche
Vers de nouvelles spécifications
Phase 4
Réflexivité sur le processus
Rappel des différentes étapes du processus
Janv-mars 2007

avec leurs collègues intra et inter (dans le cas du Club des 5) entreprise (ou organisme), de partager leurs vues sur des essais connus, d'avoir aussi une complémentarité d'avis et de réactions par rapport à l'outil qui enrichissait la compréhension et l'exploration de l'outil. Les aspects collectifs auraient même pu être encore plus développés pour deux acteurs qui soulignent qu'il aurait été encore plus intéressant de mener le travail avec les trois groupes (GIE, GEVES, Club des 5 ensemble) ensemble, tout au long de la démarche.

→ Une démarche qui se construit dans le temps

A travers les discours des acteurs se dessine une temporalité de projet qui marque l'importance (i) d'une première phase de présentation « théorique » de l'outil, (ii) de la seconde phase, d'utilisation pratique, (iii) de l'enchaînement aussi de ces deux temps qui permet de pénétrer « de plus en plus profondément dans la boite noire » de l'outil. Le temps pris au moment de la phase 2, pour débriefer notamment, a également été jugé important. Ces éléments permettent de mieux souligner le temps long dans lequel doit s'inscrire une démarche de ce genre.

Nous discuterons plus avant de ces éléments dans le chapitre E.

3.2 Les changements de l'activité d'évaluation variétale

Cette phase d'entretiens réflexifs nous a fourni un matériau abondant (2h à 2h30 d'entretiens par acteur) qui reste encore largement à traiter. Dans la plupart des cas, le changement discuté par les acteurs n'a pas été produit exclusivement grâce au travail autour de DIAGVAR : les changements s'inscrivent dans des dynamiques temporelles plus longues. Néanmoins, il est très intéressant de constater que chacun des pôles du système d'activité tels qu'ils ont été construits par Engeström semble avoir été impacté par le travail autour de DIAGVAR. Nous discuterons de ces changements et de leurs diversités d'un groupe d'acteurs à l'autre, voire d'un acteur à l'autre, dans une partie ultérieure.

V. Discussion : limites et cadrage de la démarche

1. Améliorer la démarche

Nous récapitulons ici l'ensemble des éléments méthodologiques qui nous ont semblé pouvoir être améliorés ou traités différemment, au regard de nos propres remarques et des remarques collectées auprès des acteurs dans la phase 4.

1.1 Phase 1

Les remarques des acteurs sur le prototype nous ont interrogée sur la façon d'améliorer sa programmation en phase 1. Jugé très utile au processus, le prototype présentait cependant des imperfections au niveau de son interface qui ont pu gêner les acteurs. L'exploration de l'outil a pu être limitée par une interface qui ne donnait pas accès à des éléments que les acteurs auraient pu vouloir contrôler, et le manque de convivialité de l'interface a pu conduire les acteurs à ne pas tenter de tester certaines combinaisons.
Il nous semble que cette tension est récurrente dans les démarches de conception utilisant des prototypes. Il s'agit de trouver le bon équilibre entre deux objectifs pourtant antinomiques : « s'appuyer sur un prototype pour mieux rentrer dans les besoins, les activités, les bases de données des acteurs » et « ne pas aller trop loin dans la programmation d'un prototype dont on sait qu'il va être déconstruit ». Il n'est donc pas évident de trouver une solution à ce paradoxe, sinon en disant que ce problème conforte le prototype dans le rôle d'élément central de la démarche. Aurait-il fallu interagir davantage avec les acteurs de l'évaluation pendant la phase de mise au point de l'interface ? Des interactions ont eu lieu, mais autour des données d'entrée et de leur formatage, davantage que sur les fonctionnalités de l'interface. Sans que cela soit trop consommateur de temps, nous aurions pu faire des réunions ponctuelles, au moins une par groupe d'acteurs, pour présenter la maquette de l'interface et débattre de ses points bloquants. Nous ne l'avons pas fait car la programmation de l'outil a pris beaucoup plus de temps que prévu au départ : planifiée sur deux mois, elle a en réalité duré plus d'un an. Lorsque nous en sommes arrivée à discuter de l'interface avec les prestataires s'occupant de la programmation, nous avions un besoin trop urgent du logiciel pour être ferme sur l'ensemble de nos demandes. Nous signalons ce fait car il nous paraît important d'être conscient des contraintes inhérentes à la programmation d'un prototype informatique.

Autre point de méthode : l'observation des acteurs en situation de travail. Nous avons argumenté sur les difficultés de mener une telle observation pour construire un modèle de l'activité d'évaluation. Mais une fois ce modèle établi et les temps forts de l'activité repérés, nous pensons qu'il aurait pu être intéressant d'enrichir notre modèle par l'observation de quelques-uns de ces temps forts. C'est ce que nous avons commencé à faire en allant observer la réunion du choix des essais au GEVES (le 7 septembre 2006). Cette réunion nous était apparue comme centrale dans l'évaluation du GEVES car elle vise à trier, parmi les essais du réseau d'évaluation, ceux qui seront effectivement conservés pour l'évaluation officielle. L'inscription des variétés au catalogue national se joue donc en grande partie à ce moment-là. Les critères de rejet d'un essai sont fixés et transparents. Il existe néanmoins une marge de négociation dans ces réunions qui rassemblent membres du GEVES, obtenteurs et experts scientifiques, notamment lorsque les critères définis

sont contradictoires ou à la limite des seuils définis comme rédhibitoires. Assister à cette réunion nous a permis d'y envisager l'utilisation de DIAGVAR, ce qui nous a conduite à interroger le modèle un peu différemment : quelle information pouvait-il donner par rapport aux essais litigieux ? Pouvait-il aider les participants à ces réunions à éclairer leur décision ? L'observation, qui devient possible malgré les caractéristiques de l'évaluation grâce à la structuration d'un premier modèle de l'activité, peut donc amener des informations complémentaires éclairantes par rapport à l'objectif de la démarche. C'est principalement le facteur temps qui nous a empêchée d'observer plus avant l'activité mais c'est une opportunité intéressante que de savoir exploiter le modèle de l'activité établi pour planifier des observations venant en complément.

Le dernier point qui était en débat dans la phase 1 concernait le travail simultané avec les trois groupes d'acteurs de l'évaluation. Nous avions fait initialement le choix de travailler simultanément avec des obtenteurs, le GEVES et Arvalis-Institut du Végétal car nous avions identifié que ces trois groupes travaillaient en interaction forte. Les problèmes de confidentialité nous ont conduite à travailler d'un côté avec les acteurs du GEVES et de l'autre avec les obtenteurs et Arvalis- Institut du Végétal. Le travail avec Arvalis- Institut du Végétal a même été relativement isolé du fait des difficultés à trouver des moments de travail commun avec les obtenteurs. Seules les différentes entreprises de sélection ont donc effectivement travaillé en commun. Pour autant, le fait que le processus se soit développé de façon parallèle chez les trois groupes d'acteurs a été apprécié par eux. Les acteurs d'Arvalis- Institut du Végétal et du GEVES, travaillant sur le même site, ont par exemple eu l'occasion de discuter du travail, de partager des difficultés, de parler d'échanges de données. De fait, même si le travail n'a pas été mené en commun, les acteurs ont jugé très important de savoir que leurs collègues étaient lancés dans le même processus. Ils nous ont souvent interrogée pour savoir « comment les autres réagissaient à ce problème, est-ce qu'ils avaient eu la même difficulté, … ». Nous pensons notamment que le fait que le GEVES se soit fortement mobilisé sur le projet a été important dans la motivation des autres acteurs. A posteriori, nous pensons que les réticences de travail en commun liées à un souhait de confidentialité auraient pu être en partie levées si nous avions posé notre volonté de travailler en grand groupe et si nous avions argumenté en ce sens. Il aurait par exemple pu être intéressant de proposer une réunion de débriefing général, à la fin de la phase 3, pour rassembler tous les acteurs et leur permettre ainsi de confronter leurs points de vue.

1.2 Phase 2

Notre principale difficulté méthodologique dans la phase 2 a concerné le suivi des simulations individuelles. Nous n'avions pas négocié la possibilité de les observer, et le système de fiches de suivi que nous avons proposé pour pallier les observations s'est avéré lourd et a donc été peu suivi. Revenons sur l'idée d'observer les simulations : est-ce réellement approprié à une action de manipulation de logiciel ? Davantage que la façon dont l'acteur navigue dans le logiciel, c'était son raisonnement au moment de choisir les essais à tester et au moment d'analyser les résultats de l'outil qui nous intéressait. Nos fiches avaient d'ailleurs la vocation d'aider les acteurs à structurer leur réflexion sur ces éléments en les questionnant sur les raisons les ayant poussés à tester telle combinaison d'essais et en les interrogeant sur les sorties qu'ils avaient consultées. Notre présence au moment des simulations individuelles aurait donc été bénéfique si nous l'avions utilisée pour demander aux utilisateurs de verbaliser leur raisonnement. Cela aurait également pu

nous permettre de sélectionner certaines des réactions des acteurs pour en débattre lors des réunions collectives de débriefing, à la fois dans l'idée de mieux animer les réunions collectives et de commencer à réfléchir à ce qui était vraiment questionné dans le modèle. Sur le plan de l'animation, bien que n'ayons pas pu préparer les réunions collectives par rapport à la période d'utilisation individuelle, ces réunions collectives ont bien fonctionné : les acteurs ont largement discuté autour des résultats de l'outil et des simulations des uns et des autres. Le manque de suivi des simulations individuelles ne nous semble pas dommageable sur ce point. En revanche, il est vrai que nous aurions pu peut-être aller plus loin dans nos questionnements aux acteurs pendant les réunions collectives si nous avions eu l'occasion de découvrir leurs réactions et leurs questions un peu avant les réunions. Les fiches auraient pu remplir ce rôle si elles nous avaient été envoyées avant, comme convenu à l'origine. Il aurait peut-être fallu que nous soyons plus ferme sur l'utilisation de ces fiches, mais il faut reconnaître que leur remplissage était trop répétitif. Nous gardons donc l'idée que des fiches pourraient aider à suivre le processus mais leur conception doit être repensée.

1.3 Phase 3

C'est essentiellement le manque de retour vers les acteurs qui nous semble devoir être discuté. Suite aux discussions entre agronomes, une liste de questions ainsi qu'une hiérarchie de ces questions ont été établies. Certaines des questions ont de plus été traitées. Nous pensons que les acteurs auraient pu être associés de façon à :

- Discuter autour de la façon dont les questions avaient été formulées. Il ne s'agit pas de nier la compétence des agronomes à formuler leurs propres questions scientifiques mais davantage de proposer une instance de débat pour établir si les interrogations des acteurs avaient été bien retranscrites de façon à y apporter des réponses par le travail agronomique qui serait conduit..
- Valider la hiérarchie des questions à traiter : là encore, il ne s'agit pas de substituer l'avis des acteurs à celui des agronomes quant à leur capacité à traiter des questions dans le temps imparti. Mais cette discussion aurait peut-être permis de trancher quant à certaines hésitations des agronomes à renvoyer les questions aux pratiques des acteurs.
- Discuter des résultats produits sur les questions traitées. Les deux questions que nous avons traitées, sur l'indicateur azote et la stabilité des méthodes statistiques, ont comporté des hypothèses qu'il aurait été intéressant de valider auprès des acteurs. Sans rentrer précisément dans les détails puisqu'ils seront abordés dans le chapitre suivant, certaines de ces hypothèses renvoyaient de fait en premier lieu à l'activité des acteurs. Pour l'indicateur azote, nous avons par exemple fait l'hypothèse à un moment du travail que les essais conduits de façon intensive n'étaient pas soumis à des stress azotés. Pour le travail sur la stabilité des méthodes, nous avons été amenée à retravailler la liste des indicateurs des facteurs limitants. Ces éléments auraient certainement beaucoup intéressé les acteurs de l'évaluation et auraient pu nous guider pour mettre en œuvre ces hypothèses, les infirmer ou les confirmer en partie.

C'est largement un problème de temps qui nous a contrainte à ne pas faire ce retour, qui avait été envisagé à l'origine. Cela nous a conduite à devoir arbitrer entre la réalisation de la phase 4 et ce

retour aux acteurs. Mais il nous apparaît clairement qu'il aurait été important et qu'il aurait constitué un moment d'interaction supplémentaire avec les acteurs, répondant en outre au souhait des acteurs de l'évaluation de multiplier ces interactions et d'être proactifs dans le processus.

1.4 Phase 4

Symétriquement à ce dont nous avons discuté pour la phase 3, la phase 4 aurait mérité d'être menée en parallèle avec les agronomes, de les interroger sur leur ressenti par rapport à la démarche et les changements dans leur activité qu'ils reliaient à ce travail. La difficulté consiste à trouver la bonne personne pour le faire. Quand nous parlons des agronomes, nous parlons de L.Prost et de MH Jeuffroy principalement (quoiqu'il aurait pu être intéressant d'inclure C. Lecomte dans ce travail). J'aurais pu envisager d'interroger MH.Jeuffroy mais quid de mes propres réflexions ? M. Cerf aurait pu faire ces entretiens mais ils auraient nécessairement été biaisés dans le sens où nous avions beaucoup interagi autour de la conception du guide d'entretiens de la phase 4 et de l'ensemble de la démarche en général. Le problème n'est donc pas si facile à résoudre et renvoie beaucoup à la position particulière que j'ai pu occuper dans cette thèse, positions simultanées d'agronome, de concepteur de la démarche mais aussi de l'outil en partie, et d'ergonome. En réalité, pour réfléchir à ces points, nous avons finalement essayé de prendre une position réflexive par rapport à notre propre activité d'agronomes. Nous reviendrons sur ce point dans la discussion finale.

2. Importance du cadrage

Nous avons trouvé utile de récapituler ici les éléments ayant contribué à cadrer notre travail, afin de remettre la démarche que nous proposons dans son contexte de réalisation.

La mise en place de la démarche a tout d'abord été contrainte par la spécificité du temps de la thèse. Cela nous a conduite à faire des choix dans le nombre et l'intensité des interactions avec les acteurs de l'évaluation. Or certaines des interactions que nous avons choisies de ne pas réaliser se seraient certainement avérées très utiles comme nous venons de l'évoquer à propos des phases 3 et 4 du travail.
Si le format de la thèse a pu nous limiter dans le développement de la démarche, elle a néanmoins eu le mérite de nous maintenir, parfois de force, dans la tension entre science et ingénierie. Il aurait pu en effet être facile d'adopter un point de vue totalement ingénierique à certains moments de la démarche, en passant énormément de temps à résoudre des problèmes d'interfaçage par exemple ou en se concentrant davantage sur les problèmes pratiques évoqués par les acteurs. Nous mentionnons ce fait ici car c'est une tentation dont les chercheurs s'attelant à des problématiques de production d'outils doivent être conscients.

Autre spécificité forte dans laquelle notre démarche a dû s'inscrire, celle des conditions du partenariat avec les acteurs de l'évaluation variétale. Nous avons essayé de bien expliquer comment notre travail s'inscrivait dans des dynamiques propres aux entreprises et

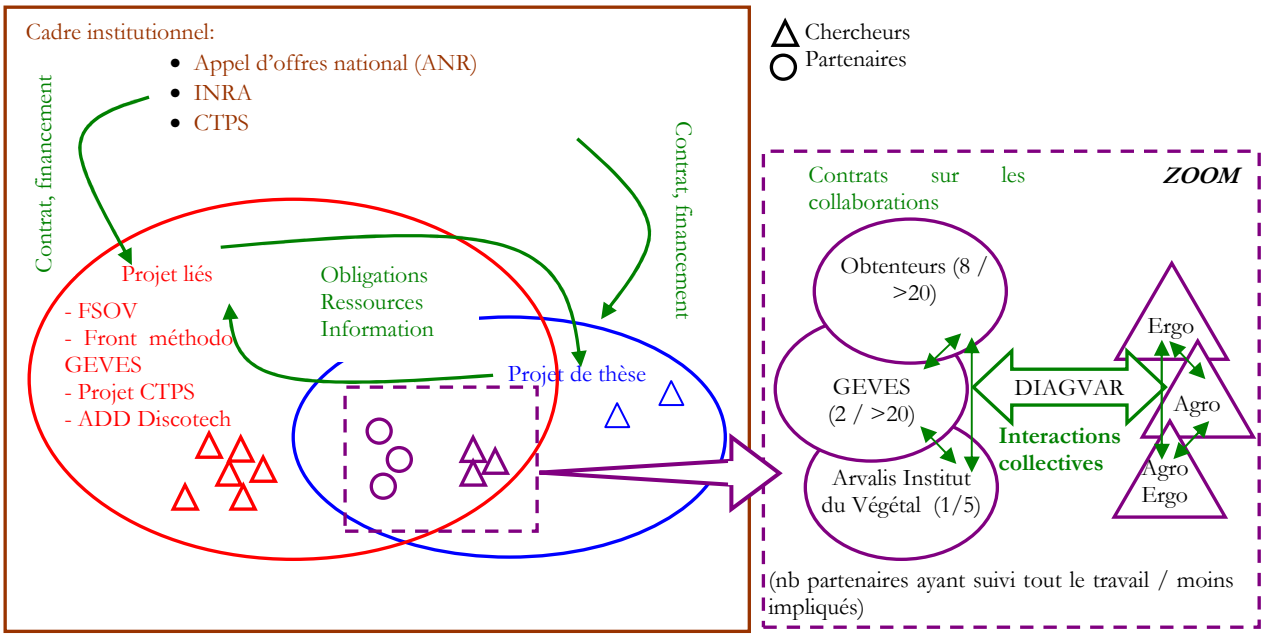


Figure B–5 : organisation des différents scènes de travail avec les acteurs de l'évaluation

organismes avec lesquels nous avons travaillé, mais aussi dans des projets de partenariat spécifiques selon ces entreprises et organismes. Nous avons récapitulé ces dynamiques dans la figure B-5. La combinaison de ces différents projets a certainement compliqué la négociation des formes d'interaction avec les acteurs de l'évaluation parce que les interactions étaient en partie définies dans les différents contrats accompagnant les projets. D'autre part, les interactions ont été plus ou moins fortes avec les acteurs aussi en rapport avec l'existence de ces projets. Le GEVES par exemple a une très forte attente quant aux résultats des fronts méthodologiques qui ont été lancés. Les partenaires du GEVES ont donc été d'autant plus actifs dans la thèse, d'autant plus en attente et en demande que le travail de la thèse leur permettait de produire sur ces fronts. Ces éléments sont conjoncturels et peu contrôlables mais il nous a semblé nécessaire d'en faire au moins état.

C. Exploration de questions agronomiques à l'interface entre le modèle DIAGVAR et l'activité des utilisateurs

Ce chapitre vise à analyser les résultats de la démarche mise en place du point de vue de l'activité des agronomes : comment les agronomes ont-ils fait évolué l'outil DIAGVAR et leur façon d'envisager le modèle sous-jacent, comment ont-ils alimenté leurs questionnements scientifiques à partir du processus de travail autour de DIAGVAR ? Nous avons structuré ce chapitre en quatre parties. La première recense les questions agronomiques que les agronomes ont identifiées dans le cours du processus, les parties II et III détailleront comment deux de ces questions ont été prises en charge (les questions exposées dans les paragraphes I.1.1.3 et I.2.5). Dans une quatrième partie, nous proposons une conceptualisation de l'espace de production de connaissances dans lequel nous nous positionnons dans le cadre de notre travail de production d'outil.

I. Des questions agronomiques concernant le diagnostic agronomique et la modélisation

Beaucoup de questions présentant un intérêt scientifique sont apparues dans le champ de l'agronomie ou dans des champs proches, lors des phases 1 (phase d'entretiens) et 2 (phase de première utilisation du prototype). Ces questions peuvent être regroupées autour de deux pôles de connaissances : celui du diagnostic agronomique et celui de la modélisation des phénomènes biologiques. Nous les présentons à la fois pour illustrer la diversité des questions soulevées, et pour mettre en débat la façon dont elles peuvent être traitées.

1. Questionnement d'éléments du diagnostic agronomique

1.1 Quelles données d'entrée pour satisfaire aux exigences du diagnostic et respecter les pratiques expérimentales des acteurs ?

Les questions recensées dans ce paragraphe ont principalement émergé des discours que les acteurs de l'évaluation ont tenu en confrontant DIAGVAR à leurs pratiques expérimentales. Sur l'ensemble des données d'entrée nécessaires, trois éléments sont mis en avant comme éventuelle source d'erreurs dans l'interprétation ultérieure.

1.1.1 Problème des notations maladies

Nous avons évoqué, dans le chapitre B, le problème lié à l'estimation de l'effet des maladies sur le rendement lorsqu'on ne dispose que d'une note sur l'ensemble du cycle et que cette note est relevée par les expérimentateurs à des stades de développement qui sont le plus souvent non homogènes d'une variété à l'autre ou d'un essai à l'autre. Pour résoudre cette questions, la piste explorée a été de coupler ces notes ponctuelles à des modèles simulant la dynamique d'évolution des maladies afin d'homogénéiser les données renseignant sur les maladies et ainsi parfaire le diagnostic de leurs effets (post-doc de M.Carof en cours).

Il nous semble que les difficultés concernant l'estimation de l'effet des maladies renvoient également à la façon dont sont notées les maladies. Les expérimentateurs attribuent une note de 1 à 9 en fonction de l'attaque des maladies sur les organes cibles (tige, feuille, épi).

Note	Plantes affectées	Surface foliaire attaquée ou % d'épis attaqués ou % de tiges attaquées
1	Absence de dégât	
2	Traces	
3	25 %	10 %
4	50 %	25 %
5	100 %	50 %
6	100 %	60 %
7	100 %	75 %
8	100 %	90 %
9	Maximum possible	

Tableau C-1 : Maladies et gel foliaire, extrait du protocole d'expérimentation du GEVES pour les céréales à paille : échelle de notation visuelle (GEVES, 2007)

Chaque note renvoie à une gamme de pourcentage de plantes attaquées dans la parcelle et à une gamme de pourcentage de l'organe cible affecté par la maladie. La note résulte donc en théorie du produit de ces deux composantes. Par exemple, une note de 3 correspond à 10% de surface foliaire attaquée ou 10% des épis ou des tiges attaquées, sur environ 25% des plantes de la parcelle (tableau C-1).

Dans la pratique, les expérimentateurs n'établissent quasiment jamais les notes maladies par le produit du nombre de plantes malades par la surface foliaire nécrosée (ou le nombre d'épis, ou le nombre de tiges). Ils estiment une note globale (Jeuffroy et al., 2007) qui constitue l'indicateur de facteur limitant dans DIAGVAR : la note subit simplement une transformation linéaire pour s'inscrire dans une échelle allant de 0 à 10. C'est cette note (son équivalent sur l'échelle de 0 à 10) qui joue le rôle de variable potentiellement explicative des pertes de rendement. Cela implique qu'elle est considérée comme une variable quantitative et représentative de l'attaque des maladies. Or des discussions avec les divers groupes d'acteurs, notamment au GEVES et à Arvalis, ont battu en brèche cette affirmation. Arvalis notamment n'utilise pas cette échelle de 0 à 9, jugée trop imprécise. Les acteurs du GEVES sont également conscients de cette imprécision : « Cette méthode, assez peu précise certes, permet néanmoins de décrire rapidement et sans faire de mesure le comportement d'une variété en étude. » (GEVES, 2006a*)*. Le caractère linéaire de ces notes est clairement contesté, y compris par le GEVES : les différences entre deux notes successives sur l'échelle de 1 à 9 peuvent représenter des écarts plus ou moins importants d'attaque. Les responsables GEVES demandent par exemple à leurs expérimentateurs de faire une séparation nette entre les notes d'attaque inférieures ou égales à 4 et celles supérieures ou égales à 6 afin de bien distinguer variétés résistantes et sensibles. Il y a donc une différence plus importante entre ces notes de 4 et 6 qu'entre les notes extrêmes. (Jeuffroy et al., 2007). Le GEVES a également démontré que ces notes étaient dépendantes d'un effet « expérimentateur » : le classement des attaques sur les différentes variétés est conservé mais certains expérimentateurs les notent plus sévèrement que d'autres, décalant ainsi l'échelle de notation vers le haut (Jeuffroy et al., ibid.). Nous nous trouvons donc dans une situation où les indicateurs de facteurs limitants, choisis pour être corrélés aux pertes de rendement, ne remplissent pas les conditions de linéarité et de continuité prérequises.

Les agronomes manquent de solutions sur ce problème de la notation des maladies, problème pourtant crucial quant à la possibilité de simuler suffisamment précisément leur effet. Il s'agit à la fois de trouver une méthode d'évaluation des attaques des maladies, ce qui renvoie à la pratique des expérimentateurs, et de trouver un bon indicateur de l'effet des maladies sur le rendement, ce qui renvoie par exemple à des études de nuisibilité (aujourd'hui relativement rares en écophysiologie), ou au couplage avec des modèles de cinétique des maladies. Pour les méthodes d'évaluation des attaques de maladies, les agronomes encouragent par exemple les expérimentateurs à revenir aux prélèvements de quelques feuilles (ou des organes cibles) pour réaliser des notations précises des surfaces (ou nombre d'organes cibles) touchées par les pathogènes. Mais de nombreux travaux sont en cours pour essayer de trouver d'autres types de réponses à ce problème d'actualité, à l'heure où les questions de protection intégrée des cultures sont mises en avant.

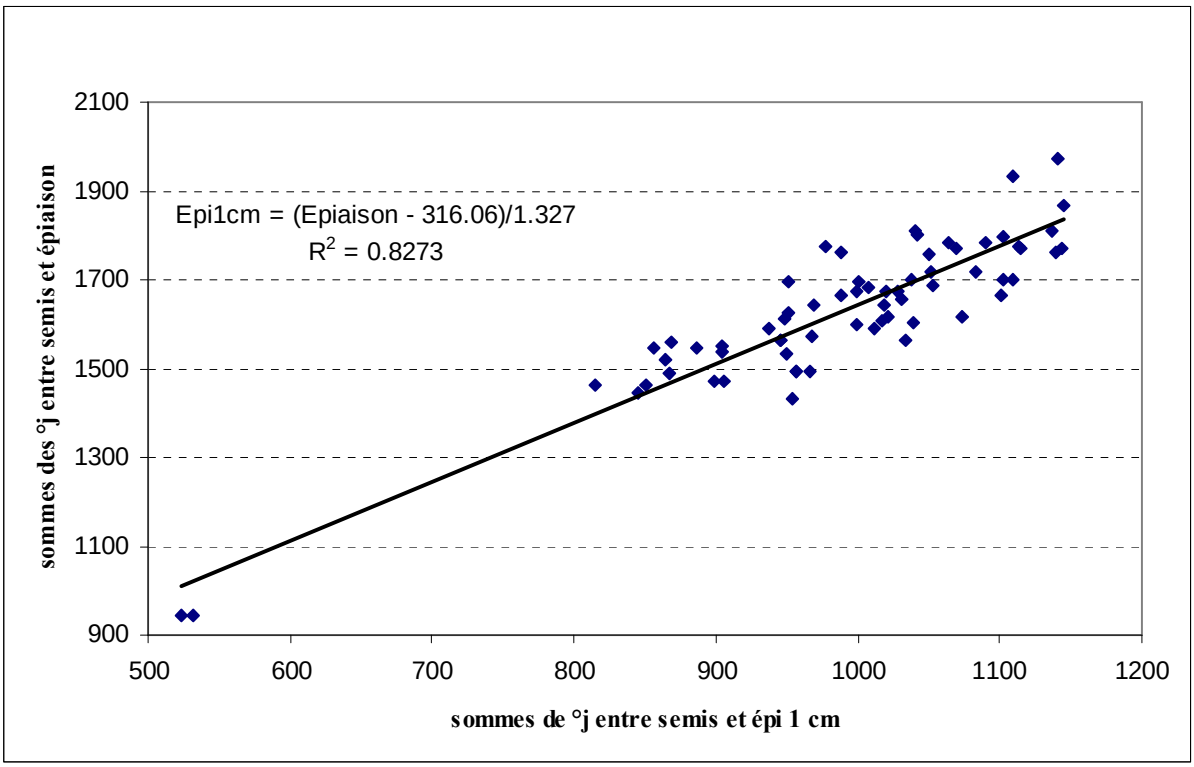


Figure C-1 : relation entre les sommes de température des stades épi 1 cm et épiaison

1.1.2 Problème de la mesure du stade Epi 1 cm

L'identification de la date de réalisation du stade épi 1 cm n'est pas très fréquente chez les acteurs de l'évaluation, la mesure étant jugée fastidieuse. C'est pourtant une donnée importante dans le diagnostic car elle permet de repérer un stade critique dans le développement de la plante. Ce stade est par exemple utilisé pour caler le 2ème apport d'azote, pour positionner l'application du régulateur de croissance contre la verse, pour marquer le début de la période de forte sensibilité au gel d'épi, etc. Elle paraissait ne pas pouvoir être mesurée en routine chez les acteurs (GEVES et membres du GIE Club des 5 surtout). Nous avons donc proposé de l'estimer *a posteriori* à partir du stade épiaison. Nous avons étudié les corrélations entre les sommes de température depuis semis jusqu'à chacun de ces deux stades, sur 5 variétés (Isengrain, Trémie, Oratorio, Soissons, CampRémy) et 26 combinaisons lieux-années issues du réseau « variétés rustiques » et du réseau « stabilité ». Nous avons constaté que les deux sommes de températures étaient étroitement corrélées (R^2=82.7%, figure C-1), la relation étant :

$$(somme\ T°\ épi\ 1\ cm = (somme\ T°\ épiaison\ - 316.06)/1.327).$$

Cette relation permet de décrire les sommes de température au stade épi 1 cm à partir de celles du stade épiaison avec une erreur moyenne de prédiction de 53 degrés-jours (soit environ trois jours d'imprécision à l'époque où se situe en général ce stade). Nous avons donc proposé aux acteurs ne pouvant mesurer le stade épi 1 cm d'utiliser cette relation pour l'estimer à partir de l'épiaison. La solution n'a pas semblé complètement satisfaisante aux membres du GIE qui remettaient en cause l'existence d'une relation stable d'une année à l'autre. D'après leurs observations, la spécificité d'une année est très importante dans le développement de la plante et notamment dans la façon dont les stades se succèdent. Pour eux, si le lien entre les stades épi 1 cm et épiaison est stable une année donnée (par exemple, si l'écart entre les deux stades est très important dans un lieu, une année donnée, il y a de fortes probabilités que cet écart soit également important sur l'ensemble des lieux la même année), ils peuvent changer fortement d'une année à l'autre. Les acteurs pensaient donc que ce point méritait d'être davantage creusé, en essayant de caractériser la variabilité inter-annuelle. Ils ont fait également d'autres propositions pour extrapoler chaque année la relation en fonction d'une relation type qui aurait été établie sur les quelques sites où ils peuvent suivre très précisément les stades de développement de leurs plantes (sur leurs lieux propres notamment). Dans la base de données que nous avons exploré (qui comportait 3 années), nous n'avons pas rencontré ce problème de variabilité inter-annuelle forte. Cependant, il serait nécessaire d'évaluer cette relation sur une gamme plus large de sites x années pour garantir sa stabilité, ou introduire un facteur explicatif de sa variabilité : ceci ne devrait pas être trop difficile étant donné la multitude de données existant sur les dates de ces deux stades.

1.1.3 Problème de l'indicateur du statut azoté des cultures

Parmi les données contraignantes à collecter pour les acteurs de l'évaluation, l'INN (indice de nutrition azotée) s'est avéré particulièrement peu adapté aux pratiques des acteurs. Cet indicateur de la nutrition azotée, établi sur les génotypes révélateurs, nécessite en effet un prélèvement de plantes, sur une surface donnée précise et connue, au stade floraison, puis le séchage de ces échantillons, leur pesée, leur broyage et une analyse de leur contenu en azote.

Le chlorophylle-mètre est un appareil qui permet d'estimer la teneur en chlorophylle d'une partie du végétal (en général la feuille), celle-ci étant généralement étroitement liée à sa teneur en azote. Le principe est le suivant : la lumière émise à une longueur d'onde de 650 nm est absorbée par la chlorophylle. A 940 nm (infra-rouge), la lumière est essentiellement transmise, la part absorbée étant retenue par les parois des cellules et l'eau. Ainsi, le rapport entre ces deux longueurs d'onde permet de déterminer la teneur en chlorophylle de l'organe. En pratique, l'appareil est muni d'une pince dont chaque bras renferme une cellule : l'une est une diode électroluminescente qui émet aux longueurs d'onde de 650 nm et 940 nm, l'autre est un capteur recueillant la lumière transmise au travers de l'échantillon. Cette dernière est transformée en signal analogique amplifié, converti en signal digital puis en indice chlorophyllométrique dont l'échelle de mesure varie selon les appareils (de 20 à 70 pour le SPAD).

Cadre C-1 : fonctionnement des chlorophylle-mètres

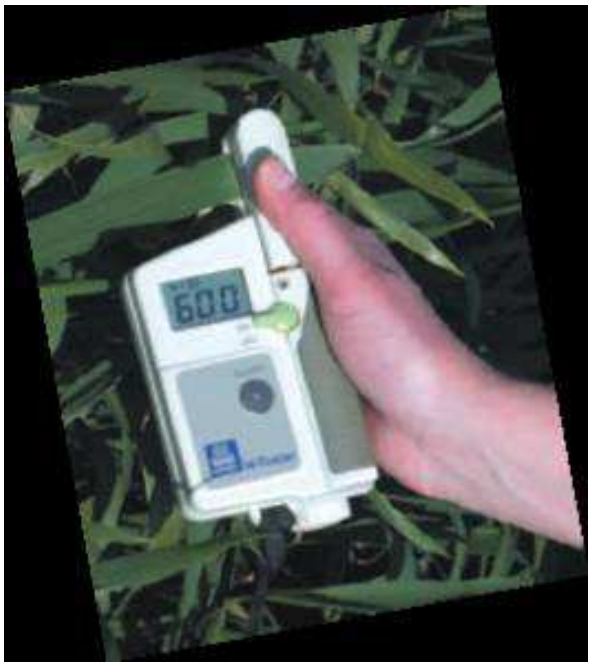


Figure C-2 : chlorophylle-mètre (© Yara)

Pour autant, les acteurs étaient intéressés par l'information apportée par cet indicateur : il leur semble en effet stratégique de mieux connaître le comportement de leurs variétés face aux stress azotés. Nous avons donc cherché un indicateur du statut azoté des variétés testées mieux adapté aux acteurs. L'idée est apparue assez tôt de remplacer la mesure de l'indice de nutrition azotée par des mesures indirectes obtenues au moyen d'un chlorophylle-mètre (type SPAD ou N-Tester, les deux appareils donnant des résultats très fortement corrélés). Ces appareils (Cadre C-1 et figure C-2), appelés également pinces à chlorophylle, sont basés sur une mesure de la transmittance des feuilles et permettent ainsi d'estimer la teneur en chlorophylle, fortement corrélée au taux d'azote dans les feuilles. Les mesures sont non destructives et rapides à effectuer.

Nous présentons dans la partie II de ce chapitre comment nous avons étudié la possibilité de remplacer la mesure des INN par des mesures effectuées au moyen de chlorophylle-mètres et en quoi ces dernières sont plus compatibles avec les pratiques expérimentales des acteurs.

1.2 Quels indicateurs choisir pour décrire les facteurs limitants ?

Plusieurs questions des acteurs concernaient la définition des indicateurs des facteurs limitants (FL), portant à la fois sur les choix que nous avions faits de représenter certains FL et pas d'autres, mais aussi sur la pertinence des indicateurs utilisés pour décrire l'effet d'un facteur limitant.

D'une part, la gamme des FL pris en compte dans l'outil n'est pas exhaustive. Certains FL, observés par les acteurs (comme les mauvaises herbes et les pucerons) ne sont pas considérés dans l'outil, faute de disposer d'un indicateur pertinent dans la littérature. Or, dans certains essais, ces FL ont été observés par les acteurs qui ont exprimé le souhait (en phase 1 notamment) de pouvoir rajouter certains facteurs limitants à la gamme proposée. Rajouter de tels facteurs limitants nécessite de définir un indicateur et une gamme de valeurs de l'indicateur dans laquelle ces FL sont effectivement limitants. Cela renvoie des questions vers les agronomes et les écophysiologistes pour quantifier l'intensité des facteurs limitants à l'aide de variables faciles d'accès, susceptibles de devenir des indicateurs de diagnostic. Concernant les mauvaises herbes, par exemple, des travaux sont en cours (thèse de M.Casagrande, collaboration UMR Agronomie INRA-AgroParisTech et ISARA) pour définir des indicateurs d'infestation de mauvaises herbes représentatifs de leur effet sur le rendement dans le cas de blés cultivés dans le cadre du cahier des charges de l'agriculture biologique.

D'autre part, certains indicateurs de facteurs limitants ont été remis en question. C'est par exemple le cas du critère xeauhv, représentant les problèmes d'excès d'eau hivernal, discuté en particulier lors des réunions avec le GEVES. Ce critère est ressorti systématiquement comme significatif, quel que soit le jeu de données GEVES testé. Les acteurs ont contesté l'existence systématique de ce facteur limitant dans leurs essais. En effet, c'est un facteur qui est bien repéré et signalé par les expérimentateurs présents sur les essais et ce facteur limitant n'avait quasiment jamais été signalé sur les essais testés dans DIAGVAR. Compte tenu de la méthode statistique utilisée pour le diagnostic (évoquée précédemment), nous avons supposé que ce facteur pouvait en masquer un autre auquel il aurait été en partie corrélé mais cette hypothèse n'a pu être vérifiée : le retrait de ce facteur limitant de la régression n'a pas fait systématiquement apparaître d'autres facteurs limitants.

A travers ces remarques, c'est le choix de l'indicateur qui représente l'effet du facteur limitant sur le rendement qui est remis en question. La résolution de ces difficultés passe, comme dans le cas précédent, par un retour à l'écophysiologie pour trouver de nouvelles façons de représenter l'effet des FL.

1.3 Faut-il conserver des génotypes révélateurs ?

Beaucoup de questions des acteurs ont concerné les génotypes révélateurs : comment les choisir pour être sûr de couvrir la gamme des facteurs limitants du milieu sur une gamme de précocité suffisante ? Combien en choisir au minimum ? Comment être sûr de leur complémentarité ? Comment faire si un facteur limitant n'était pas couvert par un des génotypes révélateurs ? etc.

Il n'y a pas de réponses évidentes à ces questions : on ne pourra jamais être sûr d'avoir couvert toute la gamme des sensibilités possibles avec quelques variétés, même bien choisies. Idéalement, il faudrait avoir une variété sensible à chaque facteur limitant possible (et même prendre en compte le fait qu'on peut avoir plusieurs souches pour une même maladie et donc avoir une variété sensible à chaque souche de maladies). Cependant, même dans ce cas, on ne se prémunit pas complètement des problèmes de confusion d'effets qui peuvent se poser. Par exemple, si une variété est fortement touchée par une maladie foliaire, il sera difficile de détecter sur ses feuilles déjà fortement nécrosées la présence d'une seconde maladie (qui pourra cependant avoir été présente). Deux solutions peuvent être envisagées, la seconde étant une généralisation de la première :

- La première solution possible consisterait à pouvoir introduire des facteurs limitants que l'expérimentateur aurait repérés sur des variétés autres que les génotypes révélateurs. Il s'agit en fait de relever les indicateurs de facteurs limitants ayant une valeur importante, témoignant que le facteur limitant était présent dans l'essai (même si cela ne présage pas de son effet sur le rendement). Par exemple si un problème de verse a touché une ou plusieurs variétés, mais aucun des génotypes révélateurs, nous pourrions nous donner la possibilité de forcer l'entrée de la covariable correspondant à ce facteur limitant dans l'étape de caractérisation des variétés (étape 3 de la méthode) pour que les résistances des variétés à la verse puissent être évaluées. De fait, ce sont les valeurs des indicateurs (valeurs de 0 à 10 établies dans l'étape 1) qui sont introduites dans l'étape 3 de DIAGVAR et non les poids estimés par l'étape 2. Il est donc assez facile d'imaginer introduire ces valeurs directement dans l'étape 3.
- En poussant ce raisonnement à l'extrême, la seconde solution pourrait être de supprimer complètement les génotypes révélateurs et de se servir des indicateurs de facteurs limitants estimés sur l'ensemble des variétés. Cette solution pourrait résoudre la difficile question du renouvellement des génotypes révélateurs, et de la collecte de références sur ces variétés pour en caractériser le rendement potentiel.

Ces deux solutions posent très nettement des problèmes. Tel qu'il est programmé, le diagnostic des facteurs limitants du milieu, préalable à l'étape de caractérisation des variétés, fonctionne à partir d'indicateurs de facteurs limitants calés sur des phases de développement et issus de l'observation. Demander le relevé des indicateurs de facteurs limitants sur l'ensemble des variétés, et plus uniquement sur les génotypes révélateurs seuls, ne conduirait pas nécessairement à

alourdir le protocole des mesures. En effet, au fur et à mesure des allègements du protocole et de la liste d'indicateurs que nous avons faits, ces notations ne diffèrent plus tellement des notations effectuées en routine par les différents acteurs de l'évaluation ou de celles qu'ils sont prêts à faire. Sont nécessaires dans DIAGVAR des données météorologiques d'un lieu, quelques données sur le sol de la parcelle, des rendements, des notations maladies, des indicateurs de l'état de nutrition azotée et des notations de stade. Parmi l'ensemble de ces mesures, deux pourraient être problématiques si elles devaient être faites sur chaque variété : le suivi du stade épi 1 cm et la mesure des INN. Or nous proposons une relation permettant d'estimer la date du stade épi 1 cm à partir du stade épiaison (noté en routine sur l'ensemble des variétés) et nous proposons de remplacer l'INN par une mesure rapide et non destructive obtenue avec un chlorophylle-mètre aux alentours de l'épiaison. Il semble donc que l'on puisse collecter les informations et observations nécessaires sur l'ensemble des variétés sans que cela n'entraîne de travail supplémentaire dans les expérimentations.

Le diagnostic des facteurs limitants se fonde également sur les écarts entre rendements observés et rendement potentiel pour une variété donnée. Sans génotype révélateur, comment disposer de rendements de référence nécessaires au calcul des pertes de rendement ? Outre les génotypes révélateurs, les variétés qui sont testées dans ces essais sont de nouvelles variétés, sur lesquelles on ne dispose justement pas de références bien établies en termes de rendement « potentiel ». Il faudrait donc revenir à un diagnostic établi sur la base de l'analyse du rendement direct et non pas des pertes de rendement. Le problème consisterait alors à savoir combiner les informations produites sur les différentes variétés qui peuvent avoir des rendements très différents pour obtenir un diagnostic global des facteurs limitants du milieu.

Une autre solution possible, pour éviter tout problème lié à la suppression des génotypes révélateurs, serait de laisser de côté le diagnostic des facteurs limitants (étape 2 de la méthode) pour aller directement à la caractérisation des variétés (étape 3) en forçant l'entrée des facteurs limitants détectés sur l'ensemble des variétés dans la régression factorielle qui permet d'estimer les résistances des variétés aux différents facteurs limitants (c'est-à-dire en prenant la main pour introduire les facteurs limitants dans la régression factorielle). Cela est faisable dans l'outil puisque les facteurs limitants sont représentés, dans la régression factorielle, par la valeur de 0 à 10 de leur indicateur, établie dans l'étape 1 de DIAGVAR. On retombe alors dans des travaux déjà proposés (e.g. Voltas et al., 2005) que C. Lecomte avait critiqués ayant montré qu'ils manquaient de validité agronomique, raison pour laquelle il avait fait précéder cette étape d'une étape de caractérisation des milieux fondée sur un diagnostic des facteurs limitants du milieu (Lecomte, 2005). Nous renvoyons à la thèse de C. Lecomte pour une discussion sur la nécessité des génotypes révélateurs (Lecomte, ibid.).

Si DIAGVAR, tel qu'il fonctionne actuellement, peut s'alimenter de données disponibles en routine sur l'ensemble des variétés présentes dans les essais, résolvant ainsi un des problèmes qui justifiaient de l'existence des génotypes révélateurs, nous voyons donc que de nombreux problèmes subsistent dans l'hypothèse d'une élimination des génotypes révélateurs de la méthode. Cela reste néanmoins une piste intéressante à travailler pour répondre aux contraintes de réalisation des expérimentations telles qu'elles s'expriment aujourd'hui.

2. Questionnement sur la façon de modéliser des phénomènes biologiques et son évaluation

Le travail, notamment celui réalisé pendant les phases 2 et 3 du processus, a permis l'émergence de questions relatives aux concepts et formalismes du modèle implémenté dans l'outil DIAGVAR.

2.1 Comment mieux quantifier les relations entre facteurs limitants (FL) et perte de rendement

Dans le paragraphe précédent, nous avons identifié des questions sur la nature des indicateurs de FL (par exemple, est-il judicieux de représenter les problèmes d'excès d'eau hivernal par une somme des excédents P-ETP sur la période hivernale). Mais le problème de la définition des indicateurs de facteurs limitants renvoie également à des interrogations sur la gamme de variation et les seuils d'action déterminés pour ces FL, ainsi que leur mode d'action sur le rendement. Dans la méthode, c'est l'hypothèse d'un effet linéaire des indicateurs sur une perte de rendement qui fonde le recours à une régression multiple stepwise. Les indicateurs ont donc été définis de façon à respecter le plus possible cette hypothèse. Cela implique notamment que des seuils ont dû être choisis à partir desquels le facteur devient limitant, et éventuellement à partir desquels il ne l'est plus. La détermination de ces seuils s'est avérée très compliquée, pour les facteurs limitants d'origine climatique surtout, faute d'information suffisamment précise dans la bibliographie : par exemple, à partir de quel niveau une somme de rayonnements sur une période donnée devient-elle trop faible et limite-t-elle effectivement le rendement ? Or une mauvaise estimation de ces seuils peut avoir une conséquence très importante dans le diagnostic agronomique : cela peut affaiblir les possibilités de détecter, via une régression linéaire, un effet du facteur limitant. Nous nous trouvons donc en face de nombreuses questions d'écophysiologie : « quel indicateur choisir pour un facteur limitant donné et comment s'exprime son effet sur le rendement ?» pour des facteurs limitants aussi variés que ceux concernant les déficits et excès de rayonnements, de précipitations, de températures, sur des phases parfois très précises (notamment autour de la méiose). Outre le renvoi à l'écophysiologie, une approche statistique pourrait être intéressante. Il s'agirait de parvenir à fixer des relations quantitatives entre chaque indicateur de facteur limitant et la perte de rendement, en tenant compte du fait que d'autres facteurs limitants agissent également. Les régressions quantiles pourraient être utilisées dans ce but : elles permettent d'établir des courbes enveloppes de relations, courbes pour lesquelles l'effet de chaque facteur est individualisé (Cade et al., 1999 ; Cade et Noon, 2003). En d'autres termes, sur la courbe enveloppe, le facteur testé est seul responsable des variations de la variable d'intérêt. La détermination des courbes enveloppes est très utilisée par les agronomes pour établir les relations entre composantes du rendement mais elle est souvent établie empiriquement à partir de données expérimentales (Makowski et al., 2007). L'utilisation de la régression quantile pourrait représenter un moyen intéressant pour accéder aux relations entre chaque indicateur de facteur limitant et la perte de rendement (Makowski et al., ibid.). Remarquons néanmoins que la régression quantile ne renseigne pas sur l'allure de la relation entre les variables, qui doit être définie *a priori*. Mais elle permet une exploration plus systématique des formes de relations possibles (et pas uniquement de relations linéaires), en utilisant l'ensemble d'un jeu de données et en réduisant les biais et variances des estimations (Makowski et al., ibid.). Il s'agirait donc là encore d'utiliser la totalité des

couples de données dont nous pouvons disposer entre indicateurs de facteurs limitants et perte de rendement pour explorer les relations entre ces variables, pour chaque facteur limitant individuellement. Cependant, les effets établis individuellement par des régressions quantiles ne peuvent être sommés pour expliquer globalement le comportement d'une variété. D'une part, des corrélations existent entre nos indicateurs, ce qui rend complexe leur estimation. C'est un problème que nous n'avons pas traité. Pour nuancer, nous l'avons abordé en partie en réduisant le nombre d'indicateurs de facteurs limitants, comme expliqué dans la partie III de ce chapitre. Mais le problème est important et il existe des outils statistiques susceptibles de résoudre cette difficulté (par des regroupements de variables sur la base d'ACP[12] ou de régression PLS[13]) même si nous ne nous sommes pas penchée sur cette thématique. D'autre part, il existe des problèmes d'interaction entre variables ; il est possible d'introduire des interactions dans une régression quantile, pour quelques facteurs, mais certainement pas pour plusieurs dizaines d'indicateurs de facteurs limitants.

2.2 Quels critères pour juger de la pertinence des résultats du diagnostic agronomique ?

De nombreuses questions des acteurs ont porté sur la définition d'un mode d'emploi de l'outil DIAGVAR comprenant une proposition de critères permettant à l'utilisateur de juger de la pertinence des résultats du diagnostic agronomique. L'outil comporte actuellement deux types d'information pour la partie « caractérisation des milieux » : une information statistique avec le R^2 de chaque régression linéaire multiple et les R^2 partiels de chaque facteur limitant, et une information graphique, via un graphique des pertes de rendement observées en fonction des pertes de rendement prédites, avec identification des milieux s'éloignant de la bissectrice. Des débats avec les statisticiens et des remarques des acteurs en phase d'utilisation nous ont conduite à penser que le R^2 ne constituait pas un bon indicateur de pertinence des résultats du diagnostic agronomique. Si le travail sur la stabilité des méthodes statistiques (voir partie III de ce chapitre) nous permet de proposer de nouvelles hypothèses d'indicateurs qui seraient plus pertinents (en s'intéressant par exemple à la stabilité d'une méthode, sa précision et le nombre de FL qu'elle permet de caractériser), elles doivent être discutées avec les acteurs et leur faisabilité dans le logiciel doit être testée. D'une manière plus générale, la question abordée ici concerne la méthode disponible ou à mettre au point pour juger les résultats du diagnostic, qui ne peuvent être réellement validés sur d'autres bases (littérature, données expérimentales). Certaines relations entre un critère de facteur limitant et le rendement peuvent être évaluées par les connaissances disponibles dans la littérature, mais ce cas n'est pas fréquent. Lecomte (2005) a proposé un certain nombre de validations agronomiques qu'il a toutes mises en œuvre, de façon convaincante, sur la méthode de DIAGVAR : concordance entre facteurs limitants identifiés pour plusieurs génotypes révélateurs et entre facteurs limitants identifiés pour le rendement et pour les composantes du rendement, par la comparaison des facteurs limitants apparus dans des couples de situations expérimentales qui ne diffèrent que par une conduite culturale, et par l'analyse des corrélations entre variables décrivant les facteurs limitants. Cependant, nous avons

[12] ACP : analyse en composantes principales
[13] PLS : partial least squares

vu que ces validations peuvent être questionnées : les interrogations des acteurs sur les résultats de certaines simulations (par exemple l'absence dans le diagnostic de facteurs limitants très forts identifiés par les acteurs) montrent que la validité du diagnostic n'est pas complètement établie. Quels autres indicateurs de validité peut-on alors proposer ?

2.3 Comment gérer le problème des données manquantes ?

Le problème de la gestion des données manquantes, tel qu'il est exprimé par les acteurs, renvoie au même besoin de mode d'emploi. Certaines questions des acteurs visaient à comprendre quelles étaient les données indispensables pour obtenir un diagnostic fiable des facteurs limitants. Elles concernaient également la précision de ces données : quelles conséquences pour l'outil par exemple si l'estimation de la date d'épiaison variait de quelques jours ? De notre point de vue, trois types de réponses peuvent être envisagés pour ces questions, qui doivent certainement être combinées entre elles.

- En abordant le problème de façon statistique : par une analyse de sensibilité des résultats de l'outil à des variations de chaque donnée d'entrée et par une analyse de sensibilité plus globale en rajoutant un bruit sur les données d'entrée (par exemple en définissant une loi de probabilité « d'incertitude » autour de la valeur initiale de la donnée d'entrée) (Monod et al., 2006),
- En renvoyant ces problèmes aux pratiques des acteurs, c'est-à-dire en prenant une position directive et en reportant la responsabilité de collecter des données précises aux acteurs,
- En prenant une position d'agronome pour imaginer des solutions un peu différentes. Par exemple, proposer de combler les données manquantes par des données qualitatives renseignées par les personnes ayant visité l'essai en question. De telles solutions poseraient des questions importantes quant à la gestion de données qualitatives (et non plus quantitatives) dans DIAGVAR.

Ces deux exemples (indicateurs de la qualité des résultats du modèle et gestion des données manquantes) ne couvrent qu'une partie des questions liées à l'élaboration du mode d'emploi d'un outil comme DIAGVAR et, déjà, les travaux pour les traiter s'avèrent importants. Il y a donc là encore un travail conséquent à envisager.

2.4 Comment déterminer le rendement potentiel des génotypes révélateurs ?

Le rendement potentiel des génotypes révélateurs est une donnée d'entrée de DIAGVAR qui pourrait poser problème car sa détermination repose sur une procédure bootstrap appliquée à une base de données la plus large possible. Cela nécessite donc d'avoir des bases de données conséquentes à disposition, indépendantes des données des essais sur lesquels le diagnostic est réalisé. De plus, l'utilisation de la méthode bootstrap pour déterminer le rendement potentiel d'une variété a été contestée (Makowski et al., 2007). Il est possible d'utiliser les régressions quantiles pour affiner la détermination du rendement potentiel, comme suggéré par Makowski et al. (ibid.). Mais cela ne résout pas forcément le problème du renouvellement de ces références qui nécessite de disposer d'un grand nombre de données, ni le problème du choix des génotypes révélateurs, déjà évoqué. La solution la plus simple serait d'utiliser les témoins GEVES, déjà

présents dans tous les essais d'évaluation variétale, pour jouer le rôle de génotypes révélateurs. Mais ces variétés sont choisies parce qu'elles sont les variétés les plus cultivées du marché. Elles ne sont donc pas nécessairement des variétés complémentaires en termes de précocité. Il faut donc réfléchir à des façons de s'assurer que les données nécessaires à la détermination du rendement potentiel seront à disposition des acteurs de l'évaluation.

2.5 Comment expliquer le comportement de DIAGVAR face à des variations des bases de données d'entrée ?

Comme évoqué dans le chapitre B, les utilisateurs ont relevé un problème concernant la sensibilité de DIAGVAR, en particulier de ses résultats lors de l'étape de caractérisation des milieux, à la base de données introduite. En effet, suivant la combinaison de milieux introduite dans l'outil, suivant les changements que les utilisateurs ont testés dans cette combinaison d'une simulation à une autre, et suivant les corrections que les utilisateurs ont pu apporter de temps à autre à leurs fichiers d'entrée, les résultats en termes de facteurs limitants du rendement ont varié, parfois fortement sans que l'expertise des acteurs sur la base de données permette réellement d'en comprendre la raison. Les utilisateurs nous ont alors interrogée sur la pertinence des résultats (est-ce réaliste que la méthode soit si sensible à de très faibles modifications de la base de données d'entrées ?) et sur un mode d'emploi quant aux combinaisons de milieux à tester pour obtenir un résultat statistiquement fiable (y a-t-il des contraintes à l'organisation de la base de données d'entrée pour garantir des résultats stables et fiables ?).

Nous avons choisi de traiter cette question sous l'angle de l'exploration du comportement de la méthode statistique employée pour réaliser le diagnostic. La méthode de sélection stepwise a ainsi été soumise de façon systématique à des variations de la base de données pour mieux comprendre sa stabilité. D'autres méthodes de sélection de variables ont également été étudiées, afin d'explorer les possibilités alternatives. Nous présentons le travail réalisé sur cette question dans la partie III de ce chapitre.

Abstract

The performance of cultivars is strongly linked to the growing conditions that vary according to both controlled and uncontrolled experimental factors. Specifically, there is a need to control the efficiency of N use by wheat, *Triticum aestivum* L., to minimize nitrogen losses and deficiency. The nitrogen nutrition index (NNI) is a precise indicator of nitrogen status but it does not suit the users' practical constraints because it requires time-consuming measurements and destructive plant sampling at a precise growth stage. Here we tested the soil plant analysis development (SPAD) chlorophyll meter as an alternative to the nitrogen nutrition index (NNI). The chlorophyll meter is a more convenient, leaf clip-on device that determines the relative amount of chlorophyll present in plant leaves. We first identified which leaf should be used; we then compared SPAD and NNI data from various experiments. We also followed SPAD measurements around flowering time to determine a common time span of measurements for all the cultivars of a trial presenting a wide range of earliness. Our results show a non-cultivar-dependent, exponential relationship between the SPAD index and NNI at flowering, with a r2 equal to 0.89. This result implies that the SPAD chlorophyll meter can be used as an alternative to NNI to measure N status in wheat. We also showed that SPAD measurements can be taken before flowering, e.g. during heading, to characterize nitrogen status at flowering. This result provides an organizational leeway to experimenters who can then follow more precisely the N status of their trials. Thus the SPAD index is a good substitute for NNI because it is convenient to use.

Keywords: plant nutrition, nitrogen, chlorophyll-meter, SPAD readings, non-destructive testing.

Cadre C-2 : résumé du travail publié dans Agronomie for Sustainable Development

II. Recherche d'un indicateur du statut azoté compatible avec les pratiques expérimentales des acteurs

1. Émergence de la question

Nous avons choisi de traiter la question du remplacement de l'INN par un indicateur du statut azoté des cultures mieux adapté aux pratiques des acteurs pour trois raisons. Tout d'abord, les acteurs en charge de l'évaluation variétale étaient intéressés par la possibilité de caractériser le comportement de leurs variétés face à des carences azotées. Ils jugeaient cette information pertinente et stratégique dans un contexte où le raisonnement des apports d'azote sur les cultures doit être de plus en plus précis (Jeuffroy et Meynard, 1997), voire même où il peut être intéressant, sur un plan économique et environnemental de tolérer des périodes de carence azotée (Jeuffroy et Bouchard, 1999, Félix et al., 2002). Traiter cette question nous offrait donc une possibilité de répondre à une attente pratique et concrète des partenaires de la démarche. Par ailleurs, la thématique paraissait pertinente à traiter par les chercheurs de l'unité d'Agronomie de Grignon, dont de nombreux travaux portent sur l'azote et les variétés et qui disposait de ce fait d'un grand nombre de données expérimentales permettant d'aborder cette question. Enfin, cette question semblait avoir de bonnes chances d'aboutir à des résultats concrets, pratiques et opérationnels dans un temps relativement court.

Notre objectif était donc de tester la pertinence et la faisabilité (par rapport aux pratiques expérimentales des acteurs) de remplacer les mesures d'INN par des mesures SPAD, pour caractériser le statut azoté des cultures de blé dans les essais variétés.

2. Le travail effectué: "Replacing the Nitrogen Nutrition Index by the Chlorophyll meter to facilitate N wheat status assessment[14]"

2.1 Introduction

The market of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) has to deal with contradictory requirements about nitrogen. Whereas there are increasing requirements for high grain protein content, there is also a global search for fertilization management to maximise N use efficiency and minimise N losses in link with environmental concerns (Anjana et al., 2007). As a consequence, a better knowledge of the varietal response to various levels of nitrogen status, including deficiency, is required. Each year, many multi-environment trials are conducted to assess the behaviour of recently registered cultivars in order to help growers to choose the cultivars best suited to their conditions (See van Eeuwijk, 1995 for example). These trials are subjected to a wide range of limiting factors, including nitrogen deficiency, that must be precisely described (Brancourt-Hulmel et al., 1999). The nitrogen nutrition index (NNI) obtained from the curve proposed by Justes et al. (1994) has been shown to be a precise and specific indicator to characterize the N status of the wheat crop throughout vegetative growth. As NNI measured at flowering (GS10-5-2 on Feekes' scale) is a good indicator of the effect of N deficiency on grain yield (Jeuffroy and Bouchard, 1999) and grain protein content (Justes et al., 1997), NNI is mainly used at the

[14] Ce travail a fait l'objet d'un article (Prost et Jeuffroy, 2007) publié dans Agronomy for Sustainable Development 27 (2007). Publié en ligne le 20 octobre 2007. DOI: 10.1051/agro: 2007032.

flowering stage to characterize the N status during the vegetative period. Moreover, NNI does not depend on cultivar or soil and weather conditions (Justes et al., 1994). Yet measuring the NNI precisely at flowering is inconvenient for those responsible for cultivar assessment, like plant breeders, advisers from technical institutes or various advisory services and people responsible for registering cultivars in the French or European Catalogue of Agricultural Species. Firstly it requires destructive plant sampling on a given area in order to measure the aerial biomass of the crop and an analysis of the nitrogen content of this biomass. Secondly, the sampling must be done at precisely the flowering stage. But, in cultivar trials, the time span between the flowering stages of the earliest and the latest varieties varies between two and three weeks (GEVES, Pers. com.), necessitating several sampling visits. Moreover, the people in charge of these trials usually visit their trials to record heading (GS 10-3) and do not come back at flowering. Thus, although NNI is very reliable, it is rarely used because it is time-consuming and expensive.

Our objective is to propose another method to assess the N status of the crops that suits the practices of the potential users. Several studies, reviewed by Debaeke et al. (2006) for example, have shown that leaf chlorophyll content could be used to diagnose the nitrogen status of plants. Indirect measurements of leaf chlorophyll content can be made with the Minolta SPAD meter (Soil Plant Analysis Development, Minolta Camera Co., Osaka, Japan), a hand-held spectrophotometer whose readings are instantaneous and involve no destructive sampling. SPAD readings have proven to be positively correlated with leaf N content for different species and at various growth stages. Peng et al. (1993) have shown a positive correlation between leaf N content and SPAD readings at various growth stages for rice (*Oryza sativa* L.), as done by Wood et al. (1992) or Schepers et al. (1992) for corn (*Zea Mays* L.), or by Reeves et al. (1993) for winter wheat (*Triticum aestivum* L.). As a consequence, the SPAD meter has been recognized as a tool to detect N deficiencies and monitor N status, for example by comparing the SPAD readings of any treatment with those of a fully N-fertilized treatment (Blackmer and Schepers, 1995; Varvel et al., 1997; Vidal et al., 1999).

But replacing NNI by SPAD measurements has been little studied on wheat. Vouillot et al. (1998) have studied the relationship between SPAD and NNI of winter wheat but at early stem elongation. Debaeke et al. (2006) have proposed a relationship at flowering, but only for durum wheat. Most relationships between SPAD readings and N contents have been established with the leaf N content and not with the whole-plant N content, as used for NNI.

Starting off with the practical constraints of potential users leads us to put the question of the substitution of NNI by SPAD readings differently. We can define operational specifications: if the method is to be widely used: the correlation between SPAD measurements and NNI must be independent of the cultivar and the year. In fact, Peng et al. (1993), Schepers et al. (1992), Debaeke (2006) and Bavec and Bavec (2001) have pointed out that SPAD readings vary among bread wheat cultivars, and could vary among years and locations. However, many researchers have suggested using a SPAD *index*, i.e. the SPAD reading of the plants divided by that

1999						
1999 N application Date		11 Mar. 1999	6 April 1999	29 April 1999	12 May 1999	27 May 1999
Middle Feekes stage of the cultivars		3	5	7	10	10-5-2
N treatment	*Total N Applied (kg/ha)*					
nn	*0*	–	–	–	–	–
lw	*60*	60	–	–	–	–
lr	*120*	60	60	–	–	–
in	*200*	–	–	100	–	100
hn	*260*	60	100	–	100	–
2001						
2001 N application Date		19 Feb. 2001	02 April 2001	02 May 2001	30 May 2001	
Middle Feekes stage		3	5	10	10-5-2	
N treatment	*Total N Applied*					
nn	*0*	–	–	–	–	
lw	*60*	60	–	–	–	
nr	*160*	60	100	–	–	
in	*240*	60	100	80	–	
hn	*330*	60	100	80	90	
2002						
2002 N application date		05 Mar. 2002	25 Mar. 2002	18 April 2002	13 May 2002	30 May 2002
Middle Feekes stage		3	5	7	10	10-5-2
N treatment	*Total N Applied*					
nn	*0*	–	–	–	–	–
nr	*140*	60	80	–	–	–
in	*260*	60	80	80	40	
hn	*340*	60	80	80	40	80

Table C-1 : N Treatments of the three experiments (1999, 2001 and 2002 at Grignon, France). Treatments are defined as nn: no nitrogen supply treatment, lw: low nitrogen supply treatment, nr: reduce nitrogen supply treatment, in: intensive nitrogen supply treatment and hn: high nitrogen supply treatment

of fully N-fertilized plants (Fox et al., 1994; Blackmer and Schepers, 1995; Varvel et al., 1997; Debaeke et al., 2006). The SPAD method must also be well suited to detect nitrogen deficiencies, and be easy to use for people who do not have much time for measurement and who cannot take the measurements at the exact flowering stage of each variety.

Our study therefore had two objectives related to the use of SPAD readings to characterize the N nutrition of the numerous cultivars compared in cultivar trials. As a preliminary, we compared SPAD readings on leaves 1 and 2 to determine on which leaf our study should focus for the results to be the most stable. We then studied the relationship between the SPAD readings and NNI, and we particularly analysed the effect of cultivar and year. Finally, we looked for a time span, around flowering, in which SPAD readings reflect the crop N status at flowering.

2.2 Materials and methods

2.2.1 Relationship between SPAD readings and NNI

In this part we used data from three field experiments conducted in 1998-1999, 2000-2001 and 2001-2002 on winter wheat at the Experimental Unit of the National Institute for Agricultural Research (INRA), Grignon, France (48.9°N, 1.9°E, 130 m elevation) on a loamy soil.

Experimental designs

In 1998-1999, 5 cultivars were factorially combined with 5 fertilization strategies, making 25 treatments in a randomised block design with three replicates. The five cultivars were chosen for several reasons: Soissons was the most commonly grown cultivar in France at that time, with a high grain protein content and known sensitivity to early N deficiency. Baltimor is a late cultivar with variable protein content. Cockpit is resistant to N deficiency but with low grain protein content; Florence Aurore is a very early cultivar of first class quality and the last, Tremie, is a productive cultivar with low protein content, widely grown in France in the nineties. Five different N fertilization rates were applied, aimed at creating temporary deficiencies at various stages, with various intensities and durations. The N treatments are described in Table C-1. The intensive treatment, "in", corresponds to the treatment for which nitrogen was applied to prevent nitrogen deficiency during the crop cycle. The total amount of nitrogen applied was calculated with the balance-sheet method (Machet et al., 1990) on the basis of the potential yield specific to the site, 10 Mg ha^{-1} .

In 2000-2001 and 2001-2002, two similar experiments were conducted: various amounts of ammonium nitrate fertilizer were applied in three blocks (Table C-1) to create various crop N status conditions before flowering. Ten winter wheat cultivars differing in terms of earliness for heading and maturity, potential yield, and susceptibility to airborne diseases were used in this study. They included high-yielding cultivars with low grain protein content, such as Arche, Isengrain, and Rumba, medium-yielding cultivars with medium to high grain protein content such as Camp-Rémy, DI9714, Récital, Soissons, a hybrid cultivar, Hynoprécia and two multi-disease-resistant cultivars, Oratorio and Renan. Further details of these experiments are given in Barbottin et al. (2005). Each of these three experiments was kept free of weeds, pests, diseases and drought stress using appropriate chemicals and irrigation.

Dataset

In the three experiments, SPAD readings and NNI measurements were taken at the precise flowering stage of each cultivar for each treatment. To calculate NNI, plant samples of 0.35m² were taken to measure dry matter per m² and N content of the aerial parts. Then NNI was calculated as the ratio of the total N content in aerial dry matter per m² to the critical N content, derived from the curve published by Justes et al. (1994) and the observed aerial biomass of the crop. Periods of N deficiency occurred when NNI was significantly less than 1. Details of plant sampling were given by Barbottin et al. (2005).

SPAD readings, in dimensionless units usually lying between 30 and 60, were taken on both flag leaves, L1, and second leaves, L2, just below the flag leaves, at flowering (GS 10-5-2). Two measurements were taken for each leaf: in the first third and in the outer two-thirds of the leaf blade. The measurements were taken on 15 randomly selected stems within each plot, giving 30 measurements for each plot and each leaf number, i.e. flag leaf and second leaf. Hence the final SPAD measurement for each treatment was the mean of 3 replicates of 30 measurements.

The SPAD index was also calculated as the ratio of the SPAD reading on one treatment to that of the most heavily fertilized treatment of the same cultivar in the same trial, i.e. hn treatment, after checking that the NNIs of these treatments were greater than 1 to confirm that they had a non-limiting nitrogen status:

SPAD index (i, j) = SPAD (i, j) / SPAD ref (i) where i is the cultivar and j the N treatment.

We obtained a set of SPAD indexes between 0.459 and 1.033 with many values of 1. In fact, the way the index was calculated, by using the SPAD reading of the most heavily fertilized treatment, meant that there was only one data value greater than 1.

Statistical analysis

Because various leaves were used in the literature and because SPAD measurements can vary according to the leaf on which they are taken (Schepers et al., 1992), we decided to first study whether the measurements taken on different leaves were correlated. We tested the correlation between L1 and L2 SPAD readings by a CORR procedure available from SAS/STAT (SAS Institute Inc, 1999) and the effect of year and cultivar on the relationship between L1 and L2 by means of the GLM procedure available from SAS/STAT.

All data were then fitted to the following model: $NNI_{i,\,j,\,k}$ = a. exp (b.$SPAD_{i,\,j,\,k}$), i being the cultivar, j the year and k the N treatment, using REG procedure available from SAS/STAT. The quality of the model was assessed with the coefficient of determination R^2, bias, root mean squared error and the relative root mean squared error, RRMSE, calculated as follows (For details, see Wallach and Goffinet, 1987; Wallach, 2006):

$Bias = \frac{1}{Ndata}\sum_{i=1}^{Ndata} Y_i - \hat{Y}_i$ where Y_i is the measured value for situation i and $\hat{Y}_i$ is the corresponding value calculated by the model),

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{Ndata}\sum_{i=1}^{Ndata}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}$$

2005					
N application Dates		31 Mar. 05	11 April 05	2 May. 05	19 May 05
Feekes Stage		5 / earliest cv	5 / latest cv	8-9 / earliest cv	8-9 / latest cv
Crop management	*Fertilization strategy*				
CM1	*E*	60	–	60	–
	L	–	60	–	60
2006					
N application dates		10 April 06	20 April 06	15 May 06	23 May 06
Feekes Stage		5 / earliest cv	5 / latest cv	8-9 / earliest cv	8-9 / latest cv
Crop management	*Fertilization strategy*				
CM1	*E*	60	–	60	–
	L	–	60	–	60

Table C-2: Crop treatments in the 2005 and 2006 experiments (amounts of N in kg/ha)

$$RRMSE = \frac{RMSE}{\overline{Y}} \text{ where } \overline{Y} = \frac{1}{Ndata}\sum_{i=1}^{Ndata} Y_i$$

To test if the cultivar and year effects were significant in this relationship, we compared the performance of the model calculated by cultivar (or by year) and the general model. The sum of the residual sums of squares for individual fit to each cultivar or each year (ΣSSi) was compared with the residual sum of squares for a common fit to all the cultivars and all the years (SSc):

$$F = \frac{\left| SSc - \sum_{i=1}^{n} SSi \right| /((n-1).k)}{\sum_{i=1}^{n} SSi \,/(Ndata - nk)}$$

The criterion F follows Fisher's law with (n-1).k and (Ndata-nk) degrees of freedom. Ndata is the total number of data points, n is the number of individual regressions and k is the number of fitted parameters for each regression, equal to 2 in the case of the function chosen here.

When the models appeared to differ, we compared the RMSE of the general model with $RMSE_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} SSi}{n}}$ of the genotypic models or of the yearly models to check which model, the general or the specific one, had the better quality.

To assess the predictive quality of the model on an independent dataset, we also calculated the root mean squared error of prediction (RMSEP) by cross-validation, whereby part of the data is used to estimate the parameters and the rest is used for validation; this procedure is repeated until each piece of data has been used either to estimate the parameters or to validate the model (See Wallach, 2006 for details).

2.2.2 Time span around flowering for SPAD measurements

In this part, we recorded SPAD readings over time in two field experiments conducted in 2004-2005 and 2005-2006 on winter wheat at the INRA Experimental Station of Grignon, France (48.9°N, 1.9°E, 130 m elevation) on a loamy soil.

Experimental designs

These two experiments combined two factors: cultivar and N fertilization. Three cultivars of various earliness were grown: Cezanne: heading earliness=7.5; Caphorn: heading earliness=6.5; Vivant: heading earliness=4.5. Heading earliness is checked on a 1-9 scale, where 1 corresponds to the latest and 9 to the earliest. One quite extensive crop management system was applied, named CM1: the inputs were greatly decreased to maximize the gross margin for the wheat price. Compared with intensive crop management for which all inputs were calculated to avoid any limiting factors, and notably N deficiencies, the sowing density was 40% lower, the fertilization was reduced by 60 kg ha^{-1} and 70 kg ha^{-1} in 2005 and 2006, respectively, and no pesticides against pests and diseases were applied. Two N fertilization strategies were applied (Table C-2).

Year	Cultivar	Time span for which SPAD readings were collected (in number of days from flowering, with "0" = flowering stage)	Number of dates for which SPAD was measured
2005	Cezanne	-9 / +9	6
	Cap Horn	-10 / +9	6
	Vivant	-9 / +9	6
2006	Cezanne	-9 / +8	18
	Cap Horn	-9 / +8	18
	Vivant	-9 / +8	18

Table C-3: Characteristics of the monitoring of the SPAD measurements around flowering in the 2005 and 2006 experiments

	Data (number)	Correlation coef
All data	(88)	0.96
Years	1999 (25)	0.96
	2001 (36)	0.95
	2002 (27)	0.98
Cultivars	Arche (7)	0.99
	Baltimor (5)	0.99
	CampRemy (7)	0.98
	Cockpit (5)	0.99
	Fl. Aurore (5)	0.98
	Hynoprecia (7)	0.99
	Isengrain (7)	0.99
	Oratorio (7)	0.90
	Recital (7)	0.98
	Renan (7)	0.95
	Rumba (7)	0.99
	Soissons (12)	0.99
	Tremie (5)	0.99

Table C-4: Correlation coefficients between flag leaf (L1) and second leaf (L2) SPAD readings for all data, then for each year and each cultivar: every correlation was significant ($P \leq 0.01$).

For the first strategy, E, the dates of application of N-fertilizer were determined according to the development stage of the earliest cultivars. In the L strategy, the dates were determined according to the crop development stage of the latest cultivars. Each treatment was replicated three times.

Data collection

On each of the three cultivars of each fertilization strategy, SPAD readings were taken every three days from 10 days before flowering to 10 days after flowering in 2005 and every day from 9 days before flowering to 8 days after flowering in 2006 (Table C-3).As in the previous trials, two measurements were taken on each of the two last leaves of 15 randomly chosen stems. Although no pesticides against pests and diseases were applied, levels of leaf diseases were very low in 2005 and 2006 and did not affect leaves enough to disturb the SPAD measurements. Plants were also sampled, according to the same protocol as in the previous experiments, in order to measure NNI at the flowering stage of each cultivar. As far as possible, the measurements were always taken at the same time of day, i.e. midday, to avoid any possible effect of this factor. In fact, it was shown that SPAD measurements can vary according to irradiance, leaf water status and time of measurement, i.e., morning vs. afternoon (Martinez and Guiamet, 2004).

Statistical analysis

To determine the time span around flowering for which SPAD readings are still well-correlated to NNI, we identified the days around flowering for which the SPAD readings were the same as those measured exactly at flowering. We expressed the dates of measurements relative to the flowering date of each cultivar in each fertilization strategy, E or L. For example, a SPAD measurement collected 9 days before flowering was encoded "-9". Then an analysis of variance was performed on the SPAD readings, with the date of measurement taken as a qualitative variable, using the GLM procedure available from SAS/STAT(SAS Institute Inc, 1999). Year, cultivar, fertilization strategy and replicates within a strategy were considered as fixed effect factors. The model can be written as:

$$SPAD_{ijklm} = DATE_i + \mathrm{var}_j + N_k + rep_l + year_m + \mathrm{int} + error \text{ (Model 1)}$$

where DATE was the relative date from the flowering stage, var the cultivar (j =1,2,3 with Cezanne, Cap Horn, Vivant), N the fertilization strategy (k=1,2 with E, L), rep the replicate (l=1,2,3), m the year (m=1,2 with 2005,2006) and int all the possible interactions.

Mean comparisons based on MEANS procedure were performed to separate DATE means for which the Student-Newman-Keuls test, option SNK, indicated that significant differences existed (P below 0.05). The time span was determined as the dates on which SPAD readings were not significantly different from those at flowering, i.e. DATE "0" or at the closest DATE to DATE "0" when we had not measured the SPAD at the precise date of flowering, as happened in 2005.

2.3 Results and discussion

2.3.1 Correlation between SPAD readings from different leaves

From the first group of experiments, i.e. those of 1999, 2001 and 2002, we compared SPAD readings collected at the flowering stage on the flag leaf, SPAD L1, and the second leaf,

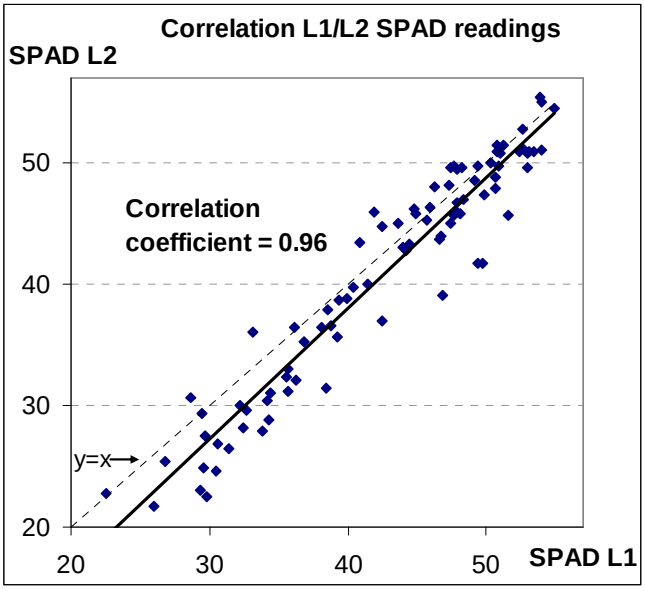


Figure C-3: Relationship between SPAD readings from the flag leaf (SPAD L1) and the second leaf (SPAD L2), for 13 cultivars and 3 years. The correlation was significant (P≤0.01).

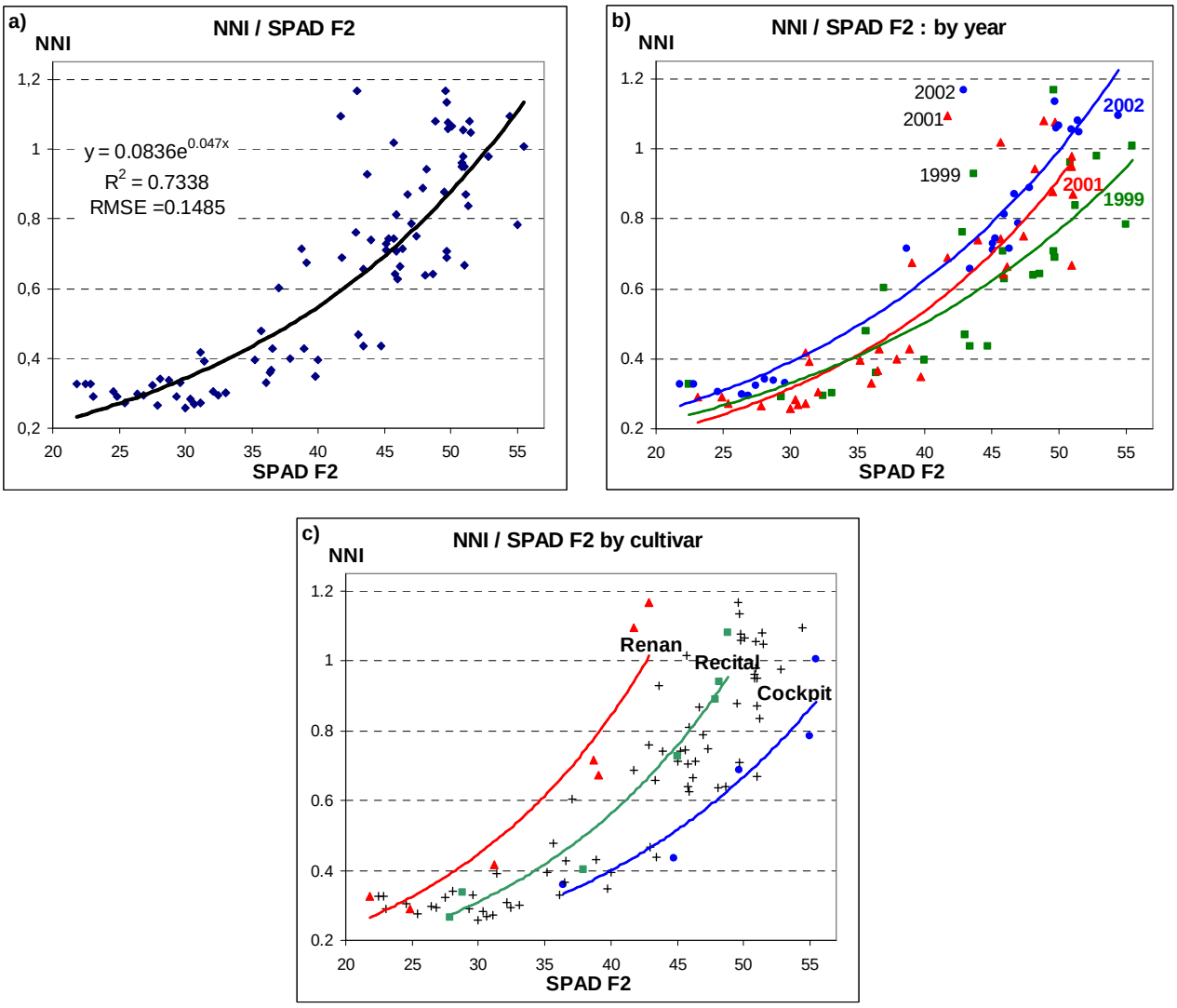


Figure C-4: Positive relationship between SPAD L2 measurements and Nitrogen Nutrition Index (NNI), for 13 cultivars and 3 years (a). Figure (b) illustrates the year effect and Figure (c) illustrates the varietal effect. RMSE: Root Mean Square Error

SPAD L2. Both were highly correlated, with a correlation coefficient of 0.96 for all years and cultivars (Table C-4). The year appeared to have no significant effect (P greater than 0.05) whereas the cultivar had a significant effect on the relationship (P below 10^{-4}).

On all data (Fig. C-3), the relationship between SPAD L1 and SPAD L2 was the following:

$SPAD\ L2 = 1.078 \times SPAD\ L1 - 5.084$ As illustrated in figure C-3, the equation underlines the fact that SPAD L2 measurements were generally lower than SPAD L1 ones. This result was in agreement with those reviewed by Lemaire and Gastal (1997) who showed that leaf nitrogen partitioning was non-uniform within dense canopies of different species and reflected the vertical light distribution.

In the literature, no such comparison of different leaves is available. However, Schepers et al. (1992) found that variation along the length of the leaf was considerably less in an older leaf, whose collar was exposed. Matsunaka et al. (1997) also recommended using the second leaf in spite of contradictory arguments: they showed that it might begin to senesce at flowering, with complex consequences, but that its use was preferable to that of the flag leaf to predict the N content and that its colour was more stable than that of the flag leaf. Avoiding sources of variation is a reason for preferring the second leaf for use. We therefore decided to use below only the SPAD readings of the second leaf L2. Since our objective was to replace NNI by a convenient tool for potential users, this highly significant correlation enabled us to simplify the experimental work by measuring SPAD values from only one leaf.

2.3.2 Relationship between NNI and SPAD

Relationships between NNI and SPAD readings

Taking into account all the available data from the three first experiments, there was a positive exponential relationship between NNI and SPAD readings on L2 at flowering, with a coefficient of determination R^2 of 0.73, (Figure C-4a). We found no references to compare this relationship with other research workers' results. The close relationship between SPAD measurements, taken on a leaf, and NNI, based on whole-plant N content, seemed consistent with the positive correlation observed between SPAD measurements and whole-plant N content for corn at the 10-leaf growth stage by Wood et al. (1992). Two hypothesises could explain the curvilinear form of the relationship, which was also described by Wood et al. (1992) and Dwyer et al. (1995). Firstly, the discrepancy caused by the fact that SPAD readings were taken from one leaf, whereas NNI was representing whole-plant N, could explain it. Secondly, Wood et al. (1992) and Dwyer et al. (1995) suggested that it could be due to the fact that corn leaf tissue usually only contains 2-3% of the N as nitrate and that most of the extra N is stored in the stalk as nitrate, which seems to be true for all cereals except rice (Takebe and Yoneyama, 1989). This is why the curvilinear response of SPAD to N content could be linked to the increasing total N in the nitrate form, not detected by chlorophyll meters, at high leaf N levels (Dwyer et al., 1995).

Analysing the year and cultivar effects on this relationship, there was a highly significant difference in the estimate of NNI between the general model and the individual yearly models on one hand ($F_{82}^{4} = 5.1167$, P below 10^{-4}, Figure C-4b) and between the general model and the individual genotypic models on the other ($F_{64}^{24} = 5.4366$, P below 10^{-4}, Figure C-4c).

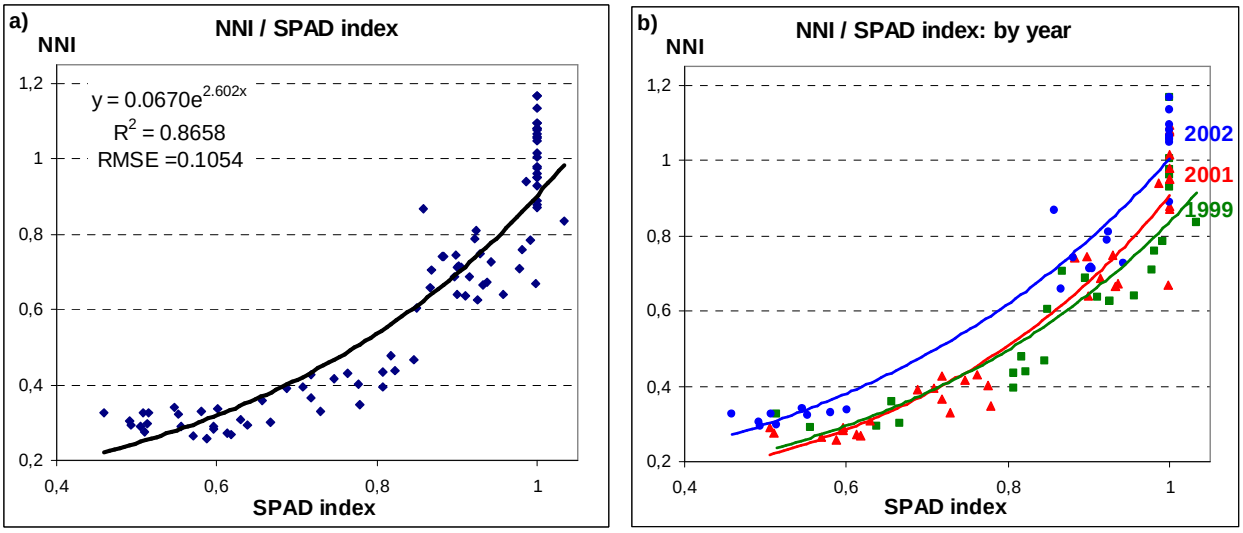


Figure C-5: Positive relationship between SPAD index and Nitrogen Nutrition Index (NNI), for 13 cultivars and 3 years (a). Figure (b) illustrates the year effect. RMSE: Root Mean Square Error

The specific models were better than the general one with a $RMSE_{general\ model}$ of 0.15, a $RMSE_{cultivar}$ of 0.08 and a $RMSE_{year}$ of 0.13. The significant varietal effect was consistent with the conclusions of Bavec and Bavec (2001) who showed that different cultivars had different SPAD measurements, and Peng et al. (1993) who linked these varietal SPAD measurement differences with the differences in specific leaf weight and lamina thickness among cultivars. The year effect has not been specifically proven in the literature but it supported Schepers' conclusions (Schepers et al., 1992) showing the effect of cultural practices. The effects of weather on nitrogen dynamics are well known (Gate, 1995).

In the following, we decided to calculate the RMSEP of the general model and not of the individual genotypic or yearly models, even if there was a varietal and a year effect: in fact we kept in mind that we wanted to build a relationship that would be satisfactory whatever the cultivar or the year. The general model appeared to give too imprecise predictions, with a RMSEP of 0.17 and a RRMSEP of 25.9% to be used by potential users.

Relationship between NNI and SPAD index

There was a positive exponential relationship between the NNI and the SPAD index (Figure C-5a) with a R^2 of 0.87 - better than that of the preceding SPAD/NNI relationship and a better simulation error (RMSE=0.11). Such a good relationship was found by Vouillot et al. (1998) but its equation was not given in their paper, which limited the comparison with our case. Debaeke et al. (2006) studied this relationship but their results were only partly in agreement with ours: they identified an exponential relationship between the SPAD index and the NNI during stem elongation but they found a linear SPAD index/NNI relationship at flowering. Considering that their R^2 were lower than ours and as a curvilinear form was justified (see the preceding paragraph), we kept the exponential form, which also gave a better distribution of the residuals. The difference in behaviour could also be due to the different species, durum wheat in Debaeke et al. (ibid.) compared with bread wheat in our case.

As before, we checked the effect of the cultivar and the year. There was no longer any significant difference in the estimated NNI between the general model and the individual genotypic models ($F_{64}^{24} = 0.6972$, P greater than 0.05). In fact, Schepers et al. (1992) showed that the SPAD readings reached a plateau at high N rates, dependent on the cultivar, because of the leaf varietal characteristics discussed above. Defining a SPAD index by dividing SPAD measurements by the estimated value of this plateau was thus effective in removing the varietal effect. However this index did not remove the year effect: there was still a significant difference between the general model and the individual yearly models ($F_{82}^{4} = 8.7832$, P below 10^{-4}) even though the year effect was less than in the case of the SPAD/INN relationship (Figure C-5b). The yearly model had a lower simulation error than the general one since the $RMSE_{year}$ was 0.09. This year effect could be linked with specific weather factors that limited the N status of the crop and affected the thickness of the leaves.

As explained previously, we decided to calculate the RMSEP of the general model and not of the yearly models, because we wanted to build a relationship that could be used in any year..

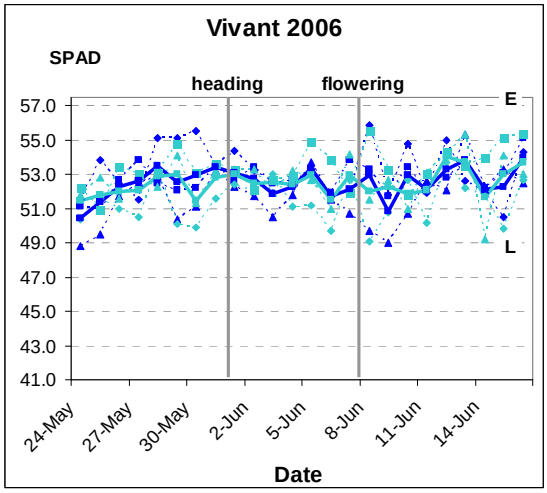


Figure C-6: An example of change in time-course of SPAD readings around flowering, for the cultivar Vivant in 2006, grown with 2 fertilization strategies (E and L). The dotted lines represent the values for each block; the bold ones represent the average value for the fertilization strategy

Source	df	Sum of squares (SS) (type III)	SS/df	F value	Pr > F
DATE	19	98.90	5.21	4.07	**<.0001**
cultivar	2	34.99	17.50	13.67	<.0001
N Technique	1	94.57	94.57	73.88	<.0001
rep	2	25.12	12.56	9.81	<.0001
year	1	276.32	276.32	215.87	<.0001
cultivar *DATE	35	148.14	4.23	3.31	<.0001
DATE*year	7	25.83	3.69	2.88	0.0062
cultivar *year	2	118.76	59.38	46.39	<.0001
cultivar *rep	4	20.52	5.13	4.01	0.0035
rep* N Technique	2	10.83	5.41	4.23	0.0154
N Technique *year	1	17.66	17.66	13.80	0.0002
cultivar *DATE*year	3	10.83	3.61	2.82	0.0391
cultivar *rep* N Technique	4	15.12	3.78	2.95	0.0203
cultivar * N Technique *year	2	20.99	10.49	8.20	0.0003
rep* N Technique *year	4	25.03	6.26	4.89	0.0008
cultivar *rep* N Technique *year	8	43.35	5.42	4.23	<.0001
TOTAL R^2		**0.79 (p<0.001)**			
SPAD mean		**52.70**			
Root MSE		**1.13**			

Table C-5: Significant effects of the date of measurement (DATE), cultivar, year, fertilization technique (N technique) and replication (rep) on SPAD measurements, results of linear model (1) (df = degree of freedom)

The predictive quality of the general model was quite satisfactory: the model appeared to give quite accurate predictions with a RMSEP of 0.12 and a RRMSEP of 18.6%. The predictive quality was thus improved by the use of the SPAD index rather than the actual SPAD readings. Moreover, we showed that if we excluded the data for SPAD indexes of 1 or more, we improved the relationship even further. We established the following relationship: $NNI = 0.0847e^{2.239.SPADindex}$ if the SPAD index is below 1 with a R^2 of 0.89, a RMSE of 0.079, a RMSEP of 0.093 and a RRMSEP of 14.5% with no bias. In fact, the way the index was devised means that SPAD indexes of 1 or more correspond to non-limiting N situations, whatever their NNI value. For these situations, it was not worthwhile to check the correspondence with NNI. This was consistent with the fact that potential users would be primarily interested in detecting deficiency situations. Furthermore, as discussed above, it was shown that SPAD readings tended to reach a plateau at high N levels that weakened the relationships between SPAD readings and N content (Dwyer et al., 1995). This is why it could be better to use the SPAD index only for values below 1. Finally, the SPAD index seemed to be able to replace NNI measurements to assess N deficiencies of a crop but the experiments which allowed us to build the SPAD index/NNI relationship were done at only one location, and thus need to be tested in various other locations. From an operational point of view, the SPAD index would not be hard to measure for our potential users. In fact they were used to having two crop management systems, usually an intensive one, supposed to be non-limiting, and sometimes a more extensive one (Luciani, 2004). Thus, the intensive crop management could be used as a reference for a well-fertilized plot to very easily calculate the SPAD index.

2.3.3 Time span of SPAD measurement around flowering.

Examples of SPAD readings taken around flowering are shown in Figure C-6. Although they vary from one block to another as shown by the dotted lines, the effect of fertilization strategy was visible on SPAD readings (those from E strategy were higher than from L strategy), and on the beginning of senescence, after flowering.

To statistically study the monitoring of SPAD around flowering, we simplified the general model (model 1) to keep only the significant effects. The resulting analysis of variance model satisfactorily fitted the SPAD observations as the R^2 was 0.80 (Table C-5). Each main effect was highly significant and so were the following interactions: cultivar.DATE, DATE.year, cultivar.year, cultivar.rep, rep.N technique, N technique.year, cultivar.DATE.year, cultivar.rep.N technique, cultivar.N technique.year, rep.N technique.year, cultivar.rep.N technique.year. These interactions were hard to interpret, as the experiments were homogeneous. Nevertheless, they were of importance: removing the interactions from the model made the R^2 fall to 0.42. The importance of these interactions could mean that some explanatory factors for SPAD variability had not been taken into account, in spite of the good R^2. They could be weather effects on SPAD measurements: although such effects, like water deficit, on photosynthesis and chlorophyll content have been studied (e.g. Schepers et al., 1996; Ceccato et al., 2001), we did not know exactly how or how quickly SPAD could react to daily changes in temperature, precipitation or global radiation.

Year	Cultivar	Measured time span	Dates for which SPAD measurements were different from DATE "0" SPAD	Time span in which SPAD measures were statistically the same as the SPAD at DATE "0"
2005	Cezanne	-9 / 9	–	-9 / 9
	Cap Horn	-10 / 9	–	-10 / 9
	Vivant	-9 / 9	–	-9 / 9
2006	Cezanne	-9 / 8	–	-9 / 8
	Cap Horn	-9 / 8	DATE "5", DATE "7"	**-9 / 4**
	Vivant	-9 / 8	–	-9 / 8

Table C-6: Results of the comparison of means to determine the minimum time span during which SPAD measurements could be made

Because we were interested in cultivar and year effects for operational reasons and because both effects were significant, we compared the DATE means by cultivar and by year (Table C-6). Except for Caphorn in 2006, the SPAD measurements taken over the whole time span were not significantly different from those taken at flowering. For Caphorn in 2006, the measurements taken 5 and 7 days after flowering were significantly different from the flowering SPAD readings, which meant that the SPAD readings were similar to the flowering SPAD measurements only from 9 days before flowering to 4 days after.

Even if we reduced the time span to the shortest one obtained for all cultivars and years, it appeared that this time span was wide, mostly before flowering. Actually, SPAD measurements could be made from 9 days before flowering to 4 days after flowering. Asymmetry around flowering could be linked to leaf senescence. As the wheat approached maturity, the leaves began to lose chlorophyll and to transfer nitrogen to developing kernels. As shown by Adamsen et al. (1999), this process causes a change of colour which was detected by SPAD readings. The authors did not define the exact beginning of colour change due to senescence, so it was difficult to compare our results and see if a colour change could appear as early as 5 days after flowering. But this senescence could be amplified by diseases which affect leaf colour, by weather factors or N management (Adamsen et al., 1999). Consequently, measuring SPAD after flowering seemed hazardous. But the time span before flowering was very interesting in relation to users' practices. We previously noticed that the potential users usually visited their trials at heading. We also noticed that, because of the range of earliness in a cultivar trial, the time span for heading could last several days. In 2005, there were 13 days between heading of Cezanne, the earliest cultivar, on May 16, and of Vivant, the latest one, on May 30, whereas in 2006 there were 11 days (May 21 for Cezanne cf June 1 for Vivant). Finally, as heading and flowering were usually separated by 8 to 10 days (145 degree days separate heading from flowering according to Gate, 1995), taking SPAD measurements and recording of heading could be done at the same time by juggling with the differences in earliness and by using the proven flexibility of SPAD readings before flowering. It would be interesting to do the same study using the SPAD index. Because the experiments we used did not include intensive plots that should have been taken as a SPAD reference, we were not able to create this index. But it might have been useful in regard to a cultivar effect that is significant in our SPAD model: our statistical comparison of means could have been more powerful without it. And here again, it would be interesting to test this result at other locations and in other years, the SPAD measurements having been monitored every day only in 2006.

2.4 Conclusion

From our experiments, we showed that the SPAD index can substitute for NNI measurements to assess N deficiencies. In fact, although our results proved that there was still a year effect on the relationship between SPAD index and NNI, the general model gave a prediction accurate enough to detect N deficiencies correctly. This conclusion should be checked at other locations. Moreover, we have given further information to potential users to make these SPAD measurements feasible and compatible with their practices. Firstly, we showed that measurements on L1 or L2 were highly correlated, which would permit the users to restrict their measurements

to one leaf. Then we studied how we could give the users more flexibility to take the SPAD measurements around flowering. We showed that it is possible to combine the measurements of SPAD with the recording of heading, which the users are used to doing, thanks to the wide range of earliness that could be found in cultivar trials. This result could thus give the users additional leeway in their experimental work. Here again, it would be interesting to check the validity of this result at other locations and in other years. Finally, this study was based on the practical constraints of potential users wishing to assess their cultivars' response to N deficiency. This original starting point led us to define research questions which were original in their formulation and in the way we treated them. It also opened up new areas of possible work on the accuracy of SPAD compared with the NNI. Substituting the NNI by the SPAD index in some of our partners' trials for the next season would allow us to test its validity on a wider scale, to improve our NNI/ SPAD index model and get further information about the practical use of SPAD. It would also be interesting to study the behaviour of new devices like active sensors to evaluate chlorophyll status as these devices give results which correlate well with SPAD readings and could be even faster and easier to use.

2.5 Acknowledgements

We are grateful for the support from the FSOV (French fund for plant breeding. The experiments were conducted by J. Troizier, director of the Experimental Unit of Versailles-Grignon, and his technical staff. A. Barbottin and C. Bouchard monitored the 1999/2001/2002 experiments and C. Bouchard gave us valuable help to monitor SPAD readings in 2005 and 2006. Thanks to C. Naud, A. Gauffreteau, J.F. Fourbet and D. Makowski who spent time to discuss our statistical choices. C. Godin and M.N. Mistou (GEVES), M.H. Bernicot (Arvalis Institut du Végétal), P. Lonnet, J.P. VanSuyt and T. Demarquet (Florimond Desprez), E. Margalé, M. Meausoonne, S. Vergez and J.P. Monnier (Serasem), J.B. Beaufume and G. Stagnaro (Nickerson), P. Senellart and O. Leblanc (C.C. Benoist) gave us their time to describe their experimental practices and constraints. We also thank A. Scaife for correcting the English language. We are grateful to all of them for their help.

III. Sensibilité des méthodes statistiques aux données

1. Émergence de la question

Parmi les questions qui ont pu porter sur les concepts et formalismes du modèle de DIAGVAR, nous nous sommes concentrée sur celle concernant les performances de la partie « caractérisation des milieux » de l'outil, en termes de discrimination des facteurs limitants. Nous avons choisi de traiter cette question pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, cela nous semblait important par rapport à la confiance que les utilisateurs pouvaient avoir dans l'outil DIAGVAR. La sensibilité des résultats pèse lourdement sur cette confiance et notre impuissance à donner des clés d'utilisation qui garantissent la pertinence des résultats de la caractérisation des milieux constitue un véritable problème d'utilisation. Un outil se définit aussi par son mode d'emploi (Cerf et Meynard, 2006) dans le lien qu'il crée à l'utilisateur et à l'utilisation. La question nous semblait donc pertinente par rapport à notre problématique d'utilisation.

Elle l'était également d'un point de vue scientifique. Nous avions récapitulé dans un document tous les éléments des discussions entre chercheurs et utilisateurs des phases 2 et 3 qui nous semblaient requérir la compétence d'un statisticien. Ces éléments ont été discutés avec un statisticien. Or ce point particulier de la fiabilité de la méthode de régression linéaire multiple stepwise pour discriminer des facteurs limitants a cristallisé beaucoup de débats. La pertinence de cette méthode, validée par les résultats obtenus par C. Lecomte (2005), mais aussi au cours des phases 2 et 3, semblait mise en doute d'un point de vue strictement statistique, du fait de l'incapacité de telles méthodes à trier parmi un grand nombre de variables explicatives fortement corrélées entre elles (environ 80 variables explicatives potentielles) à partir de peu de données (parfois). Le problème nous a paru intéressant à aborder car la méthode stepwise est une méthode couramment utilisée en agronomie pour sélectionner les variables jugées statistiquement explicatives d'une variable d'intérêt (e.g. Affholder et al., 2003 ; Clermont Dauphin et al., 2003 ; Le Bail et Meynard, 2003 ; David et al., 2005). Enfin, elle nous semblait être un moyen de mieux comprendre la notion de réseaux d'expérimentation, en essayant de caractériser ce qui, dans un réseau, crée la variabilité nécessaire à une identification pertinente et rigoureuse des facteurs limitants. La question nous semblait donc avoir de grandes potentialités à intéresser les chercheurs agronomes.

Côté statistiques, la question posée par les utilisateurs donnait l'opportunité d'étudier d'autres méthodes de sélection de modèles, sachant que la méthode stepwise est controversée (e.g. Steyerberg et al., 1999 ; Burnham et Anderson, 2002 ; Whittingham et al., 2006). Des recherches ont en conséquence été menées sur les critères utilisés dans les méthodes de sélection, mais également sur d'autres méthodes. Nous nous sommes notamment intéressée aux méthodes bayésiennes de « mélange des modèles », assez innovantes dans le champ des sciences du vivant (e.g. Hoeting et al., 1999 pour un historique sur l'idée de mélange de modèles).

Le travail que nous présentons ci-dessous relève donc d'un travail d'abord méthodologique : nous étudions la stabilité de différentes méthodes statistiques permettant l'évaluation des effets des facteurs limitants du rendement en mettant en œuvre des outils statistiques utilisables par les agronomes.

Abstract

Stepwise selection is frequently used in ecology and agronomy. In the yield gap analysis approach, linear regression and stepwise selection are used to identify and rank the limiting factors of crop yield. The main value of stepwise selection is that it can be used to select a subset of explanatory variables by using statistical criteria. The number of parameters in the final model obtained by using such a procedure is expected to be less than in the complete model, and the variance of the estimated parameters can be reduced. However, several recent studies have emphasized the limitations of stepwise selection, such as the lack of robustness of the set of selected variables and bias in the parameter estimates. Model mixing methods like Bayesian Model Averaging have been proposed as an alternative, but these methods have never been used for yield gap analysis. The objective of this paper was to compare stepwise selection methods and Bayesian Model Averaging (BMA) for yield gap analysis. Our comparison was based on 10 000 bootstrap samples drawn from a dataset including eight years of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) experiments. Parameter estimates obtained after stepwise selection were compared to the estimated values obtained without any selection and to the estimated values obtained with BMA. The results showed that these statistical methods led to contrasted frequencies of variables selections and to different estimated parameter values. The frequencies of selection were greater with BMA than with stepwise selection. BMA also gave small standard deviations for parameter estimates in many cases, but this was not always the case. Compared to the stepwise selection methods, the parameter estimates obtained with BMA were shrunk back toward zero. Our results showed that the bootstrap approach can efficiently allow agronomists to compare various statistical methods for selecting explanatory variables and for estimating the effects of limiting factors.

Keywords: bootstrap, diagnosis, limiting factor, model mixing, model selection, stepwise, parameter estimation, wheat.

Cadre C-3 : résumé du travail soumis à Ecological Modelling

2. Le travail effectué: Comparison of stepwise selection and Bayesian model averaging for yield gap analysis[15]

2.1 Introduction

Multiple regressions with stepwise selection techniques are often used in ecology and in crop science for studying the effects of limiting factors on plant or animal characteristics such as plant biomass, species richness, or crop yield. Whittingham et al. (2006) have reviewed 508 papers published in 2004 in three leading journals of ecology (Journal of Applied Ecology, Animal Behaviour, Ecology letters) and have shown that, out of 65 papers using a multiple regression approach, 57% used a stepwise procedure. Stepwise selection is also frequently used in agronomy, for example in the yield gap analysis approach. Yield gap analysis is used to identify and rank the factors that can explain the low yields observed in a range of farmers' fields. This method has been widely used in many countries (e.g. Casanova et al., 1999; Bindraban et al., 2000; Verdoodt et al., 2003; de Bie, 2004; Mussgnug et al., 2006), and also in France where it is called agronomic diagnosis (e.g. Leterme et al., 1994; Doré et al., 1997; Brancourt-Hulmel et al., 1999; Le Bail and Meynard, 2003; David et al., 2005; Doré et al., 2008). Lecomte (2005) has automated this method by using a multiple stepwise regression analysis. The same approach has been applied by Brancourt-Hulmel et al.(1999) and Barbottin et al.(2005). This method has been developed with the idea of being easily implemented by various stakeholders such as plant breeders, extension services, or local advisors.

The main value of stepwise selection is that it can be used to select a subset of explanatory variables by using statistical criteria computed from a dataset, like the Akaïke Information Criteria, the Bayesian Information Criteria, or statistical tests (e.g. Miller, 2002). The number of parameters in the final model obtained with this procedure is expected to be less than in the full model, and the variance of the estimated parameters can also be reduced.

However, several papers in medical science (Steyerberg et al., 1999) and in ecology (Burnham and Anderson, 2002; Whittingham et al., 2006) have emphasized the limitations of stepwise selection. A first problem is that the results of stepwise selection can depend on the procedure used for selecting the variables. Different selection procedures can lead to different sets of selected variables. This is an important issue for yield gap analysis, because different procedures may lead to the identification of different sets of limiting factors. A second problem is that the uncertainty of the results of the selection method is generally ignored. All inferences are usually performed using the selected model only, although the selected set of explanatory variables may be highly sensitive to the dataset used to perform the selection. A small change in the dataset may lead to a different set of selected variables. A third problem is that the estimated parameter values obtained after stepwise selection are likely to be biased due to the omission of some important factors and to the use of the same dataset for both variable selection and parameter estimation (Miller, 2002).

[15] Ce travail a fait l'objet d'un article (Prost, Makowski et Jeuffroy, soumis) soumis à Ecological Modelling le 30 novembre 2007.

Figure C-7: Locations of the experimental sites

Several statisticians have emphasised that, in some cases, it is better to mix all models than to use the single selected model. The basic idea is to use a weighted mean of the individual model predictions instead of the prediction derived from the single 'best' model. Several model mixing methods were recently developed to estimate the weight associated with each model from a training dataset (Buckland et al., 1997; Hoeting et al., 1999; Yang, 2003; Raftery et al., 2005; Yuan and Yang, 2005). Model-mixing can improve the accuracy of model predictions and of parameter estimation, and give more realistic confidence intervals (Chatfield, 1995; Draper, 1995). According to a recent statistical study (Yuan and Yang, 2005), model-mixing is better than selection when the model errors are large. The consequences of using stepwise selection analysis for yield gap analysis have never been studied, and stepwise selection methods have never been compared to the model mixing approach in this context.

The objective of this paper is to compare stepwise selection methods and model mixing for yield gap analysis. Our comparison is based on a large number of bootstrap samples drawn from a dataset including eight years of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) experiments. Parameter estimates obtained after stepwise selection are compared to the estimated values obtained without any selection and to the estimated values obtained with a model mixing approach. The differences are discussed, and the practical value of using bootstrap sampling in yield gap analysis studies is emphasized.

2.2 Materials and methods

2.2.1 Data

Trial characteristics

We gathered data from many winter wheat trials carried out for cultivar assessment. These cultivar trials were composed of numerous new cultivars always compared to one control cultivar, Soissons, a mid-early cultivar, widely grown in France. We used Soissons data in this study.

The trials were carried out for eight years, from 1995 to 2003, in France. Five to sixty-five sites were experimented on each year, representing a wide range of soil weather conditions (Figure C-7). Non-limiting crop management strategies were applied on all trials with high yield targets (9-10 t ha^{-1}) and with full herbicide, fungicide, and insecticide controls. The total number of plots (site*years) used in this study was 160.

Yield measurements

Wheat yield was measured in each plot from the average of two micro-plot measurements. A yield loss (*YL*) was calculated for each plot as $YL = \frac{Y_{pot} - Y}{Y_{pot}}$ where Y_{pot} is the potential yield of Soissons and *Y* is the measured yield. Y_{pot} is the yield that the crop would have reached without any environmental limiting factors. It was determined with the procedure described by Brancourt-Hulmel et al. (1999) and was set at 11.4 t ha^{-1}(0% moisture content).

Variable	Definition	Unit	Mean	SD	Min	Max
ndfr	Number of days when the temperature is lower than the frost resistance of the genotype from sowing to 1cm-ear (Lecomte et al., 2003)	days	0.34	1.18	0	6
ndefr	Number of days of ear frost (minimal temperature <=-4°C) from 1cm-ear to flowering (Gate, 1995)	days	0.34	0.87	0	5
stmpw	Sum of the daily average temperatures above 0 by development periods	°C	824.8	104.6	418.6	1097.5
stmpef			759.8	50.4	566.5	889.1
sraw	Sum of the daily radiation by development periods (Monteith, 1972 ; Gallagher and Biscoe, 1978)	J/cm²	69333	13880	30498	118561
sraef			106986	12883	73838	139686
srafm			75628	7011	59872	98265
ratw	Ratio srad / stmp by development periods (Fischer, 1985)		85.6	22.1	38.9	184.9
raef			283.6	36.4	200.8	403.6
spetpw	Sum of the daily differences P-ETP <0 by development stages	mm	0.35	2.57	0	23
sdfef	Sum of the daily water deficits ETR-ETM when ETR<ETM, by development stages	mm	16.47	29.72	0	143.94
sdffm			68.92	43.23	0	163.69
sri1045m	Sum of the daily radiation <1045 J/cm² from meiosis-5d to meiosis+5d	J/cm²	767	942	0	8992
st25ef	Sum of the daily maximal temperatures >25°C by development stages	°C	3.8	5.0	0	26.2
st25fm			41.0	27.3	0.9	125.5
lomax	Lodging	Score	1.7	1.7	1	9
fomax	Diseases on roots	% area	0.4	3.5	0	46.75
pwl	Powdery mildew on leaves	Score	1.3	0.8	1	6
br	Brown rust on leaves	Score	1.9	2.0	1	9
sl	Septoria on leaves	Score	2.8	2.4	1	9
nni	Nitrogen nutrition index (Justes et al.,1997) at anthesis		0.98	0.10	0.32	1
npm2	Nb of plants after winter when nb<200 plants/m²	nb/m²	198	9.43	121	200

Table C-7: Characteristics of the 22 explanatory variables. Phases of development: w= from sowing to 1cm ear, ef= from 1cm ear to anthesis, fm=from anthesis to maturity. Bold characters: variables of the reduced set of explanatory variables

Explanatory variables

Three kinds of variables were considered (Table C-7): weather variables, diseases, and nitrogen. Fifteen weather variables were defined from five daily weather measurements taken at each plot location (minimal and maximal temperatures, rainfall, Penman potential evapo-transpiration, and global radiation) and for three winter wheat development periods (a winter period from sowing to the beginning of stem elongation, a stem elongation period from 1 cm ear to anthesis, and a grain filling period from anthesis to maturity) (Table C-7). Brancourt-Hulmel et al. (1999) and Lecomte (2005) showed that these variables can affect crop yield.

Four variables were defined to describe the levels of infestation of each plot with Brown Rust (*Puccinia graminis*), Septoria (*Mycosphaerella graminicola* and *Phaesphaeria nodorum*), Powdery Mildew (*Erysiphe graminis*), and foot diseases, including foot fusarium (*Fusarium roseum,*var *culmorum*) and foot rot (*Pseudocercosporella herpotrichoides*). These variables were visual scores of infection from 1 (no symptoms) to 9 (organ completely covered by the disease in the whole field) (Godin and Soyer, 2006). Lodging was also scored in each plot from 1 (no lodging) to 9 (completely lodged) using the method described by Godin and Soyer (2006). To describe crop nitrogen status we used the nitrogen nutrition index (Justes et al., 1997), which is less than 1.0 when the nitrogen supply is below the crop's requirement and thus limits crop growth. The last variable represents the number of plants at the end of winter. It can affect grain yield when it is below 200 plants per m² (Lecomte pers. com.). The total number of limiting factors tested was 22.

2.2.2 Linear regression models

The yield loss was related to the candidate explanatory variables using linear regression models defined by $YL = \theta_0 + \theta_1 x_1 + ... + \theta_p x_p + \varepsilon$ where $x_1 \ldots x_p$ are the explanatory variables, $\theta_0, \ldots, \theta_p$ are the model parameters, and ε is the residual error term. In yield gap analysis, the explanatory variables correspond to limiting factors and the parameters represent the magnitude of the effects of these limiting factors on crop yield. Model parameters are unknown and must be estimated from experimental data.

Two sets of explanatory variables were considered in turn: the full set of 22, and a reduced set of 5. The latter were selected by expertise based on the fact that the field experiments were carried out using intensive cropping systems *i.e.* with full protection against pests and diseases, and using optimal nitrogen fertilization. To define the reduced set, we assumed that the most important limiting factors were those related to weather rather than to diseases, nitrogen nutrition, or lodging. Five weather variables were thus selected, one for each type of weather variable; winter cold (*stmpw*), low radiation in winter (*sradw*), ear frost (*ndefr*), dryness during grain filling (*sdffm*) and high temperatures during grain filling (*st25fm*) (Table C-7).

Four statistical methods were considered successively for selecting the explanatory variables $x_1 \ldots x_p$ and estimating the model parameters $\theta_0, \ldots, \theta_p$:

- no variable selection (estimation of all the model parameters by least squares),
- stepwise selection based on the Akaïke Information Criterion (AIC) and parameter estimation by least squares,

- stepwise selection based on the Bayesian Information Criterion (BIC) and parameter estimation by least squares,
- Bayesian Model Averaging.

Each method was applied using the full and reduced sets of explanatory variables in turn.

The first three methods were implemented using the glm function of the R statistical software and the parameters θ_0, …, θ_p were estimated by ordinary least squares (www.cran-r.org; Venables and Ripley, 2002).

Bayesian Model Averaging (BMA) is a method for model mixing (Raftery et al., 1997). Its main principles are briefly described below. Suppose that θ is a parameter representing the effect of a limiting factor. BMA aims at computing the posterior distribution of θ expressed as:

$$P(\theta|D) = \sum_{i=1}^{N} P(\theta|D, M_i) P(M_i|D) \qquad \text{Eq.(1)}$$

where $M_1,...,M_N$ is the set of available models, D is the data set, and $P(.|.)$ is a conditional density probability function. The posterior mean is defined as follows:

$$E(\theta|D) = \sum_{i=1}^{N} w_i \hat{\theta}_i \qquad \text{Eq.(2)}$$

where $\hat{\theta}_i = E(\Delta|D, M_i)$ (estimation of the parameter using only model M_i) and $w_i = P(M_i|D)$ (weight associated to model M_i). Eq.(2) shows that the estimation of θ obtained using a BMA method is a weighted sum of individual estimations. The use of BMA instead of a single selected model is thus likely to change the practical conclusions derived from the simulated values of any quantities of interest.

Algorithms were developed to implement BMA with linear models (Raftery et al. 1997). In this study, the bicreg function of the BMA library of the R software was used to compute the posterior parameter means defined by Eq.(2). With bicreg, models are excluded when their posterior model probabilities are much lower than the posterior probability of the best model (Raftery et al., 1997). This is likely to happen when the number of explanatory variables is high. Thus, all the explanatory variables are not necessarily selected with BMA.

2.2.3 Bootstrap sampling

Bootstrap can be used to study the uncertainty in the results of selection methods (Buckland et al., 1997; Chatfield, 1995; Miller, 2002). The principle is to generate a large number of new datasets from the initial dataset by randomly sampling data with replacement (Efron and Tibshirani, 1993). Two sizes of dataset (N = 40, 160) were considered successively and 10 000 bootstrap samples of size N were generated from the initial dataset. The statistical methods described in 2.2 were applied to each sample in turn, and parameter values were estimated from the same samples. In several datasets, all the sampled values of some explanatory variables were identical. In such situations, it was impossible to estimate the corresponding parameters, and their values were set to zero.

The results were used to compute the following terms for each explanatory variable and each statistical method:

	Frequency of selection				Average estimated parameter value				Standard deviation			
Variable	No selection	AIC	BIC	BMA	No selection	AIC	BIC	BMA	No selection	AIC	BIC	BMA
ndfr	0.98	0.29	0.10	0.87	2.12	1.86	0.84	1.11	7.47	7.25	7.50	4.58
ndefr	1.00	0.34	0.15	0.90	-6.09	-6.98	-7.28	-3.33	8.35	5.91	4.69	5.18
stpmw	1.00	0.24	0.11	0.92	0.04	-0.02	-0.03	0.01	0.16	0.07	0.04	0.08
stmpef	1.00	0.21	0.07	0.89	0.05	0.08	0.08	0.03	0.26	0.13	0.09	0.12
sraw	1.00	0.13	0.05	0.93	-6.28^{E}-04	-3.53^{E}-04	9.00^{E}-05	-2.59^{E}-04	1.86^{E}-03	1.10^{E}-03	5.90^{E}-04	9.75^{E}-04
sraef	1.00	0.19	0.06	0.91	-2.71^{E}-05	1.75^{E}-04	2.08^{E}-04	-7.60^{E}-06	1.70^{E}-03	8.40^{E}-04	4.49^{E}-04	7.71^{E}-04
srafm	1.00	0.27	0.10	0.89	-1.97^{E}-04	-4.52^{E}-04	-4.48^{E}-04	-1.29^{E}-04	6.77^{E}-04	5.59^{E}-04	5.18^{E}-04	3.85^{E}-04
ratw	1.00	0.36	0.25	0.97	0.60	0.34	0.26	0.29	1.49	0.52	0.18	0.78
raef	1.00	0.15	0.05	0.92	0.045	0.051	0.009	0.025	0.64	0.36	0.19	0.29
spetpw	0.53	0.20	0.05	0.47	-1.04	-1.00	-0.98	-0.39	4.45	0.88	0.89	2.09
sdfef	1.00	0.23	0.07	0.86	-0.02	-0.01	0.01	-0.01	0.16	0.17	0.17	0.09
sdffm	1.00	0.27	0.10	0.85	-2.21^{E}-03	-3.95^{E}-02	-5.17^{E}-02	-7.58^{E}-03	8.18^{E}-02	9.16^{E}-02	9.34^{E}-02	4.85^{E}-02
sri1045m	1.00	0.26	0.11	0.83	-3.90^{E}-04	1.15^{E}-03	2.11^{E}-03	1.18^{E}-04	4.64^{E}-03	5.84^{E}-03	6.43^{E}-03	3.02^{E}-03
st25ef	1.00	0.42	0.21	0.91	0.63	0.87	0.94	0.40	0.76	0.51	0.40	0.54
st25fm	1.00	0.57	0.50	0.96	0.07	0.17	0.19	0.09	0.17	0.09	0.06	0.11
lomax	1.00	0.27	0.08	0.81	-1.30	-2.73	-3.45	-0.83	3.90	3.69	3.19	2.32
fomax	0.78	0.23	0.10	0.70	-26.52	-14.29	-12.17	-10.17	230.10	53.87	19.74	88.52
pwl	0.98	0.21	0.07	0.81	249.70	-7.78	-17.20	-1.08	24438.46	22.32	22.05	27.49
br	0.80	0.31	0.19	0.75	2.06	5.18	1.31	1.15	270.10	32.94	27.13	59.60
sl	0.99	0.29	0.10	0.88	-364.94	-1.54	-1.54	0.02	36378.37	6.29	5.62	7.09
nni	0.93	0.32	0.15	0.80	43.97	50.15	56.84	-2.45	4622.70	116.79	74.19	879.54
npm2	0.88	0.31	0.13	0.84	-0.65	-0.88	-0.90	-0.32	2.16	1.24	1.10	1.16

Table C-8: Frequencies of selection, average estimated parameter values, and standard deviation of the parameter estimates obtained using four statistical methods (No selection, AIC=stepwise with AIC, BIC=stepwise with BIC, BMA=Bayesian Model Averaging). Results were obtained from 10 000 bootstrap samples of 40 plots. Twenty two candidate explanatory variables were considered

- frequency of selection of each variable across the bootstrap samples,
- mean of the estimated parameter values across the bootstrap samples,
- standard deviation of the estimated parameter values across the bootstrap samples.

The frequency of selection of a given explanatory variable corresponds to the number of bootstrap samples where this variable was selected (*i.e* where the corresponding parameter was not set equal to zero) divided by the total number of bootstrap samples (10 000). Mean and standard deviation were computed as $\frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\hat{\theta}_j^k$ and $\sqrt{\frac{1}{K-1}\sum_{k=1}^{K}\left(\hat{\theta}_j^k - \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\hat{\theta}_j^k\right)^2}$ respectively, where $\hat{\theta}_j^k$ is the estimated value of the jth model parameter obtained with the kth bootstrap sample and K is the number of bootstrap samples where the jth variable was selected. Only the selected variables were considered for computing the means and standard deviations of the estimated parameter values. Estimated parameter values were obtained from the R function glm for the 'no selection' method and for the two stepwise methods. For the BMA method, the estimated parameter values correspond to the posterior means computed by the R function bicreg (Eq.2). Note that the standard deviations could have been directly derived from glm. However, the standard deviations provided by glm are calculated just for the selected model and thus ignore the uncertainty induced by the selection procedures. They are thus likely to underestimate the true standard deviations of the parameter estimators (Burnham and Anderson, 2002). For this reason, we decided to compute the standard deviations from the estimated parameter values obtained with the bootstrap samples.

2.3 Results

2.3.1 Full set of explanatory variables

Frequency of selection

The selection frequencies are shown in Tables C-8 and C-9 for each explanatory variable, the four statistical methods, and two sizes of dataset (40 and 160 plots). A selection frequency close to 0 indicates that the corresponding variable was almost never selected in the 10 000 bootstrap samples. On the other hand, a selection frequency close to one indicates that the corresponding variable was nearly always selected. Selection frequencies close to zero or one thus reveal that the results provided by the statistical method are robust; there is not much variation across datasets. Selection frequencies close to 0.5 reveal that the results of the statistical method are not stable and are sensitive to variations in the dataset. Selection frequencies of the explanatory variables are thus good indicators of the stability of the selection method.

Table C-8 shows that the frequencies of selection obtained with samples of 40 plots ranged from 0.53 to 1 when no selection was performed, from 0.13 to 0.57 with the stepwise selection based on AIC, from 0.05 to 0.50 with the stepwise selection based on BIC, and from 0.47 to 0.97 with the Bayesian Model Averaging technique. The selection frequencies tended to be higher with 160 plots (Table C-9); from 0.95 to 1 when no selection was performed, from 0.14 to 0.89 with the stepwise selection based on AIC, from 0.02 to 0.86 with the stepwise selection based on BIC, from 0.48 to 0.98 with BMA.

	Frequency of selection				Average estimated parameter value				Standard deviation			
Variable	No selection	AIC	BIC	BMA	No selection	AIC	BIC	BMA	No selection	AIC	BIC	BMA
ndfr	1.00	0.44	0.05	0.70	2.25	2.57	2.04	0.84	1.45	1.42	2.19	1.35
ndefr	1.00	0.57	0.10	0.80	-4.66	-4.80	-4.42	-2.05	2.05	1.98	1.84	2.39
stpmw	1.00	0.39	0.16	0.84	0.03	0.01	-0.02	0.01	0.03	0.05	0.02	0.03
stmpef	1.00	0.26	0.05	0.70	0.07	0.07	0.06	0.02	0.08	0.06	0.03	0.04
sraw	1.00	0.32	0.02	0.83	-5.54^{E}-04	-5.61^{E}-04	-3.95^{E}-04	-1.78^{E}-04	3.95^{E}-04	4.51^{E}-04	4.72^{E}-04	3.77^{E}-04
sraef	1.00	0.34	0.07	0.75	-2.30^{E}-04	8.60^{E}-05	2.22^{E}-04	2.06^{E}-05	5.15^{E}-04	4.16^{E}-04	1.74^{E}-04	1.98^{E}-04
srafm	1.00	0.55	0.20	0.82	-3.08^{E}-04	-4.07^{E}-04	-4.24^{E}-04	-1.93^{E}-04	2.00^{E}-04	1.54^{E}-04	1.15^{E}-04	2.08^{E}-04
ratw	1.00	0.69	0.42	0.97	0.52	0.33	0.18	0.21	0.30	0.30	0.11	0.28
raef	1.00	0.18	0.04	0.72	0.14	0.14	0.07	0.02	0.20	0.19	0.10	0.08
spetpw	0.95	0.65	0.15	0.85	-0.63	-0.77	-0.81	-0.22	0.29	0.22	0.11	0.24
sdfef	1.00	0.22	0.03	0.56	-0.01	-0.02	0.01	0.00	0.05	0.08	0.09	0.03
sdffm	1.00	0.33	0.07	0.58	-1.65^{E}-02	-4.43^{E}-02	-5.80^{E}-02	-9.61^{E}-03	2.58^{E}-02	2.76^{E}-02	2.18^{E}-02	1.93^{E}-02
sri1045m	1.00	0.22	0.06	0.48	4.40^{E}-04	1.94^{E}-03	3.55^{E}-03	5.13^{E}-04	1.30^{E}-03	1.89^{E}-03	1.56^{E}-03	1.19^{E}-03
st25ef	1.00	0.76	0.26	0.89	0.50	0.53	0.59	0.27	0.22	0.18	0.15	0.27
st25fm	1.00	0.89	0.86	0.98	0.11	0.13	0.15	0.12	0.04	0.04	0.03	0.06
lomax	1.00	0.39	0.06	0.64	-0.76	-1.29	-1.71	-0.28	0.56	0.45	0.42	0.45
fomax	1.00	0.41	0.09	0.78	-3.44	-6.12	-8.66	-1.47	8.42	8.14	4.56	3.49
pwl	1.00	0.14	0.02	0.50	-0.40	-3.37	-7.08	-0.50	1.94	3.43	3.15	1.43
br	1.00	0.28	0.08	0.58	1.82	5.65	5.24	1.66	6.70	11.59	16.31	6.99
sl	1.00	0.32	0.07	0.61	-0.62	-1.03	-1.30	-0.23	1.58	2.06	2.33	1.01
nni	1.00	0.40	0.17	0.65	9.79	25.73	34.19	9.57	18.79	17.56	10.09	13.75
npm2	1.00	0.81	0.20	0.96	-0.25	-0.25	-0.31	-0.10	0.14	0.15	0.20	0.12

Table C-9 : Frequencies of selection, average estimated parameter values, and standard deviation of the parameter estimates obtained using four statistical methods (No selection, AIC=stepwise with AIC, BIC=stepwise with BIC, BMA=Bayesian Model Averaging). Results were obtained from 10 000 bootstrap samples of 160 plots. Twenty-two candidate explanatory variables were considered

With the 'no selection' method, most of the frequencies were 1, but some were lower. This is because no variation was generated for some of the 22 variables in a few bootstrap samples. This phenomenon can occur in reality because some events (e.g diseases) are rare and cannot be observed when the sample size is small.

Tables C-8-C-9 show that the frequencies of selection were invariably lower with the stepwise method based on BIC than with the stepwise method based on AIC. This result is due to the penalty term used in the BIC criterion, which makes this criterion more conservative (e.g Burnham and Anderson, 2002). It is interesting to note that the differences between the two stepwise methods were very large for several variables. For example, Table C-9 shows that the frequency obtained for the variable *npm2* was 0.81 with AIC but only 0.20 with BIC. This result shows that the variable npm2 was selected in more that 80% of the generated samples with AIC, but in only 20% of the samples with BIC. The probability of selecting *npm2* is thus much higher with AIC than with BIC.

The frequencies of selection obtained with BMA were systematically higher than the frequencies obtained with the two stepwise methods, but were lower than the frequencies obtained with the 'no selection' method (Tables C-8-C-9). As explained above, this result is due to the fact that the total number of possible models was very large (2^{22}) and that some models were excluded when their posterior probabilities were much lower than the posterior probability of the best model.

The stepwise method based on AIC often led to intermediate values of selection frequencies. With this method, the number of frequencies falling in the range 0.3-0.7 was 7 (out of 22 values) with 40 plots (Table C-8) and 13 (out of 22 values) with 160 plots (table C-9). Thus, the results of the selection were not clear-cut for many of the candidate variables with the stepwise method based on AIC. It can be concluded that, for this selection procedure, the sets of selected variables were not robust when the dataset was changed.

The number of selection frequencies in the range 0.3-0.7 was lower with stepwise regression based on BIC and with BMA. The results are thus more robust with these methods. However, the stepwise method based on BIC and BMA behaved quite differently; most of the frequencies were below 0.3 with the stepwise BIC method, but most of the frequencies were above 0.7 with BMA. The probabilities of selecting the explanatory variables were thus high with BMA and low with the stepwise method based on BIC.

<u>Average of parameter estimates and standard deviations</u>

The distributions of estimated parameter values were summarized by their average values and standard deviations (Tables C-8-C-9). Examples of distributions of estimated parameter values are given in Figure C-8.

Figure C-8 and the average values reported in Tables C-8-C-9 show that the estimated parameter values obtained with BMA (*i.e* the posterior means) were shrunk back toward zero. The distributions of the estimated parameter values were more peaked around zero with BMA than with the three other statistical methods (Figure C-8). This result is confirmed by the average

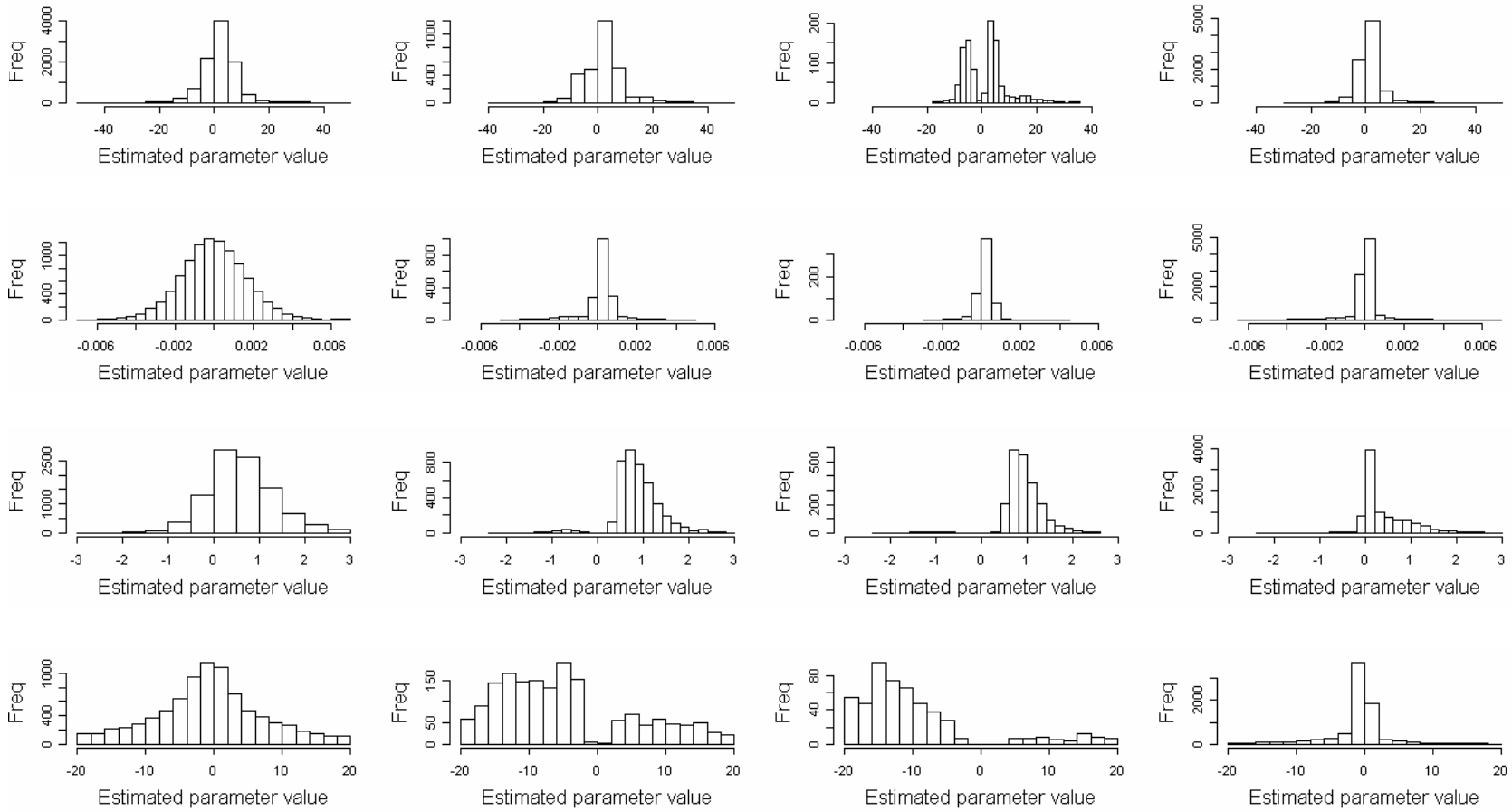


Figure C-8: Distributions of the estimated parameter values obtained with the four statistical methods. Row = parameters. Column = methods (No selection, AIC=stepwise with AIC, BIC=stepwise with BIC, BMA=Bayesian Model Averaging). Results obtained from 10 000 bootstrap samples of 40 plots. 22 candidate explanatory variables were considered, only four of them are represented, as an illustration. Extreme values are not shown on this figure

parameter values reported in Tables C-8-C-9. The absolute values of the averages tended to be closer to zero with BMA than with the other methods. This was the case for 16 out of 22 parameters with 40 plots (Table C-8) and for 18 out of 22 parameters with 160 plots (Table C-9). For example, when the bootstrap samples include 160 plots, the average value of the parameter estimates associated with the variable *br* (score for brown rust) was 1.66 with BMA and to 5.24 with the stepwise method based on BIC (Table C-9). Thus, the estimated effect of brown rust on yield loss was much higher with the stepwise method based on BIC than with BMA.

The standard deviations obtained with the four statistical methods were also very different (Tables C-8-C-9). The standard deviations were larger with the 'no selection' method for most of the parameters, especially when the sample size was small (40 plots). With 40 plots, the 'no selection' method gave the highest standard deviations for 18 out of 22 parameters (Table C-8). For example, the standard deviation of the parameter estimator associated with the variable *pwl* was 24438.5 and about 97 times higher than the corresponding average estimated parameter values. The standard deviations obtained for the same parameter were much lower with the other statistical methods: 22.32, 22.05, and 27.49 with stepwise AIC, stepwise BIC, and BMA respectively (Table C-8). Standard deviations were more similar when the parameters were estimated from 160 plots (Table C-9). The lowest standard deviations were obtained with stepwise BIC or with BMA for 21 out of 22 parameters (Table C-9).

2.3.2 Reduced set of explanatory variables

Frequency of variable selection

The selection frequencies are shown in Table C-10 for each of the five explanatory variables, the four statistical methods, and two sizes of dataset (40 and 160 plots).

Table C-10 shows that the frequencies of selection obtained with the 'no selection' method and with BMA were 1 or 0.99 for all parameters and both sample sizes. This shows that, for these two statistical methods, the five candidate variables were almost invariably selected in the 10000 samples. This is because only five explanatory variables are considered. The total number of possible models was 2^5 and all models were computed by the bicreg function.

The selection frequencies of the stepwise method based on AIC were in the ranges 0.20-0.79 and 0.22-1.0 with 40 and 160 plots respectively. The frequencies obtained with BIC were always lower.

Several of the selection frequencies obtained with the two stepwise methods were close to 0.5. For example, when the sample size was fixed at 160 plots, the selection frequency of the variable *stpmw* was 0.68 with AIC and 0.33 with BIC. This intermediate frequency values indicate that the result of the stepwise selection methods is not always robust if the dataset changes.

Average of parameter estimates and standard deviations

The distributions of estimated parameter values were summarized by their average values and standard deviations (Table C-10). As already noted with the full set of explanatory variables, the estimated parameter values obtained with BMA (*i.e* the posterior means) were shrunk.

	Frequency of selection				Average estimated parameter value				Standard deviation			
Variable	No selection	AIC	BIC	BMA	No selection	AIC	BIC	BMA	No selection	AIC	BIC	BMA
Sample size = 40 plots												
ndefr	0.99	0.24	0.12	0.99	-1.39	-4.16	-6.00	-0.75	3.17	4.53	4.70	2.17
stpmw	1	0.32	0.16	1	-0.014	-0.029	-0.034	-0.007	1.99^{E}-02	2.06^{E}-02	1.94^{E}-02	1.22^{E}-02
sraw	1	0.25	0.13	1	7.9^{E}-05	2.1^{E}-04	3.0^{E}-04	5.1^{E}-05	1.61^{E}-04	2.19^{E}-04	1.99^{E}-04	1.04^{E}-04
sdffm	1	0.20	0.08	1	-0.011	-0.031	-0.040	-0.004	0.046	0.077	0.090	0.024
st25fm	1	0.79	0.67	1	0.14	0.18	0.19	0.12	0.073	0.049	0.043	0.080
Sample size = 160 plots												
ndefr	1	0.22	0.06	1	-0.75	-2.00	-2.98	-0.21	1.16	1.44	1.87	0.70
stpmw	1	0.68	0.33	1	-0.016	-0.020	-0.023	-0.008	8.32^{E}-03	5.60^{E}-03	4.23^{E}-03	9.01^{E}-03
sraw	1	0.33	0.08	1	8.0^{E}-05	1.4^{E}-04	1.9^{E}-04	2.4^{E}-05	7.30^{E}-05	6.12^{E}-05	7.03^{E}-05	4.86^{E}-05
sdffm	1	0.23	0.05	1	-0.015	-0.035	-0.050	-0.004	0.021	0.025	0.025	0.0108
st25fm	1	1.00	0.99	1	0.14	0.15	0.16	0.16	0.032	0.032	0.028	0.0338

Table C-10: Frequencies of selection, average estimated parameter values, and standard deviation of the parameter estimates obtained using four statistical methods (No selection, AIC=stepwise with AIC, BIC=stepwise with BIC, BMA=Bayesian Model Averaging). Results were obtained from 10 000 bootstrap samples of either 40 or 160 plots. Five candidate explanatory variables were considered

back toward zero. The absolute values of the average parameter estimates tended to be closer to zero with BMA than with the other methods. This was the case for all the five parameters with 40 plots and for four parameters with 160 plots (Table C-10). For example, when the bootstrap samples include 160 plots, the average value of the parameter estimates associated with the variable *stpmw* was -0.008 with BMA, -0.023 with the stepwise method based on BIC, -0.020 with the stepwise method based on AIC, and -0.016 with the 'no selection' method (Table C-10). Thus, in most cases, the estimated effects of explanatory variables on yield losses were smaller with BMA than with the three other statistical methods.

The smallest standard deviations were obtained with BMA in most situations. This was the case for four out of five parameters with a sample size of 40, and for three out of five parameters when the sample size was 160 (Table C-10). For example, when the sample size was fixed at 160, the standard deviation of the parameter estimator associated with the variable *sdffm* was 0.011 with BMA, 0.021 with the 'no selection' method, and 0.025 with the two stepwise methods. For both sample sizes, the standard deviations obtained with the reduced set of explanatory variables were almost all smaller than the values obtained with the full set of explanatory variables. For example, the standard deviation associated with *stpmw* was 0.16 with the method 'no selection', N=40, and the full set of explanatory variables (Table C-8), but was 0.02 with the same method and the reduced set of variables (Table C-10). The only exceptions were the standard deviations of the parameters associated to *ndefr* and *sdffm* with the stepwise BIC method.

2.4 Discussion and conclusion

Our results illustrate the practical value of the bootstrap re-sampling technique to assess selection procedures used in yield gap analysis. This technique allowed us to assess the robustness of the selected sets of explanatory variables to variations in the dataset and to the statistical methods used to perform the selection. As computer power now permits intensive calculations, we recommend agronomists to implement the bootstrap approach to assess the results of their yield gap analysis studies. Bootstrap methods can be used to complement an independent evaluation of the models, to make a preliminary assessment of the stability of the model (Guisan and Zimmermann, 2000). The bootstrap technique can efficiently allow insight into model uncertainty and, consequently, it allows agronomists to compare various statistical methods for selecting explanatory variables and for estimating the effects of limiting factors.

Our results show that the frequency of selection of the explanatory variables and the estimated parameter values were dependent on the selection method, on the number of candidate explanatory variables, and on the size of the datasets. Our case study showed that selection frequencies obtained with a stepwise method based on the AIC criterion often took intermediate values, in the range 0.3-0.7. This indicates that the results obtained with this selection procedure were not robust and that the set of selected variables was highly dependent on the dataset used for the analysis. The selection frequencies obtained with the three other statistical methods were more extreme, either closer to zero or closer to one. The results obtained with these methods were thus more stable. The frequencies of selection obtained with the stepwise method based on BIC were below 0.3 for most of the explanatory variables. This selection method is thus conservative as it does not easily select the candidate explanatory variables. This can be

problematic when one really needs to estimate the effect of a given limiting factor in a yield gap analysis study. The frequencies of selection obtained with the 'no selection' method and with BMA were above 0.7 for most of the explanatory variables, especially when the sample size was set to a high value and when the number of candidate variables was small.

The standard deviations of the parameter estimates were very large with the 'no selection' method when the number of candidate explanatory variables was 22 and the sample size was 40. This is logical because the number of parameters was very large compared to the number of available data in this case, and the estimation of 22 parameters led to inaccurate results. The standard deviation values were more even when the sample size was higher and/or the number of candidate variables fell to five. The smallest standard deviations were obtained with BMA for many parameters, but this was not always so. Small standard deviations were also obtained with the stepwise selection method based on BIC.

Our case study also shows that the parameter estimates obtained with BMA were shrunk back toward zero compared to the values obtained with the other methods. This is because each parameter estimate corresponds to a posterior mean computed from a large number of models and the parameter is set at zero in several of these models. Another explanation is that, according to Steyerberg et al. (1999), Miller (2002), and Burnham and Anderson (2002), the parameter estimates obtained with stepwise selection methods tend to be biased away from zero when the same dataset is used for both selection and estimation and, so, tend to be too extreme. However, the parameter estimates obtained with BMA may be too small compared to the true parameter values. This aspect needs further investigations.

The sensitivity of the results of stepwise methods illustrated in this paper show that these selection techniques can lead to inaccurate diagnosis of the main limiting factors, especially when the number of explanatory variables is large compared with the size of the dataset used to estimate their effects. Nevertheless, stepwise methods can be useful when the ratio of the number of observations to the number of explanatory variables is high, since these methods lead to a reduction in the number of parameters and in the standard deviations of the estimators. Our results show that BMA represents a useful alternative. The stability of a set of selected variables was higher with BMA than with stepwise methods, and BMA gave estimators with small standard deviations.

When the sample size was low (N=40), the estimation of the full set of parameters was problematic with all statistical methods; the standard deviations of the parameter estimators were high compared to the estimated values. The value of reducing the set of explanatory variables by expertise was studied in our paper. The reduced set of variables included five variables related to weather factors which were supposed to have a predominant effect because high fertilizer rates and full pesticide treatments were applied in our experimental plots. The use of a reduced set of explanatory variables decreased the standard deviations of the parameter estimators. However, it is important to note that the use of a reduced set of explanatory variables can induce an omission bias when important variables are omitted (Miller, 2002). As omission bias cannot be easily detected, expertise must be used with care for reducing the complexity of models.

2.5 Acknowledgements

We are grateful for the financial support from the FSOV (Fonds de soutien à l'obtention végétale- French fund for plant breeding) and the ANR (French Research Agency) under the program JCJC. The field trials used in this study were carried out by the plant breeders of the "Club des 5" group, by GEVES (Groupement d'Etudes des Variétés et Semences – Group of cultivars and seeds), by ARVALIS Institut du Végétal and by INRA (French National Institute for Agricultural Research). We also thank C. Cadet for technical assistance and A. Scaife for correcting the English language

IV. Discussion : traitement des questions et connaissances produites

1. Les difficultés à penser la production de connaissances

Nous souhaitons ici discuter de la façon dont les agronomes s'approprient ou pourraient s'approprier dans leur activité les questions issues du processus de travail avec les acteurs de l'évaluation variétale. Ces questions émergent en lien avec l'activité d'évaluation variétale : elles apparaissent dans la confrontation de l'expertise des acteurs de l'évaluation variétale et des modèles qu'ils ont élaborés à propos des variétés et de leur comportement au champ à ceux des agronomes. Les questions qui émergent de ce processus sont en conséquence sensiblement différentes de celles qui peuvent émerger entre agronomes, ou entre scientifiques, ou au sein d'instances de recherche plus académiques. Elles sont par nature liées à la situation de travail, l'activité des acteurs de l'évaluation et à l'objectif, ingénierique, de production d'un outil. Pourtant, nous pensons avoir montré qu'elles n'en constituent pas moins des questions scientifiques intéressantes pour les agronomes et qu'elles permettent aux agronomes simultanément de les traiter et de répondre aux attentes des acteurs.

1.1 Les inconforts

Deux difficultés sont à souligner par rapport au traitement des questions issues du processus.

La première concerne le **choix fait parmi les questions et notre difficulté à savoir, parfois, à qui adresser la question**. Si nous posons l'hypothèse qu'une question scientifique est une question qui a une portée plus large ou plus « universelle » que celle d'un groupe d'acteurs, il faut arriver à différencier dans les questions renvoyées par les utilisateurs celles qui ont une portée générale dans la discipline agronomique et celles qui restent liées aux problèmes d'usage et d'utilisation. Le rôle de l'agronome est alors de savoir extraire des discours et débats des acteurs l'essence d'une interrogation scientifique. Or il nous a parfois été difficile de faire le tri entre les questions qui relevaient d'un changement des pratiques des acteurs et celles qui relevaient de la responsabilité des agronomes pour trouver des réponses. Nous avons présenté deux cas (parties II et III) où nous avions repéré la possibilité d'avoir une production scientifique à partir de questions des acteurs. Mais nous avons également fait apparaître nos interrogations sur les questions autour des notations maladies ou autour du mode d'emploi de DIAGVAR, en ce qui concerne les données manquantes par exemple, deux types de questions qui peuvent être renvoyées aux acteurs ou, au moins, être partiellement résolues en modifiant leurs pratiques. Ce genre d'hésitations a ponctué fréquemment les échanges de la phase 3 entre agronomes. Il s'agit là d'une vraie difficulté liée au type de démarche entreprise et qu'il est difficile de dépasser. Notre façon de choisir les quelques questions que nous avons analysées a finalement été pragmatique. Les questions choisies étaient celles qui paraissaient avoir un intérêt scientifique, qu'il était possible de traiter dans un temps court et pour lesquelles nous disposions de compétences et de ressources (données expérimentales par exemple) disponibles. Mais beaucoup de questions sont sorties du processus. Or à partir du moment où ces questions ont été identifiées comme ayant un intérêt scientifique, comment justifier de n'en traiter qu'une partie ? Comment les hiérarchiser ? Comment informer les acteurs de ces choix et leur faire partager ? Comment répondre à cette

abondance de questions ? Un objectif de ce travail de thèse visait principalement à faire la démonstration de la richesse du processus d'interaction entre « chercheurs-concepteurs » et « acteurs-utilisateurs » pour l'activité des chercheurs agronomes. Cet objectif a été atteint, mais comment aller au-delà et travailler sur la façon de gérer l'équilibre entre évolution du modèle agronomique et évolution des pratiques des acteurs de l'évaluation variétale dans une démarche de conception pour des chercheurs agronomes ?

La seconde question concerne le **niveau d'utilité des réponses apportées aux questions**.
Dans le cas du travail sur les liens INN/SPAD, cette utilité a été bien établie. Le travail a été présenté aux acteurs, au cours des réunions d'étape du projet FSOV, et des réunions d'avancement du front méthodologique 2 au GEVES. Tous ont été intéressés par la possibilité de remplacer les mesures d'INN et par la souplesse associée à l'utilisation des chlorophylle-mètres. Certains obtenteurs, ainsi que les responsables du GEVES, se sont engagés à collecter des données supplémentaires (mesures simultanées d'INN et de SPAD sur quelques essais) afin d'évaluer la relation de l'article, qui n'a été établie que sur un lieu, de tester sa qualité prédictive dans une plus large gamme de conditions environnementales. D'autre part, la responsable de l'évaluation variétale chez Arvalis-Institut du végétal a proposé de valoriser les nombreuses données dont ils disposent pour tester, voire améliorer la relation que nous avons établie : Arvalis est en effet un partenaire de longue date de l'entreprise Yara, conceptrice de l'outil N-tester. L'indicateur fourni par les chlorophylle-mètres est d'autre part celui qui a été retenu pour être testé par le GEVES dans le cadre du développement de DIAGVAR sur l'espèce maïs. D'autres expérimentations sont donc en cours autour de cette question qui continue à vivre chez les utilisateurs.
Un point mérite notamment d'être davantage creusé par rapport aux pratiques expérimentales des acteurs : l'intérêt d'utiliser un index des mesures de chlorophylle-mètres (index calculé par rapport à une culture surfertilisée). Dans une même situation expérimentale, les valeurs moyennes des chlorophylle-mètres varient entre variétés selon l'épaisseur de la feuille, la couleur des feuilles de la variété, etc. Il est donc difficile d'utiliser des mesures de chlorophylle-mètres dans l'absolu, la référence à la variété étant indispensable. Pour réduire ce problème, nous proposons d'utiliser un index SPAD, ratio de la valeur mesurée sur une variété donnée dans une parcelle sur la valeur mesurée sur la même variété dans une parcelle non limitée en azote. On obtient alors des valeurs comparables d'une variété à l'autre. Cette solution nous paraissait pouvoir être mise en pratique par les acteurs de l'évaluation variétale car tous disposent de modalités non limitantes en intrants, menées avec des stratégies d'assurance, dans leurs essais variétaux. Notre proposition était donc qu'ils utilisent ces modalités pour obtenir la référence variétale qui permet d'établir l'index. Cependant ces modalités « non limitantes » des essais variétaux ne sont pas toujours à l'abri de facteurs limitants pouvant perturber l'absorption de l'azote par la plante (par exemple en cas de sécheresse, voir le chapitre A). Dans ce cas, notre hypothèse d'utiliser les modalités non limitantes comme références de situations bien alimentées en azote peut être mise en défaut. De plus, si l'hypothèse ne posait pas de problèmes aux partenaires du GEVES ou d'Arvalis, les obtenteurs semblaient craindre qu'elle ne soit pas systématiquement vérifiée dans leurs essais. Il conviendrait donc de vérifier cette hypothèse pour s'assurer définitivement de la faisabilité d'utiliser un chlorophylle-mètre. Si l'hypothèse devait être infirmée, d'autres pistes devraient être explorées mais hors du champ des outils basés sur les propriétés optiques de la chlorophylle. En

effet, l'utilisation du GPN® ou du N-sensor, des outils de télédétection basés cette fois sur la réflectance des cultures, a parfois été évoquée, mais cela ne résoudrait pas le besoin d'avoir une modalité non limitante en azote (ou de disposer d'une bande surfertilisée…).

Dans le cas du travail sur les méthodes statistiques du diagnostic agronomique, les connaissances produites semblent être moins directement actionnables par les acteurs.
Le travail, réalisé en collaboration avec un chercheur statisticien, était ambitieux et nécessitait un travail de programmation conséquent. Initialement, un grand nombre de bases de données différentes devaient être explorées pour pouvoir décrire aux utilisateurs les exigences minimales sur les réseaux pour garantir un résultat fiable de cette étape d'analyse des données. Nous pensions explorer différentes configurations en termes de nombres d'années, nombres de milieux, nombre de conduites…pour parvenir à caractériser les réseaux. Le travail s'est en fait réorienté vers des aspects de méthodologie statistique car cet objectif initial était trop lourd. En effet, il était nécessaire d'explorer la stabilité des méthodes statistiques en réponse à de petites variations des données sans chercher à structurer ces variations dans un premier temps. Ce travail était déjà conséquent en termes de programmation et en termes de résultats. En conséquence, l'article présenté ci-dessus constitue une réponse à une première question « quelle est la méthode la plus stable ? » et non à la question plus large « faut-il adapter la méthode à la base de données ? ». Nous avons pu mettre en évidence les différences de stabilité des méthodes de sélection dans la discrimination des facteurs ayant limité le rendement mais nous n'avons pas été en mesure d'établir des prescriptions très précises quant au choix de la méthode à utiliser. Nous n'avons pas pu investiguer comment les méthodes statistiques réagissaient de manière différenciée et spécifique à des critères qui nous auraient permis de comprendre ce qui caractérise un réseau.
D'autre part, pour les besoins de l'étude, le modèle de DIAGVAR a dû être simplifié pour répondre aux exigences d'un article scientifique orienté sur des éléments statistiques. Dans l'article, la méthode la plus proche de celle de DIAGVAR est en fait la méthode stepwise forward basée sur le critère AIC (et non plus sur le critère d'un test de Fisher à 15% comme dans la méthode utilisée par C. Lecomte) et ne bénéficiant plus des corrections qui avaient été introduites par C. Lecomte pour garantir la validité agronomique des facteurs limitants sélectionnés. Les indicateurs de facteurs limitants, variables explicatives de la stepwise, ne sont plus convertis sur une échelle commune mais sont laissés à leurs valeurs brutes car la détermination des valeurs aux bornes de cette échelle était, elle aussi, sujette à discussion. Via ces quelques simplifications, nous avons réduit l'expertise agronomique introduite dans la méthode, allant ainsi à l'encontre de ce que nous encourageons dans l'article (voir le paragraphe II.2). Nous avons également réduit le nombre de facteurs limitants introduits dans le modèle. Nous avons pour cela regroupé certaines phases de développement (par exemple en proposant des indicateurs sur une période remplissage et non plus sur des périodes floraison/stade laiteux, stade laiteux/maturité) et nous avons supprimé des facteurs limitants redondants (par exemple, les indicateurs nj25fl et st25fl qui décrivent le même problème de températures maximales journalières supérieures à 25°C, le premier en nombre de jours et le second en somme des températures journalières). Nous avons ainsi réduit le nombre de facteurs limitants à 22 au lieu des 82 initialement étudiés. Le travail n'est donc pas directement utilisable par les acteurs de l'évaluation variétale. Il amène néanmoins des

conclusions intéressantes pour eux. Il les alerte quant à l'instabilité de la méthode en lien aux variations de la base de données, qui pourrait s'avérer redoutable au regard de la diversité des bases de données des acteurs et des sous-ensembles qu'ils pourraient vouloir explorer. Au cours de la phase 2 par exemple, nombreux sont ceux qui ont exploré l'outil en découpant leurs données et en testant de très petites combinaisons de milieux, ce qui repose immédiatement le problème du ratio évoqué dans l'article entre le nombre de variables à estimer et le nombre de données disponibles. Ce travail a également été l'occasion d'explorer une nouvelle gamme de facteurs limitants, réduite par rapport à celle proposée initialement dans DIAGVAR. Or, les trois groupes d'acteurs avaient tous critiqué l'abondance des facteurs limitants et leur redondance. Le fait que nous ayons dû étudier les possibilités de supprimer certains indicateurs, tester leurs corrélations, faire des choix parmi les facteurs redondants, reformuler certains indicateurs en regroupant certaines phases du développement proposées à l'origine, constitue donc un travail utile aux acteurs. Nous avons d'ailleurs présenté cette nouvelle gamme de facteurs limitants aux trois groupes d'acteurs, et notamment aux acteurs du GEVES que nous avons consultés au cours de ce travail et qui ont débattu de la pertinence des ajustements faits. Les réactions ont été très positives, même si certains indicateurs de facteurs limitants sont parfois apparus trop globaux. Par exemple, nous avions proposé de n'avoir qu'un seul indicateur « maladies du pied de la plante » au lieu d'avoir des indicateurs séparés « piétin verse », « fusariose des tiges » et « rhizoctone ». Mais les acteurs nous ont demandé de conserver la distinction car ils souhaitaient pouvoir évaluer la résistance de leurs variétés au piétin verse spécifiquement. Il s'agit d'un exemple simple mais il y a fort à parier que nous trouverons d'autres cas de ce genre dans notre gamme de facteurs limitants. Ainsi, la réduction de facteurs limitants que nous avons proposée découlait principalement des exigences scientifiques et statistiques permettant de publier nos résultats. Il convient désormais de l'adapter aux exigences et aux attentes des acteurs, ce qui nous conduira très certainement à trouver un compromis entre la gamme utilisée à l'origine et celle utilisée dans l'article ci-dessus. Dernier point qu'il nous semble intéressant de souligner, le travail sur la stabilité des méthodes nous a amenée à recommander d'effectuer un premier tri des facteurs limitants ayant pu joué dans le réseau par expertise. Ce faisant, il va dans le sens de notre travail avec les utilisateurs potentiels de DIAGVAR et nous encourage à laisser davantage de prises à l'expertise dans l'outil.

1.2 Un cadre pour les résoudre

Ces difficultés nous ont amenée à chercher un cadre dans lequel situer notre réflexion, afin de mieux visualiser dans quel espace nous circulons lorsque nous produisons des connaissances, les voies qu'on explore et celles qui restent en suspens.

Nos difficultés tiennent au fait que nous nous situons dans le cadre d'un projet à dominante ingénierique, orienté vers la production d'un outil mais aussi vers le développement des activités des acteurs de l'évaluation. Notre travail est donc marqué par l'opérationnalité et la situation des acteurs qui pourraient utiliser l'outil. Pour autant, nous avons l'ambition de montrer que ce cadre permet la production de connaissances scientifiques. Cela nous a amenée à nous interroger sur la manière dont nous avons navigué entre production de connaissances et situation d'usage de ces connaissances, deux espaces qui nous préoccupent tout autant.

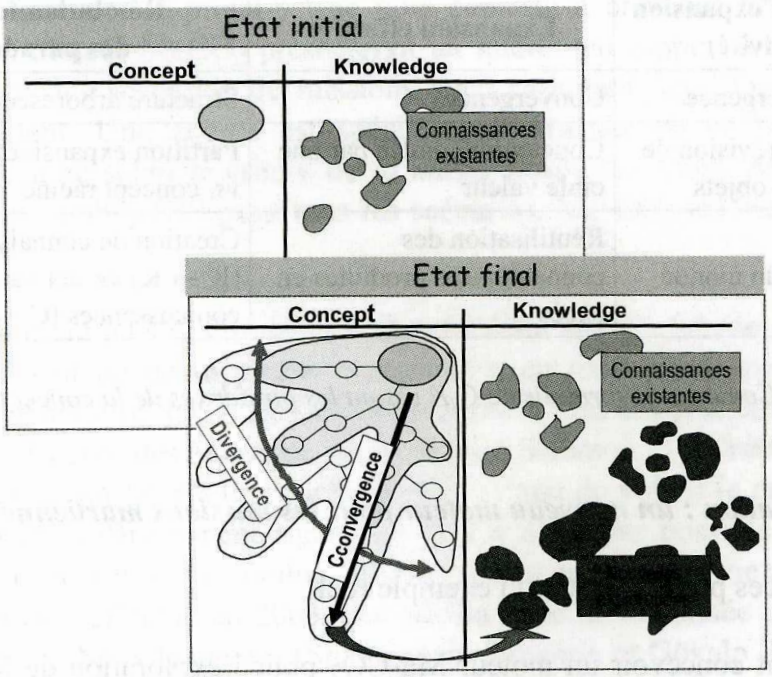


Figure C-9 : exemple de représentation de la théorie C-K (Le Masson et al., 2006)

A l'issue d'un premier cycle de recherche sur un moteur pour les missions martiennes, il apparaît que le nouveau moteur imaginé est moins bon qu'un carburant classique pour tous les scénarios de mission envisagés par les concepteurs. En replaçant toutes les recherches effectuées sur ce moteur en cours de conception avec le formalisme C-K, les chercheurs ont permis de rendre apparentes les connaissances supplémentaires crées jusque là. Ces connaissances ont invité à structurer différemment les missions. Ce faisant, le concept initial a été partitionné en « utilisé uniquement sur Mars » et « utilisé ailleurs ». Cela a permis de mettre en évidence l'ouverture d'un nouvel espace de connaissances à explorer, connaissances qui ont conduit, une fois produites, à de nouveau spécifier le concept. Le jeu des expansions successives permet de réviser profondément l'identité de l'objet en cours de conception, et de revoir les critères de son évaluation. La conséquence de cet effort de conception n'a pas été négligeable puisqu'il a dégagé un espace de valeur pour le moteur imaginé, qui est redevenu finançable par les bailleurs de fond.

Cadre C-4 : illustration du cadre C-K : un nouveau moteur pour les missions martiennes (Le Masson et al., 2006, pp.284-288

La théorie C-K développée par Hatchuel et Weil (2002, 2003), Hatchuel et al. (2004), Le Masson et al. (2006, chapitre 10) nous a éclairée par rapport à cette question. Dans cette théorie portant sur une proposition d'organisation du raisonnement de la conception innovante, les auteurs identifient des espaces dans lesquels circulent les concepteurs : l'espace des concepts (C) (la notion de concept étant prise ici comme relative à l'idée de conception : « la pile à combustible », « internet dans la voiture », « la voiture féminine ») et l'espace des connaissances (K). La conception, d'après les auteurs, cherche à étendre les concepts avec la connaissance existante et étendre les connaissances avec les concepts existants. Les concepteurs travaillent alors du champ K au champ C, du champ C au champ K mais aussi à l'intérieur du champ C et à l'intérieur du champ K. Le champ des concepts et celui des connaissances peuvent donc évoluer, être spécifiés, retravaillés et le sont l'un en rapport avec l'autre. Nous avons reproduit dans la figure C-9 un schéma de synthèse sur le processus C-K. A gauche, nous trouvons la situation initiale : le concept est encore peu spécifié et on ne trouve dans le champ des connaissances que quelques connaissances de référence. Plus bas et à droite, se trouve la situation après quelques étapes de conception : le concept est davantage spécifié et de nouvelles connaissances sont apparues. Le fait de présenter ainsi le processus de conception permet aux auteurs de formaliser des allers-retours et de procéder de façon rigoureuse dans l'exploration des possibilités. Les auteurs développent par exemple l'exemple d'un projet de conception d'un moteur pour les missions martiennes en montrant que la structuration du projet dans ces espaces a permis de débloquer ce projet qui n'avançait plus. Nous en donnons quelques détails dans le cadre C-4. En traçant le raisonnement qui avait déjà été mené dans les espaces C-K, les concepteurs ont été amenés à préciser concepts et connaissances : ils ont utilisé les connaissances produites dans le projet bloqué pour partitionner leur concept. Ils ont donc précisé le concept qu'ils prétendaient réellement étudier, ce qui leur a permis de justifier de nouveaux financements et de relancer leur projet.

La conceptualisation de la théorie C-K va bien au-delà de ces quelques éléments. Ce qui nous intéresse dans cette théorie, c'est la vision de deux espaces distincts qui se spécifient l'un et l'autre dans la conception. Mais il nous semble décisif de rajouter un troisième espace à ces deux premiers : celui de la situation singulière d'action, c'est-à-dire l'espace dans lequel le concept va être mis en action, que nous appellerons « espace A ». Les inconforts cités dans le paragraphe précédent semblent en effet pouvoir être dépassés en comprenant mieux comme se fait la circulation entre l'espace de l'action, celui des connaissances et celui des concepts, dans le cadre d'un projet de production ingénierique. Ce que nous ajoutons au cadre proposé par la théorie C-K réside dans l'étude de la façon dont la singularité des situations est intégrée dans la production ingénierique.

Nous proposons donc dans la partie suivante de formaliser notre production dans ce cadre C-K-A en spécifiant les situations singulières d'action des acteurs concernés, les différents champs de connaissance explorés et comment les situations d'usage mettent en mouvement les connaissances et le concept du projet. Il ne s'agit pas de mobiliser cette théorie comme une aide au pilotage du processus de conception, ainsi que cela est envisagé par Le Masson et al. (2006) mais de s'en servir pour revenir sur le processus sous l'angle des connaissances qu'il permet de développer dans une dynamique entre l'espace des concepts et l'espace des situations singulières.

Ce faisant, nous serons aussi conduite à préciser la dynamique des concepts et la façon dont elle soutient une vision partagée entre agronomes et ergonomes.

2. Déclinaison du cadre C-K-A dans notre travail

2.1 Le concept

Si l'on se réfère à ce que les auteurs de la théorie C-K appellent un concept, nous pouvons dire que notre concept initial est un outil d'évaluation des variétés. Plus spécifiquement, nous avons vu que nos recherches se sont surtout concentrées sur l'étape de diagnostic agronomique réalisée par l'outil. C'est donc rapidement l'idée d'automatiser ce diagnostic agronomique basé sur quelques génotypes révélateurs qui est devenu notre concept.

2.2 Les situations singulières d'action

La situation spécifique dans laquelle notre concept va être appliqué est celle de l'activité d'évaluation des variétés. Nous avons déjà eu l'occasion de spécifier ses caractéristiques (chapitres A et B).

2.3 Les champs de connaissances explorés

D'après la partie I de ce chapitre, deux grands champs de connaissance agronomiques ont été explorés dans ce travail :

- Les connaissances sur le diagnostic agronomique au travers des questions sur les données d'entrée du diagnostic, la gamme des indicateurs de facteurs limitants et leur définition, le choix des génotypes révélateurs.
- Les connaissances sur la modélisation et l'évaluation de cette modélisation au travers des questions sur la quantification des relations entre facteurs limitants et perte de rendement, les critères pour juger de la pertinence des résultats du diagnostic, la gestion des données manquantes, l'étude de la stabilité des méthodes statistiques en lien avec la variabilité des bases de données et la détermination de données comme le rendement potentiel des génotypes révélateurs.

Ces deux champs sont relativement intégrateurs : de nombreuses disciplines scientifiques cohabitent dans chaque champ (écophysiologie, malherbologie, pathologie pour le diagnostic agronomique par exemple, statistiques et écophysiologie pour la modélisation par exemple). Ces disciplines se trouvent mobilisées pour résoudre un problème agronomique donné.

3. Circulation entre les espaces C-K-A

Quelle circulation se met en place entre les trois espaces ? Dans notre travail, nous avons fait interagir acteurs et chercheurs autour de la production d'un outil. Comment cela se manifeste-t-il dans le champ des connaissances produites ? Dans les deux paragraphes suivants, nous allons montrer en quoi les champs de connaissance ont été mis en mouvement par l'espace A en nous basant sur les deux questions traitées en profondeur : celle de l'indicateur azote et celle de la stabilité des méthodes statistiques. Nous montrerons ensuite comment ce travail conduit aussi à

faire évoluer le concept initial et à identifier plusieurs concepts possibles pour poursuivre le travail.

3.1 Connaissances mises en mouvement dans le travail sur l'indicateur azote

Du point de vue scientifique, ce travail se situe dans le champ des connaissances sur le diagnostic agronomique et plus spécifiquement, sur les indicateurs nécessaires en entrée pour réaliser le diagnostic. Or le travail que nous avons effectué apporte un traitement différent de la problématique des indicateurs du statut azoté d'une parcelle parce qu'il a été construit à partir de la situation de l'activité d'évaluation. C'est ce qui fait son originalité, de poser les questions liées à ces indicateurs en partant de l'usage qui en est fait ou envisagé. S'interroger sur les liaisons SPAD/INN et sur la stabilité de la valeur des mesures SPAD dans le temps était de fait nouveau dans la littérature agronomique. Nous avons trouvé un seul article dans la littérature s'intéressant au lien entre INN et SPAD, sur blé dur (Debaeke et al., 2006), travail qui a d'ailleurs été soutenu par le GIE Blé Dur (intégrant les sociétés Benoist, Desprez, Eurodur, Groupe GAE semences, RAGT et Serasem). Nos interrogations n'auraient donc sans doute pas émergé si les questions n'étaient pas parties de la situation dans laquelle l'indicateur doit être mis en action. Préciser le comportement d'un indicateur dans le temps en se demandant quelle est la stabilité du SPAD autour de la floraison n'est intéressant que parce qu'il y a une utilisation derrière, celle permettant aux expérimentateurs de ne pas trop modifier l'organisation de leurs visites d'essais. Chercher des corrélations entres INN et mesures SPAD ne pose question que si on a l'ambition de remplacer un indicateur du statut azoté reconnu scientifiquement par un indicateur plus facile à mettre en œuvre. Etudier les conditions de ce remplacement en montrant la nécessité d'utiliser un index SPAD, et non les mesures SPAD directement, découle également de l'objectif que fixent les utilisateurs à la mesure d'un indicateur du statut azoté, celui de disposer d'une mesure stable entre variétés pour caractériser leurs essais.

Nous placer dans la situation de l'activité d'évaluation nous a donc conduite à spécifier les connaissances du champ du diagnostic.

3.2 Connaissances mises en mouvement dans le travail sur la stabilité des méthodes statistiques

Du point de vue des connaissances produites, les intérêts d'un tel travail sont variés.
Il permet, en premier lieu, d'aborder explicitement la problématique des caractéristiques et exigences statistiques de méthodes largement utilisées par les agronomes, exigences qui sont parfois un peu oubliées. L'augmentation de la puissance de calcul, notamment, rend possible l'utilisation de nouveaux outils qui permettent de mieux apprécier les caractéristiques des méthodes et d'en affiner les conditions d'application. La discipline des statistiques, qui produit des remises en cause de connaissances établies, produit également de nouvelles connaissances susceptibles d'être mobilisées par les agronomes. Des travaux comme ceux présentés ici sont une bonne occasion de les mettre en œuvre et de tester leur validité pour les agronomes.
Ce travail fournit par exemple des éléments intéressants pour la problématique de la validation des modèles. L'utilisation du ré-échantillonnage bootstrap permet de produire une information sur l'incertitude liée au choix d'un modèle et d'aborder différemment le calcul des critères classiquement analysés lors de la validation des modèles, comme celui de la qualité prédictive par

exemple (voir paragraphe II.2 de ce chapitre). En l'absence de données indépendantes pour valider un modèle (validation externe), les méthodes de rééchantillonnage et notamment de bootstrap peuvent être utilisées à la place des validations croisées, plus couramment utilisées en agronomie. Elles permettent d'utiliser la totalité des données disponibles pour réaliser la mise au point du modèle et son évaluation. Ces méthodes de rééchantillonnage donnent donc une information complémentaire sur la robustesse des modèles (Efron et Tibshirani, 1993 ; Guisan et Zimmerman, 2000).

Ce travail a également été l'occasion d'explorer un nouvel outil statistique, le BMA, qui devient accessible pour les agronomes du fait de la diminution des temps de calcul, permise par les progrès en informatique. Outre le fait qu'il n'est pas soumis aux même biais que les méthodes de sélection, cet outil semble très prometteur. Dans le cas de notre problème de diagnostic des effets des facteurs limitants sur le rendement, nous pourrions imaginer utiliser cette méthode pour fixer définitivement les relations entre intensité des facteurs limitants et rendement en nous servant d'une base de données la plus large possible. Reste la difficulté d'appliquer cette méthode à un très grand nombre de variables explicatives, ce qui représente rapidement un nombre de combinaisons limitant en termes de calcul (2^n combinaisons de modèles où n représente le nombre de variables). Nous avons réduit le nombre d'indicateurs de facteurs limitants dans ce travail mais nous avons vu que la validation de la nouvelle gamme d'indicateurs auprès des utilisateurs nous amènerait certainement à revoir certains indicateurs, jugés trop intégrateurs, pour trouver finalement un équilibre entre les 82 variables utilisées dans le prototype de DIAGVAR et les 22 utilisées dans le travail sur la stabilité des méthodes statistiques. Malgré les progrès informatiques, ce nombre pourra devenir limitant dans l'application de la méthode BMA.

Dans le cadre de ce travail, ce sont donc les connaissances du champ de la modélisation et notamment de l'utilisation des statistiques dans la modélisation qui sont explorées. Nous placer dans la situation de l'activité d'évaluation nous a conduite à réfléchir au comportement des méthodes statistiques face à la variabilité des bases de données. Ce faisant, nous remettons en cause les connaissances que les agronomes ont instituées dans ce champ, nous les décalons. En montrant la sensibilité de méthodes statistiques très employées par les agronomes aux variations des bases de données, nous avons réaffirmé l'importance de caractériser les données dont disposent les agronomes en lien avec les caractéristiques et exigences des méthodes statistiques utilisées pour les traiter. A travers le recours à des méthodes innovantes comme les méthodes de mélange de modèles, se joue également une évolution du rapport des agronomes aux données expérimentales. Par ces méthodes, l'agronome prend acte de la complexité des phénomènes qu'il prétend explorer avec les données dont il dispose. Au lieu de chercher à établir une relation unique entre perte de rendement et facteurs limitants à partir de données qui comportent une part d'incertitude et qui restent souvent trop peu nombreuses au regard de la complexité à analyser, il prend acte de « l'imperfection » des données et l'intègre à son traitement statistique.

Nous ne prétendons donc pas dans ce travail créer un nouveau champ de connaissances contestant l'existant. Nous remettons plutôt en question une partie du champ des connaissances habituellement utilisées en agronomie, nous intéressant à des méthodes qui reposent sur des hypothèses différentes. En nous interrogeant sur la façon dont les problèmes rencontrés dans l'action peuvent se résoudre, nous en sommes venue à réinterroger des connaissances largement utilisées par les agronomes. Alors que dans le cas du travail sur l'indicateur azote, nous spécifiions

les connaissances existantes par un nouvel éclairage, nous sommes plutôt ici dans un décalage des connaissances, c'est-à-dire le développement d'un champ de connaissances dans des directions originales.

3.3 Connaissances mises en mouvement dans les autres questions

L'exercice de percevoir comment la situation singulière d'action a interagi avec les connaissances est plus complexe à réaliser sur les questions non traitées, justement parce que nous ne sommes pas allées jusqu'au bout de la production de connaissances sur ces questions. Néanmoins, lorsque nous considérons les pistes que nous avons suggérées d'explorer pour répondre à ces questions, il est intéressant de noter deux choses.

D'une part, nous retrouvons les deux modes de mise en mouvement des connaissances : leur spécification ou leur décalage. Dans la première catégorie, nous pouvons mettre les questions sur la définition de nouveaux indicateurs de facteurs limitants ou la redéfinition d'indicateurs de facteurs limitants non satisfaisants : la connaissance existante sera précisée et complétée. En revanche, lorsque nous posons la question de l'utilité des génotypes révélateurs, nous sommes plutôt dans un cas similaire à celui de la stabilité des méthodes statistiques. Le principe du diagnostic agronomique dans les essais variétaux a été établi sur la base d'une référence à des génotypes révélateurs. S'interroger sur leur maintien peut donc induire de profondes transformations dans les connaissances et l'apparition de connaissances complémentaires, bien inscrites dans ce champ mais en décalage avec les connaissances existantes.

D'autre part, nous trouvons intéressant de relever que la confrontation aux situations d'action nous oblige à décompacter les connaissances intégrées par les agronomes pour revenir à des connaissances plus disciplinaires. De fait, la connaissance agronomique est une connaissance intégratrice de connaissances disciplinaires (écophysiologie, phytopathologie, etc...) et plus en relation avec l'action. Mais en procédant à l'intégration de ces connaissances pour des situations d'action particulières, il faut arriver à faire évoluer les champs de connaissances. Et pour ce faire, il faut souvent retourner aux connaissances disciplinaires. Cela apparaît bien dans la façon dont nous proposons de traiter les questions : nous avons évoqué la nécessité de collaborer avec des écophysiologistes sur le problème de l'indicateur de mauvaises herbes ou d'excès d'eau hivernal à l'écophysiologie, avec des phytopathologistes sur le problème des notations maladie à la création de nouveaux indicateurs par la pathologie végétale, etc.

3.4 Circulation vers l'espace des concepts

Nous avons insisté jusque là sur les circulations s'établissant entre l'espace de la mise en action et l'espace des connaissances. Mais l'espace des concepts est lui aussi mis en mouvement dans le travail. Du fait de la mise en mouvement opérée dans les connaissances grâce à la prise en compte de l'espace A, le concept de départ est amené à être modifié. L'outil est remis en question, à la fois dans son interface, son mode d'emploi et son modèle. Nous avons vu que le concept avait été spécifié une première fois lorsque notre attention s'est concentrée sur l'étape de diagnostic agronomique de l'outil. Nous avons donc réduit assez vite le concept à un sous-élément qui était intéressant en lui-même au regard de la situation de l'activité d'évaluation. D'un concept « d'outil d'évaluation des variétés de blé », nous sommes donc passée à un outil

« d'automatisation du diagnostic agronomique basé sur des génotypes révélateurs ». Le travail fait sur l'indicateur azoté a permis de spécifier encore plus ce concept en soulignant l'importance des contraintes liées à la collecte des données expérimentales. Notre concept devient donc un outil « d'automatisation du diagnostic basé sur des génotypes révélateurs sous contraintes expérimentales ». D'autre part, en proposant de décliner le concept en fonction des usages (ce que nous avons concrétisé d'abord dans l'interface et que nous avons proposé de faire ensuite dans le travail sur la stabilité des méthodes statistiques, même si nous ne sommes pas allée au bout de cette réflexion), nous avons diversifié le concept. Si, à l'inverse, nous parvenions à trouver une méthode statistique parfaitement stable pour l'ensemble des configurations de bases de données possibles, nous serions alors dans une optique de spécification du concept. Nous retrouvons ici un des éléments de la théorie C-K présentant l'évolution sur le concept comme à la fois convergente (qui va dans le sens de la spécification : on ajoute des propriétés successives au concept) et divergente (qui va dans le sens de l'expansion : on trouve des variantes multiples à un niveau donné).

La mise en mouvement de l'espace K, comme la prise en compte de l'espace A, peuvent également conduire à spécifier de nouveaux concepts. Nous manquons de recul pour les discerner aujourd'hui mais nous pensons néanmoins à une des interrogations des acteurs lors des phases de simulation. Plusieurs acteurs de l'évaluation variétale, notamment ceux en charge du développement commercial des variétés dans le GIE Club des 5, se sont interrogés sur la possibilité d'obtenir, grâce à l'outil, un « profil par variété », décrivant de manière succincte les caractéristiques globales d'un type variétal. Il s'agirait en fait d'obtenir le même type d'information que celle présentée sur les milieux. Comme l'outil fournit un graphique représentant pour chaque milieu d'expérimentation les principaux facteurs limitants, les acteurs désiraient avoir pour chaque variété un profil des principaux facteurs ayant limité son rendement dans l'ensemble des conditions de culture rencontrées. Nous avons laissé cette question de côté parce que nous n'avons pas réellement su comment la traiter. En réalité, la question mériterait d'être mieux définie auprès des acteurs. Mais d'emblée, cette nouvelle fonctionnalité réclamerait un vrai travail de fond, sur la façon d'extraire de la régression factorielle les informations permettant de formaliser un profil variétal : comment lier la note, qui est en fait le paramètre génotypique du terme d'interaction entre covariable et génotype, et une perte de rendement sur l'ensemble du réseau et en tenant compte de l'ensemble des facteurs limitants ? A travers cette question, nous sommes finalement peut-être dans l'instruction d'un nouveau concept.

Ce que nous voyons également à travers ces interrogations, c'est que l'évolution du concept, comme l'apparition de nouveaux concepts, renvoient à des besoins d'exploration du champ des connaissances. Par exemple, si la suite de notre travail sur la stabilité des méthodes statistiques nous conduit à proposer de décliner les méthodes statistiques en fonction des configurations de réseaux, nous devrons explorer dans le champ des connaissances pour définir le mode d'emploi de cette déclinaison. Il nous faudra éclairer les caractéristiques des configurations de réseaux qui permettent de choisir l'une ou l'autre des méthodes statistiques. Inversement, si nous proposons finalement une seule méthode (issue d'un mélange de modèles), il nous faudra également explorer le champ des connaissances statistiques de cette méthode, relativement innovante. Enfin, à travers la question de l'établissement d'un profil variétal, nous sommes renvoyée à des questions pour extraire de la régression factorielle les éléments permettant de construire ce profil. Il y a

donc là aussi une exploration nécessaire dans le champ des connaissances pour répondre aux évolutions du champ du concept.

4. Apports du cadre C-K-A pour penser la production de connaissances dans un processus de conception

Placer notre réflexion dans les espaces C-K-A nous a permis de mieux formaliser les difficultés que nous pouvions ressentir au sujet de la production de connaissances pour les agronomes dans notre processus.

Ce cadre nous a permis de mieux comprendre pourquoi les connaissances que nous produisions n'étaient pas forcément des connaissances utiles à l'action et aux acteurs. Certaines des connaissances que nous avons produites sont directement actionnables, c'est le cas des connaissances produites sur l'indicateur SPAD. D'autres sont moins actionnables car elles apparaissent en réponse à des éléments de l'espace A qui questionnent davantage le champ existant et qui nécessitent donc d'être renvoyées à des traitements disciplinaires pointus. Le fait de se référer au cadre C-K-A nous permet donc de formaliser comment se fait la production de connaissances dans un projet où la singularité des situations est intégrée à la production ingénierique. Cela nous montre que la production de connaissances dans ce cas n'est pas uniquement ingénierique, c'est-à-dire ne produit pas seulement de la connaissance actionnable et opérationnelle.

D'autre part, les difficultés que nous pouvons avoir à choisir et trier les questions sur lesquelles produire de la connaissance parmi l'abondance de questions soulevées peuvent être dépassées grâce à ce cadre. L'abondance de questions peut s'expliquer par l'abondance des champs de connaissance qui sont explorés dans le processus. Notre difficulté à structurer notre espace de connaissances montre que derrière les champs de connaissances que nous avons choisi (diagnostic agronomique et modélisation) se « cachent » des connaissances disciplinaires qui peuvent être transversales aux champs que nous avons identifiés (c'est le cas par exemple de l'écophysiologie qui est convoquée dans nos deux champs de connaissances). Il y a donc une vraie difficulté, dans les projets de production ingénierique, à identifier les connaissances adéquates au concept travaillé et aux situations d'usage et faire le tri dans cette diversité. Quant au problème de savoir à qui adresser les questions, il nous semble renvoyer à la possibilité que l'espace des connaissances mette lui aussi en mouvement l'espace de l'action. Notre difficulté pourrait alors se traduire par le besoin de repérer quand les connaissances sont suffisamment établies pour renvoyer à l'espace A. Inversement, il est également possible de considérer que c'est lorsque les connaissances agronomiques sont les moins stabilisées qu'il faut chercher la solution dans l'espace A (au moins temporairement). Mais on prend alors le risque que les contraintes de l'action dans l'espace A rendent l'évolution impossible, et laissent alors la question non traitée.

Nous nous proposons de continuer à interpréter notre production de connaissances au regard de ce cadre dans le chapitre suivant, qui s'intéresse aux résultats produits dans le champ de l'ergonomie. En effet, ce cadre nous semble être utile à toute personne se posant la question de la production de connaissances dans un projet ingénierique.

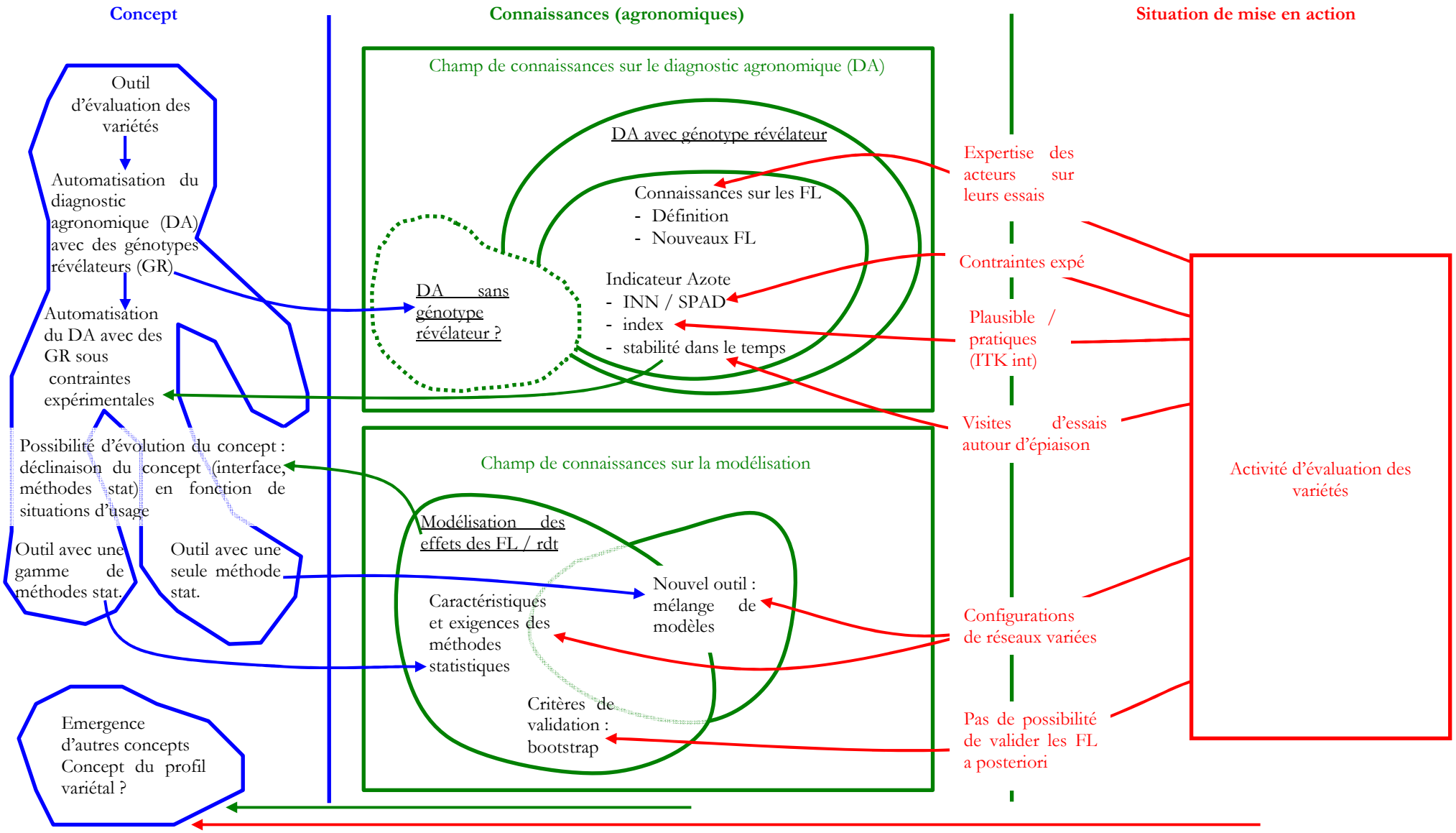


Figure C-10 : représentation de la production de connaissances agronomiques dans le travail de la thèse

Nous avons repris en partie le formalisme de la théorie C-K pour représenter nos résultats en termes de production de connaissances (toutes les productions n'ont pas été représentées) et en représentant comment la situation d'usage a provoqué cette production de connaissances et donc l'ajustement des champs de connaissances existants (figure C-10). Chaque champ (concept, connaissances, action) est représenté par une couleur. Les formes présentes dans ces champs visent à représenter comment s'imbriquent et se développent les éléments des champs. Ainsi, nous voyons que le concept initial s'est développé en se ramifiant, que les champs de connaissances existants ont été élargis (lorsqu'il y a eu production de connaissances visant à spécifier les connaissances établies) voire déformés (lorsqu'il y a eu production de connaissances «en décalage»). Les flèches symbolisent la façon dont les champs s'influent entre eux. Nous ne faisons pas apparaître pour l'instant de transformation dans le champ de l'usage car c'est un aspect qui n'est pas traité dans ce chapitre. Nous y reviendrons dans le chapitre suivant.

D. Retour sur l'intervention ergonomique et la dynamique de conception

Nous avons exposé la vision de Béguin (2004b, 2007) d'un processus de conception qui peut se décliner selon trois postures identifiables par trois types d'objectifs : cristalliser un modèle de l'activité proche de celui des utilisateurs (cristallisation, C), assurer une certaine plasticité de l'outil (plasticité, P) et faciliter le développement conjoint de l'outil et des activités (développement, D) (voir le chapitre A). Un concepteur est amené à cristalliser des invariants de l'activité dans l'outil qu'il conçoit. Il peut chercher à tenir compte de la diversité des utilisateurs et des situations d'action en laissant des marges de manœuvre aux utilisateurs pour utiliser son outil, en conférant ce faisant une certaine plasticité à l'outil. Il peut choisir de voir le processus de conception comme une opportunité de développement, par exemple en sachant mettre en lumière et en débat, comme le suggèrent les praticiens du Change Laboratory® (voir chapitre A), des contradictions de l'activité des utilisateurs.

Nous avons fait l'hypothèse que ces trois objectifs, plutôt que de correspondre à trois postures différentes, cohabitent et co-évoluent dans un processus de conception qui intègre un projet développemental. Nous avons donc construit notre intervention (c'est-à-dire notre travail dans le processus en tant qu'ergonome) en cherchant à tenir ensemble ces trois objectifs. Nous avons ensuite analysé notre intervention pour comprendre comment ont évolué les réponses que nous apportions à l'atteinte de ces objectifs au fil du projet. Nous présenterons donc nos résultats en montrant tout d'abord le modèle de l'activité d'évaluation variétale que nous avons cristallisé au sein du prototype. Nous expliciterons ensuite comment les trois objectifs de cristallisation, de plasticité et de développement ont été intégrés pour réfléchir et construire les simulations et les résultats qui découlent de l'analyse de ces simulations. Nous montrerons ensuite comment les réponses construites dans le projet pour réaliser ces objectifs évoluent au fil du projet. Enfin, nous discuterons les résultats produits par rapport aux espaces C-K-A ainsi que nous l'avons fait dans le chapitre C (partie IV).

I. La mise en forme d'un modèle de l'activité d'évaluation des variétés dans un prototype

Nous présentons ici les résultats de la phase 1 de notre démarche de travail concernant l'élaboration d'un modèle de l'activité d'évaluation des variétés utile pour produire un prototype de DIAGVAR et concevoir sa mise en scène dans le processus de conception. Par modèle, nous entendons ici une représentation de la réalité, donc une vision simplifiée de l'activité mais dont l'objectif est de comporter l'ensemble des points pertinents par rapport à la conception.

Dans la problématique, nous avons proposé de prendre en compte l'activité d'évaluation variétale dans le processus de conception en explorant quels éléments retenir pour atteindre des objectifs relevant des trois positions C/P/D. Nous avons ainsi cherché à définir un modèle de l'activité en nous attachant à repérer :

Résumé

Les innovations variétales sont depuis toujours un élément clé de la production en agriculture. Evaluer les comportements de nouvelles variétés face à une diversité de milieux (sol, climat, manière de produire) est alors un enjeu important pour les acteurs, depuis ceux qui sélectionnent ces nouvelles variétés jusqu'à ceux qui les cultivent ou en utilisent les produits. Pour concevoir un outil qui aide les acteurs à réaliser cette évaluation, agronomes et ergonomes ont collaboré pour articuler trois dimensions dans le travail de conception : (i) la cristallisation dans l'outil d'un modèle de l'activité, (ii) la plasticité de l'outil, et (iii) le développement conjoint de l'outil et de l'activité. Pour produire des spécifications en relation avec ces trois dimensions, nous analysons respectivement, (i) les invariants du système d'activité de l'évaluation variétale, (ii) la diversité les actions conduites par les acteurs de l'évaluation, (iii) les contradictions qui apparaissent dans le système d'activité. Notre analyse valorise des travaux d'historiens et s'appuie surtout sur des entretiens conduits auprès de 21 acteurs de l'évaluation variétale. Elle nous permet de mettre en avant le rôle central joué par l'outil qu'est le réseau d'expérimentation et de d'étudier la façon dont les acteurs mettent à profit l'indétermination des outils de l'activité pour les constituer en instruments. Elle montre que l'objet de l'activité a été historiquement constitué autour de l'évaluation à la stabilité du comportement d'une variété et que cette dernière continue à orienter les actions des acteurs. Elle permet d'identifier 11 actions d'évaluation variétale différentes. Elle montre les contradictions qui émergent aujourd'hui au sein de l'objet compte tenu des nouveaux enjeux auxquels doivent faire face les acteurs. Elle débouche sur des spécifications pour un prototype d'outil suffisamment ouvert pour s'adapter à la diversité des actions et susceptible d'aider les acteurs à lever les contradictions identifiées.

Mots clés : conception d'outils, instruments, système d'activité, agriculture.

Cadre D-1 : résumé du travail publié dans @ctivités

- les invariants qui caractérisent l'activité d'évaluation variétale pour les cristalliser, les fixer dans l'outil.
- la diversité des actions qui sont réalisées pour évaluer les variétés, en considérant la diversité des acteurs qui réalisent des procédures d'évaluation variétale.
- les contradictions au sein de l'activité d'évaluation afin de les mettre en scène dans la démarche de conception pour engager un processus développemental.

L'article ci-dessous présente les résultats de cette analyse de l'activité menée avec l'objectif de formuler des spécifications pour le prototype de DIAGVAR.

1. Conception d'un outil d'analyse du comportement de systèmes biologiques : le cas de l'évaluation des variétés de blé tendre[16]

1.1 Introduction

En agriculture, la sélection des meilleurs plants a de tous temps été considérée comme un levier majeur pour maîtriser la production ou résoudre des problèmes agronomiques. Aujourd'hui cette sélection aboutit à la mise sur le marché de dizaines de nouvelles variétés chaque année pour les espèces les plus cultivées. C'est le cas de l'espèce blé tendre sur laquelle est focalisée notre étude.

Pour être cultivée en France, une variété doit être inscrite sur un catalogue variétal officiel, ce qui passe par une évaluation codifiée dont le comité technique permanent de la sélection (CTPS) est le garant. Bien que primordiale et structurante pour l'ensemble des acteurs, cette période d'évaluation est précédée et suivie de bien d'autres évaluations. Au cours de leur vie, les variétés sont d'abord créées par un sélectionneur. Elles sont ensuite prises en charge par des « développeurs » pour identifier leurs aires de culture et leurs marchés. Elles subissent à peu près en même temps les épreuves d'inscription pour être admises à figurer au catalogue officiel. Puis elles sont multipliées par des organismes de multiplication-distribution, pour les proposer à la vente. Elles sont ensuite cultivées et récoltées par les agriculteurs. La plus grande part des récoltes est collectée par des coopératives, qui constituent des lots marchands de variétés pures ou de mélanges de plusieurs variétés qui seront transformés par des entreprises agro-industrielles, principalement pour l'alimentation animale et humaine. A chacune de ces étapes, les variétés font l'objet d'évaluations, à des échelles nationales, régionales ou locales, selon le rayon d'action des acteurs. La « filière variétale » est ainsi caractérisée par un nombre important d'acteurs, mais aussi par une forte intégration des activités et des acteurs : il y a un passage de relais multiple depuis la sélection jusqu'à la transformation des variétés.

La majorité de ces acteurs a développé des procédures d'évaluation pour identifier les variétés qui répondent le mieux à leurs objectifs. Néanmoins, ces acteurs ont exprimé une insatisfaction à l'égard des procédures qu'ils pratiquent aujourd'hui (Cerf et Hochereau, 2004) car elles leur semblent inadaptées aux évolutions actuelles. La première évolution est la réduction de la durée de vie d'une variété sur le marché qui est passée de 10 à 4 ans entre 1970 et aujourd'hui (Campariol, 1992 ; Lecomte, 2005). Les acteurs disposent dès lors de moins de temps pour

[16] Ce travail a fait l'objet d'un article (Prost, Lecomte, Meynard et Cerf, 2007) publié dans @ctivités, 4(2) (2007). http://www.activites.org/v4n2/v4n2.pdf

apprendre à connaître le comportement des variétés face à différents milieux (i.e. le sol, le climat et les procédés de production). La seconde évolution (Meynard et Jeuffroy, 2006) est liée à la diversification des attentes en matière de performances techniques des variétés (cahiers des charges variés selon les pains produits par exemple), et à l'accroissement des gammes de procédés techniques mis en œuvre selon les performances recherchées (de systèmes intensifs en intrants vers des systèmes de production intégrée ou d'agriculture biologique, peu ou pas utilisateurs d'intrants chimiques). Il devient alors crucial de mieux appréhender comment une variété donnée peut atteindre certaines performances dans une diversité de milieux ou dans un milieu bien particulier.

La mise en commun des procédures d'acquisition des informations et le partage de ces informations entre les acteurs serait une des voies possibles pour accroître l'efficacité de l'évaluation et réduire le temps nécessaire pour apprécier le comportement des variétés. Mais la coordination s'avère délicate à concrétiser du fait de la concurrence entre les acteurs au sein de « la filière variétale ». L'information sur les variétés, qu'il s'agisse de leur comportement ou de leur performance dans une diversité de milieux a un caractère stratégique car elle permet de positionner les variétés dans un marché concurrentiel. De cette déficience de coordination résulte alors la nécessité, pour chaque acteur, de se constituer les ressources nécessaires à l'étude du comportement des variétés dans une diversité de milieux. Il s'agit concrètement de mettre en place des réseaux d'expérimentation variétale.

L'expérimentation variétale consiste à comparer dans un même champ d'essai les résultats obtenus par différentes variétés « toutes choses égales par ailleurs ». Le nombre de variétés testées par essai n'est pas fixe et dépend des acteurs concernés. L'expérimentation est répétée dans des milieux diversifiés pour évaluer les comportements variétaux vis-à-vis de la diversité des contraintes environnementales et pour tenir compte d'une propriété intrinsèque du vivant : son comportement change, s'adapte selon les milieux. L'ensemble des essais constitue alors ce que les acteurs de l'évaluation appellent un réseau d'expérimentation variétale. Ce dernier est ainsi constitué d'expérimentations réparties sur l'ensemble du territoire pris en compte par les acteurs (de la taille d'un département pour certains, l'ensemble de la France pour d'autres) pendant une ou plusieurs années. Pour donner un exemple concret, le GEVES, qui réalise les essais pour l'inscription des variétés au catalogue officiel, dispose d'un réseau d'expérimentation variétale réparti sur plus de 40 lieux dans toute la France, dans lesquels sont mis en place des essais qui sont suivis durant deux années. Mais de tels réseaux ont un coût élevé. Ce dernier pourrait encore s'accroître si les acteurs souhaitaient pouvoir intégrer la diversification croissante des procédés techniques appliqués et des performances recherchées.

Les agronomes proposent de caractériser la diversité effective des milieux présents dans un réseau via la mise en évidence des « facteurs limitants ». Il s'agit des facteurs qui limitent l'atteinte d'une performance, l'indicateur de performance retenu étant par exemple le rendement (en tonnes de grain par hectare) d'une variété. Ces facteurs limitants (par exemple une carence azotée, un stress hydrique, un gel, des maladies…) s'expriment de manière très diverse selon les parcelles et les années. Leur effet dépend du stade de développement de la plante et de sa résistance à ces facteurs. Bien que cette résistance dépende de l'état de la plante au moment de l'apparition du facteur et des possibilités de compensation ultérieures, elle est d'abord génétiquement

déterminée. Il s'agit en fait de savoir exploiter les interactions qui se créent entre une variété et son milieu, celui-ci étant décrit par ses facteurs limitants. Ces interactions sont complexes, et les analyser suppose à la fois de disposer d'observations et de mobiliser des outils statistiques.

Plusieurs outils d'aide à l'interprétation de l'interaction entre variétés et milieux ont été proposés par les chercheurs, tant agronomes que statisticiens, mais très peu ont été adoptés par les acteurs en charge de l'évaluation. C'est pourquoi nous avons choisi de concevoir un nouvel outil basé sur une analyse de l'activité d'évaluation des variétés. Cet article présente la démarche adoptée pour produire des spécifications pour cet outil ainsi que la connaissance qu'elle nous fournit sur l'activité elle-même.

1.2 Une démarche de conception articulant cristallisation, plasticité et développement

Envisager la conception d'un outil à partir d'une analyse des situations dans lesquelles il pourrait s'inscrire n'a rien d'original en ergonomie. Mais, il est toujours d'actualité de s'interroger sur la façon dont l'analyse est conduite et traduite en spécifications. Nous avons choisi de considérer l'activité d'évaluation à l'échelle de la filière variétale comme un système d'activité tel que le définit Engeström (1987) et d'étudier plus particulièrement le niveau des actions d'évaluation, celui donc de l'effectuation de cette activité au sein de la filière, celui des métiers différents qui la composent. Rappelons que Leontiev (1977) distingue en effet les niveaux de l'activité, de l'action et de l'opération pour rendre compte de la construction de l'activité humaine. De fait l'activité, orientée par un « motif » se construit dans un temps long et se réalise à travers des processus à plus court terme, les actions, orientées par des buts plus précis, elles-mêmes décomposées en opérations qui sont soumises à des conditions (Kuutti, 1995). Se situer au niveau des actions nous donne un accès, un moyen d'observation, de ce qui constitue l'activité d'évaluation. Nous mettons deux objectifs à notre observation des actions. Il s'agit d'abord, en se situant à ce niveau, de comprendre et structurer la diversité des actions au sein du système d'activité, et de saisir comment elle contraint la dynamique du système d'activité. Nous pourrons ainsi en tirer des enseignements quant à l'outil à concevoir, pour qu'il puisse répondre de façon efficace à la diversité des actions d'évaluation. Il s'agit ensuite d'appréhender la dimension instrumentale des actions contribuant à l'activité d'évaluation. Nous faisons en effet l'hypothèse que c'est à ce niveau qu'il est possible de saisir les processus d'instrumentation et d'instrumentalisation mis en avant par Rabardel (1995), d'appréhender la transformation des artefacts en instruments avec leur double dimension, objective et subjective, matérielle et humaine. C'est dans la façon dont les acteurs se saisissent des outils disponibles pour évaluer les variétés et atteindre leurs propres objectifs quant à l'évaluation qu'ils les transforment en instruments. Comprendre cette dimension instrumentale est nécessaire pour nous car concevoir un outil, c'est aussi permettre à l'acteur de l'inscrire dans l'ensemble des instruments déjà constitués et créer sans doute une transformation de la dimension instrumentale de son action...

Le choix de cette approche de l'activité est guidé par notre souhait d'articuler, ainsi que le suggère Béguin (2007), trois dimensions dans le travail même de conception : (1) la cristallisation dans l'outil d'un modèle de l'activité, tout artefact incluant de fait un modèle de l'utilisateur et de son activité ; (2) la plasticité de l'outil, qui doit permettre des marges de manœuvre pour les

utilisateurs de telle sorte qu'ils puissent faire face à la variabilité des situations qui n'est jamais totalement anticipée dans l'outil ; (3) le développement conjoint de l'outil et de l'activité dans la mesure où c'est l'appropriation de l'outil et sa constitution en instrument qui achève le travail de conception.

La cristallisation d'un modèle de l'utilisateur et de l'activité repose sur la mise en évidence de formes relativement stables de l'action, au-delà de l'usage de critères généraux sur le fonctionnement humain. Pour ce faire, nous allons nous attacher à identifier les caractéristiques communes des actions conduites par les différents métiers au sein de la filière, et à comprendre la dimension systémique de l'activité d'évaluation.

Pour aborder *la plasticité de l'outil*, nous avons choisi d'analyser la diversité des actions d'évaluation et de ne pas regarder la diversité des opérations. Dit autrement, c'est moins la variabilité que chaque acteur rencontre dans l'effectuation de son action qui est au cœur de notre analyse, que la variabilité des modes d'effectuation entre acteurs qui nous intéresse. Ce choix est pragmatique : l'activité d'évaluation nous semble se décliner en différentes formes d'action tout au long de la filière. Cerner ce premier niveau de diversité, est à la fois un préalable à une analyse plus fine, et le garant d'une adéquation du futur outil à ce niveau de diversité. Ce choix nous permet alors de cerner comment se décline, pour les acteurs de la filière et dans leurs contextes spécifiques, une double médiation : par les outils d'une part, par les règles et l'organisation du travail d'autre part. Un des enjeux de l'analyse est de proposer une structuration de cette diversité permettant de faire ressortir des spécifications en matière de plasticité recherchée pour l'outil. Notons qu'il ne s'agit pas de postuler *a priori* que les différents métiers qui réalisent une évaluation variétale dans la filière ont nécessairement des formes d'effectuation de l'action différentes. Pouvoir spécifier les différences « qui comptent » nécessite de chercher à dégager ce qui peut regrouper ou non différents métiers.

La question *du développement* est plus délicate. En l'absence d'un prototype, il est difficile de suivre la suggestion faite par Béguin (2005) de manipuler la zone proximale de développement des futurs utilisateurs grâce à la simulation de l'usage d'un prototype. A l'étape actuelle de notre travail, l'outil n'est encore qu'un concept et l'enjeu est de définir les caractéristiques du prototype. Cependant, si l'on veut pouvoir faire jouer ce rôle au prototype dans le futur, quelles propriétés lui donner ? Manipuler la zone proximale de développement des futurs utilisateurs, ce n'est pas uniquement leur permettre de s'approprier un nouvel outil et d'en faire un instrument de leur action : c'est aussi leur fournir des ressources pour réfléchir plus globalement au développement de leur activité. L'outil peut-il, sous certaines conditions, produire un « effet miroir » suscitant une telle réflexion ? Dans ses travaux, Engeström (1987) propose comme « miroir » une représentation du système d'activité qui fait apparaître les contradictions au sein de ce système. C'est bien la mise en évidence des contradictions qui semble clé. Miettinen (2006) montre que l'introduction d'un nouvel outil peut jouer aussi le rôle de révélateur des contradictions au sein du système d'activité. Dès lors, nous avons cherché à concevoir un prototype qui révèle aux acteurs certaines contradictions que nous nous attacherons donc à repérer, entre la façon dont l'activité est conduite aujourd'hui, et les nouveaux enjeux que les acteurs de la filière variétale souhaitent arriver à intégrer.

Code entretien	Type d'entreprise	N° entrepr	Echelle d'activité	Fonction de l'interlocuteur	Type de fonction
S1.1	Obtenteur	1 1	Nationale / internationale	(1) Responsable sélection (2) Responsable nouveau service de développement	(Sélection)
S2.1 S2.2 D2.3	Obtenteur	2 2 2	Nationale / internationale	Sélectionneur Directeur des programmes de sélection Responsable développement	(") (") (Développement)
S3.1 D3.2	Obtenteur	3 3	Nationale / internationale	Sélectionneur Responsable développement (et animateur d'un réseau de coop)	(") (")
I4.1 I4.2 I4.3	Organisme chargé de l'inscription des variétés	4 4 4	Nationale	Secrétaire de la section céréales Animateurs du réseau blé (1) et orge (2) Animateur du réseau oléagineux et secrétaire de la section lin	(Inscription) (") (")
R5.1	Groupement de multiplicateurs distributeurs	5	Nationale	Animateur d'un réseau de coop (et resp du dévpt chez 2 obtenteurs)	(Réseau de distribution)
M6.1 M6.2	Multiplicateur - distributeur	6 6	Régionale	Responsable variétés du service semences Responsable variétés du service technique	(Multiplication - Distribution)
M7.1	Multiplic-distrib	7	Régionale	Responsable variétés du service technique	(")
M8.1	Multiplic-distrib	8	Régionale	Responsable du service agronomique	(")
M9.1 M9.2	Multiplicateur - distributeur	9 9	Régionale	Responsable du service technique Responsable variétés du service technique	(") (")
T10.1	Groupem. d'agriculteurs	10	Locale	Ingénieur - Animateur du groupement	(Technique)
T11.1	Groupem. départem. d'organismes techniques	11	Département.	Ingénieur - Animateur du groupement départemental	(")
T12.1	Institut technique	12	Nationale	Responsable du réseau national d'évaluation des variétés de céréales	(")
T12.2		12	Régionale	Ingénieur régional, responsable des expérimentations	(")
V13.1	Transformation des récoltes	13	Nationale	Responsable technique	(Valorisation - Transf)

Tableau D-1 : Entreprises enquêtées et codes des entretiens

La construction des spécifications de l'outil s'opère alors en relation avec chacune de ces trois dimensions que sont la cristallisation, la plasticité et le développement. Il s'agit concrètement de traduire en spécifications sur l'outil d'une part les éléments qui structurent le système d'activité de l'évaluation, d'autre part la diversité explorée au niveau des actions, et enfin de permettre que soient révélées, à travers l'outil, les contradictions à surmonter.

1.3 Recueil des données sur les actions d'évaluation

1.3.1 Choix des acteurs

Pour réaliser notre analyse, nous avons rencontré 21 acteurs impliqués dans des actions d'évaluation et appartenant à tous les maillons de la filière variétale dès lors qu'une action d'évaluation est réalisée par ces acteurs (tableau D-1).

Les personnes enquêtées ont été choisies d'abord en fonction de leur métier (sélection, multiplication, commercialisation, développement,…), critère *a priori* plus important que le type d'organisme d'appartenance (sélectionneur privé ou public, multiplicateur, organisme de développement,…). Le choix des personnes enquêtées a été effectué en commençant par des personnes connues à l'intérieur de ces différents métiers. A partir de cette base, le réseau d'enquête a été enrichi par la méthode dite "de proche en proche" (Blanchet et Gotman, 1992, p.58), un interlocuteur fournissant les coordonnées d'un interlocuteur suivant selon une consigne : « pouvez vous nous indiquer une personne dont vous considérez qu'elle réalise très différemment de vous ce travail d'évaluation ». Ce principe permet de maximiser les différences entre les interlocuteurs et d'explorer ainsi la plus grande diversité possible en matière d'actions d'évaluation. La procédure s'arrête quand un nouvel entretien n'apporte plus d'information suffisamment originale par rapport à l'ensemble des entretiens précédents.

Nos investigations se sont centrées sur les actions d'évaluation liées aux variétés de blé tendre, espèce la plus cultivée en France, et centre d'intérêt partagé de l'ensemble des acteurs enquêtés.

1.3.2 Observer le travail ou mener des entretiens et analyser les traces de l'activité

Le travail d'évaluation se laisse difficilement observer à la fois pour des raisons de confidentialité (l'information produite sur une variété a un caractère stratégique) et de structure temporelle de l'action : celle-ci est concentrée sur quelques semaines pendant lesquelles l'évaluateur est en situation d'urgence, et est peu disponible pour expliciter ce qu'il est en train de faire. Nous avons donc privilégié une démarche d'entretiens semi dirigés (Blanchet et Gotman, 1992) et de discussion sur des traces écrites produites par les acteurs dans le cours de leur activité : les protocoles de recueil, les carnets de notation, les dossiers d'essai, les tableaux d'analyse.

Les entretiens ont été conduits, chaque fois que cela a été possible, avec un couple d'interlocuteurs constitué par : (a) la personne responsable de la procédure de jugement des variétés et (b) la personne assurant la synthèse et l'interprétation des résultats de l'expérimentation variétale, et apportant les informations à la première

1- Pourriez vous me dire quel est votre rôle dans l'entreprise et quelles décisions avez-vous à prendre ?
2- Pouvez-vous décrire comment cette décision est prise et quelles informations vous utilisez ?
3- Pouvez vous me préciser les risques d'erreur qui vous paraissent les plus graves et comment vous faites pour les minimiser ?
4- Pouvez-vous me décrire le dispositif actuel de l'expérimentation variétale dont vous vous occupez ou que vous utilisez ?
5- Pouvez vous me raconter quelle a été l'évolution de votre organisation, de vos pratiques, de vos dispositifs et quels facteurs sont responsables de cette évolution ?

Cadre D-2 : Les 5 grandes questions posées à la personne interviewée

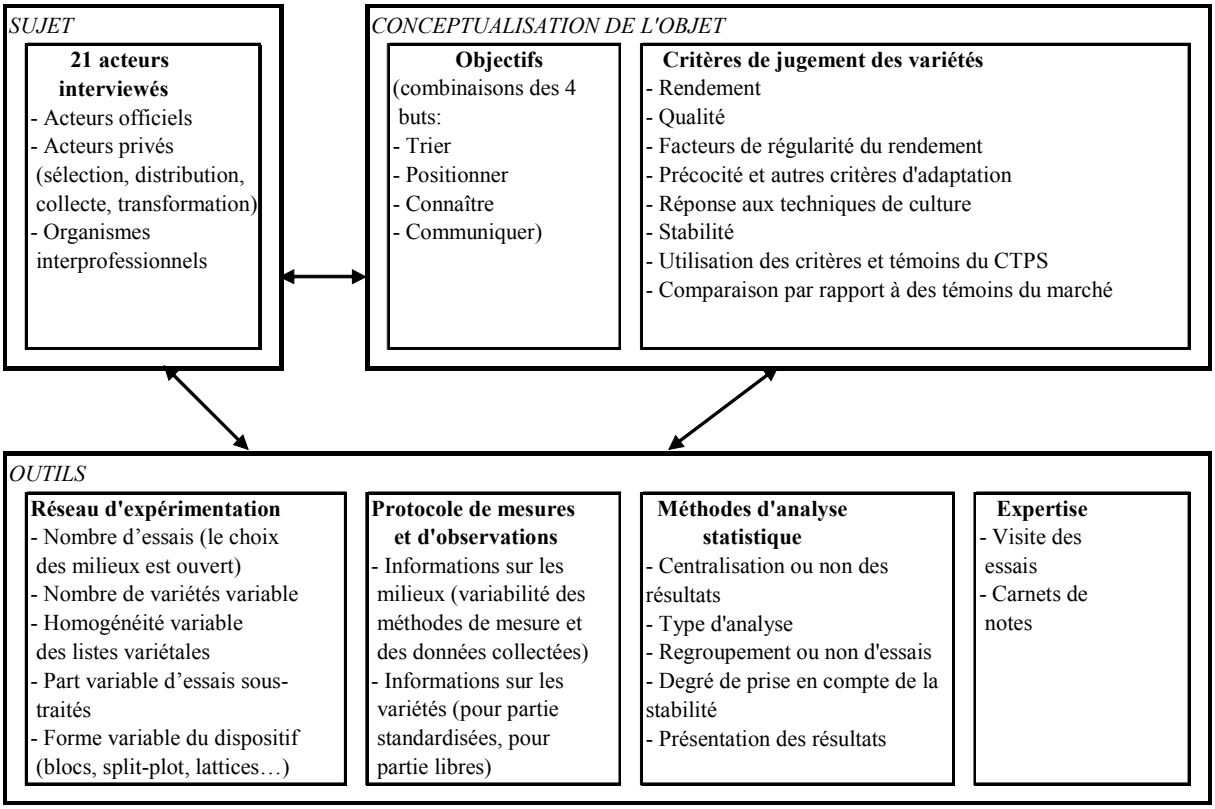


Figure D-1 : Les caractéristiques retenues pour définir les objets et les outils des actions et de l'activité d'évaluation des variétés

Avoir ces deux interlocuteurs permet de saisir simultanément les objectifs de l'évaluation et les critères pour la réaliser, d'appréhender d'une part comment les informations fournies par les outils d'acquisition et d'analyse des données sur le comportement des variétés sont mobilisées, et d'autre part, comment ces informations sont construites, et comment les outils en question sont mobilisés. Les entretiens ont été réalisés par un chercheur lui-même engagé dans des pratiques d'évaluation des variétés, ce qui constitue une richesse mais peut aussi conduire à des jugements implicites sur l'activité de la personne interviewée. La technique d'entretien adoptée vise à limiter ce risque. Elle repose sur 5 grandes questions ouvertes (voir cadre D-2) posées par l'interviewer, qui ne fait ensuite que relancer pour faire expliciter des points abordés par l'interviewé en reformulant de façon synthétique et en demandant si cette reformulation est pertinente et exacte (« Si je comprends bien, ou si je résume, vous venez de me dire … C'est bien cela ? »).

1.3.3 L'analyse des données

Tous les entretiens ont été transcrits puis synthétisés dans des tableaux. Les lignes correspondent aux individus. Les colonnes correspondent aux indicateurs que nous avons retenus comme pertinents pour décrire les objets et les instruments de l'action d'évaluation (voir liste des indicateurs retenus sur la figure D-1).

Le choix des ces critères repose sur l'identification des grandes caractéristiques de l'activité d'évaluation, c'est-à-dire de ce qui, au-delà de la diversité observée, semble structurer cette activité (voir 1.4). Dans un premier temps, nous avons conservé ce qui est dit lors de l'entretien (voir un exemple dans le cadre D-3). Puis dans un second temps, les réponses ont été réparties en 3 modalités, ces modalités variant selon les critères concernés. Ces modalités de réponses ont été construites à partir des différences considérées *a priori* comme étant porteuses de sens, et de façon à couvrir la diversité des réponses obtenues. Elles peuvent illustrer par exemple un degré d'importance accordée à un critère ou un niveau de complexité croissant dans l'opération qui permet à l'acteur de construire un critère (voir cadre D-3). Sur la base de ces tableaux, nous avons alors utilisé des méthodes de classification automatique pour structurer la diversité (progiciel SAS® -SAS, 1999-2000-, procédure "cluster"). D'abord celle des façons d'appréhender l'objet de l'activité d'évaluation en nous appuyant sur les buts énoncés par les acteurs et sur des critères de jugement des variétés. Ensuite, celle des outils et des façons de les mobiliser. Cependant, selon les outils, la diversité observée dans les données est plus ou moins importante. De fait, elle est surtout importante pour le réseau d'expérimentation variétale et c'est donc cette dernière que nous avons cherché à structurer en appliquant, comme pour structurer la diversité des façons d'appréhender l'objet de l'activité, une procédure de classification automatique. Nous sommes alors revenus aux données d'entretiens pour établir la correspondance faite par les acteurs entre d'une part les classes qui rendent compte de la diversité des conceptualisations de l'objet de l'évaluation, et d'autre part celles rendant compte de la diversité des configurations de réseaux construites par les acteurs. C'est le résultat de cette mise en correspondance qui nous permet *in fine* de qualifier la diversité des actions d'évaluation.

Code entretien	1 Définir les objectifs de sélection	2 Sélectionner - inscrire - choisir les variétés	3 Positionner les variétés	4 Déterminer les surfaces en multiplication	5 Acquérir la connais-sance sur les variétés	6 Etablir une documen-tation sur les variétés	7 Faire connaître les variétés
S1-1		Déposer à l'inscription 3 à 5 lignées par an (93, 477, 497). Potentiel de rendement le plus élevé possible (177), on ne fait presque plus de BAU, on vise le créneau des BPS (483).	Déterminer le positionnement géographique des variétés inscrites (142, 153)		Acquérir des info sur doses de semis, semis précoces ou tardifs, comportement en blé sur blé (233, 249, 587).	Editer des fiches techniques (248)	A l'avenir: faire visiter les essais de développement (595).
S2-1	Orienter les critères de sélection (300s). Il faut anticiper les évolutions et bien s'informer (288). La demande du marché va vers des blés très productifs et de bonne qualité (106). L'évolution de la réglementation va vers des blés plus rustiques (74).	Choix de 3 variétés par an maxi à déposer à l'inscription (136). Importance des critères productivité (74s), teneur en protéines (30), qualité (80% de croisements à bonne valeur boulangère (78)), précoci-té (25% des croisements précoces, 60% pour la zone nord (96s)), alter-nativité, puis verse, résistances (82, 86s).	Recherche de complémentarité: cibler les variétés par zone, par date de semis (82, 184), ceci dès les croisements (86) --> importance de la précocité/alternativité (82).				
S2-2	Définir les objectifs de sélection (6), concevoir les programmes (4) et éviter les dérives (2), être proche de la réalité du marché (30)."On n'essaie pas de sortir des bonnes variétés, on essaie de sortir des variétés qui se vendent."	Choisir les variétés (176). Critères de qualité boulangère et taux de protéines (22).	Positionner géographiqement les variétés (176)	Déterminer les surfaces en multiplication (180)			
D2-3		Préparer les dossiers pour l'inscription (506).		Choisir les surfaces en multiplication (36). On ne multiplie que jusqu'aux semences de base (G3 et G4) (126).	Juger les futures variétés par rapport à la concurrence et aux cibles (8)	Préparer des documents techniques pour le positionnement des variétés (66, 202)	Faire connaître nos variétés auprès des partenaires (98)
S3-1	Trouver les variétés qui ont le meilleur potentiel commercial possible (5). Les objectifs sont définis très précisément avec le développement et les commerciaux du groupe (193).	Passer l'inscription au CTPS (5). En général, on dépose 5 variétés par an (121). Les types variétaux sont répartis entre stations de sélection (71).					Faire que nos variétés soient recommandées (5)
D3-2	Orienter les objectifs des programmes de sélection (189). Importance de la qualité (52), de la réponse à la dose d'azote, à la date et à la densité de semis. Depuis 5-6 ans, décision de ne plus faire que des BPS et des variétés à bon PS (95).		Transformer les indications en positionnement technique des variétés en vue de leur mise sur le marché (2).	Contribuer au choix des 1ères mises en multiplication (237, 241)	Acquérir la culture technique sur les variétés et se donner les moyens de la compléter (2)	Assurer le support technique tout au long de la vie d'une variété (2)	Transformer les indications en argumentaires commerciaux pour vendre les variétés en interne et en externe (2).

Cadre D-3 : Extrait d'un tableau synoptique de transcription des entretiens, ici celui qui décrit les buts que se donnent les différents acteurs, tels qu'ils les formulent. Dans ce tableau apparaissent les réponses données par les personnes interviewées, avec la référence de la réplique correspondante dans l'entretien. Les intitulés des colonnes représentent une première synthèse des réponses

1.4 Résultats de l'analyse des actions d'évaluation des variétés de blé tendre

1.4.1 Vers la cristallisation d'un modèle de l'activité d'évaluation

Classiquement la notion d'évaluation renvoie à l'idée de choix et de critères pour faire ce choix. Les théories classiques de la décision (pour une revue bibliographique, voir Tsoukias, 2006) se penchent d'ailleurs sur la diversité possible des critères (min-max, Savage, etc) pour définir un algorithme de choix. Cependant, comme nous l'avons indiqué en introduction, les acteurs s'interrogent plus sur les modalités d'acquisition et d'analyse des informations que sur les procédures permettant de choisir une variété répondant à leurs objectifs. Nous avons donc centré notre analyse sur les premières pour dégager, à partir de notre exploration des actions, des invariants de l'activité d'évaluation que nous retiendrons pour bâtir des spécifications. Nous avons également mobilisé des travaux d'historiens pour comprendre comment s'est constituée historiquement l'activité d'évaluation variétale.

Un objet « variété » historiquement constitué : la notion de stabilité de la variété

La notion de variété telle qu'elle est comprise aujourd'hui découle du régime d'innovation variétale particulier qui se met en place à l'issue de la seconde guerre mondiale (Bonneuil et al., 2006). Bonneuil et al.(ibid.) retracent, dans leur étude historique du secteur des semences et variétés végétales, comment le concept de variété va être associé dans l'après guerre à celui de variété pure, par opposition aux variétés populations. L'idée va s'imposer, dans la recherche et parmi les sélectionneurs, qu'une variété doit être stable, distincte et homogène (trois critères qu'on retrouve dans l'évaluation officielle sollicitée par le CTPS). Bonneuil et al.(ibid.) rapportent l'argument d'un chercheur expliquant pourquoi cette acceptation de la variété a été favorisée : « l'avantage de la variété stable est la possibilité d'en fixer théoriquement une fois pour toutes les réactions au milieu, aux techniques culturales et, par voie de conséquence, d'en obtenir le rendement maximum » (Jonard, 1961 in Bonneuil et al., 2006). Le concept de variété pure et stable a donc été vu comme une forme de maîtrise des interactions entre la variété et son milieu. Cette idée se traduit dans les pratiques des différents acteurs de l'évaluation qui sont avant tout à la recherche d'une variété stable dans une diversité de milieux. Cela transparaît dans leur façon de traiter les résultats de leurs réseaux d'essais : ils comparent, entre essais, ou par rapport à une variété de référence, les performances moyennes obtenues pour une variété donnée. Notons cependant que cette notion de stabilité s'applique éventuellement sur des échelles spatio-temporelles différentes (local versus national, annuel versus pluri-annuel) et sur des critères qui peuvent varier (le rendement, la teneur en protéine, le comportement en mélange meunier). Ainsi, la notion de stabilité, telle qu'elle est véhiculée par la norme du CTPS, est réinterprétée de façon diverse par les acteurs.

Quatre outils au coeur de l'activité : historiquement constitués mais largement indéterminés

Nos données montrent que l'acquisition et l'analyse des informations reposent avant tout sur la mobilisation de quatre outils : le réseau d'expérimentation variétale, le protocole de mesure et d'observation des variétés au sein du réseau, les méthodes d'analyse statistique, les visites *in situ* des essais. Considérer l'existence de ces outils en ne s'intéressant qu'aux dimensions strictement cognitives de la gestion de l'information comme cela est trop souvent fait dans des approches

décisionnelles de l'évaluation, revient à nier la matérialité du travail d'évaluation et la gestion spatio-temporelle qu'il nécessite dans un cas comme l'évaluation variétale. Pour évaluer des variétés, il faut à la fois concevoir et mettre en place des essais, choisir des outils pour observer certaines caractéristiques d'intérêt permettant de comparer les variétés, tenir compte de comportement adaptatif du vivant et s'interroger pour ce faire sur la variabilité des conditions de sol et de climat pertinentes à prendre en compte pour « piéger » cet effet, s'interroger sur la qualité des informations recueillies et sur la façon de comparer entre essais, etc.

De nos entretiens, il ressort que pour tous les acteurs, le réseau d'expérimentation variétale est un outil clé dans l'activité d'évaluation. En effet, d'une part il est une source primordiale de données sur le comportement des variétés, lesquelles doivent ensuite être transformées en informations traitables. D'autre part, il occupe une position centrale parmi les outils, car il conditionne en partie le protocole de mesure et d'observation et gouverne le choix des méthodes statistiques (par exemple seul un réseau dans lequel toutes les variétés sont testées sur tous les essais permet d'utiliser les méthodes statistiques les plus simples, telles que l'analyse de variance équilibrée).

Il nous faut néanmoins souligner une propriété intéressante des quatre outils que nous venons de citer : leur faible prédétermination qui nous semble dès lors un facteur susceptible de faciliter leur constitution en instrument. Ainsi, un outil comme le réseau d'expérimentation laisse ouverte la possibilité de définir la forme du dispositif expérimental pour un essai et pour l'ensemble des essais (nombre de variétés cultivées, nombre d'essais dans le réseau, types de milieux et diversité explorée, répartition des variétés dans les essais). De même, parler de protocole d'observation et de mesure, cela laisse ouvert tant le type d'observation qui est réalisée que les modalités de recueil. Enfin, dire qu'on a recours à des méthodes d'analyse statistique pour étudier les données issues du réseau, laisse là encore un grand choix quant au type de méthode mobilisé. La figure D-1 précise ainsi, pour chaque outil, sa structure, et les choix qui restent ouverts. Soulignons aussi que ces outils sont le produit à la fois du développement historique de l'activité expérimentale qui a permis de réaliser une analyse structurée du comportement adaptatif du vivant dans divers milieux, et de l'instauration du régime d'innovation variétale mis en place à l'issue de la seconde guerre mondiale (Bonneuil et al., 2006). Dans ce contexte, certaines normes se sont constituées sur ces outils et la façon de les mettre en oeuvre. Ainsi, on repère chez tous les acteurs enquêtés les mêmes normes de construction d'un essai pour limiter l'effet de l'hétérogénéité du sol (essais en blocs randomisés), la mise en avant de la notion de « témoins » qui constituent, dans un essai, une référence variétale à laquelle sont comparées les variétés dont on cherche à connaître le comportement et les performances, l'établissement d'un mode opératoire pour noter le niveau de présence d'une maladie sur une variété, le recours aux techniques statistiques de « comparaison de moyennes » pour estimer l'intérêt relatif ou non d'une variété. Néanmoins, l'existence de ces normes n'obère pas la possibilité d'une grande variabilité dans la mise en œuvre effective des outils comme nous le verrons dans le paragraphe 4.2. Ainsi, les principaux outils de l'activité sont ouverts à des processus d'instrumentalisation ou d'instrumentation par les acteurs, mais sont aussi supports des normes historiquement constituées sur la façon d'évaluer des variétés.

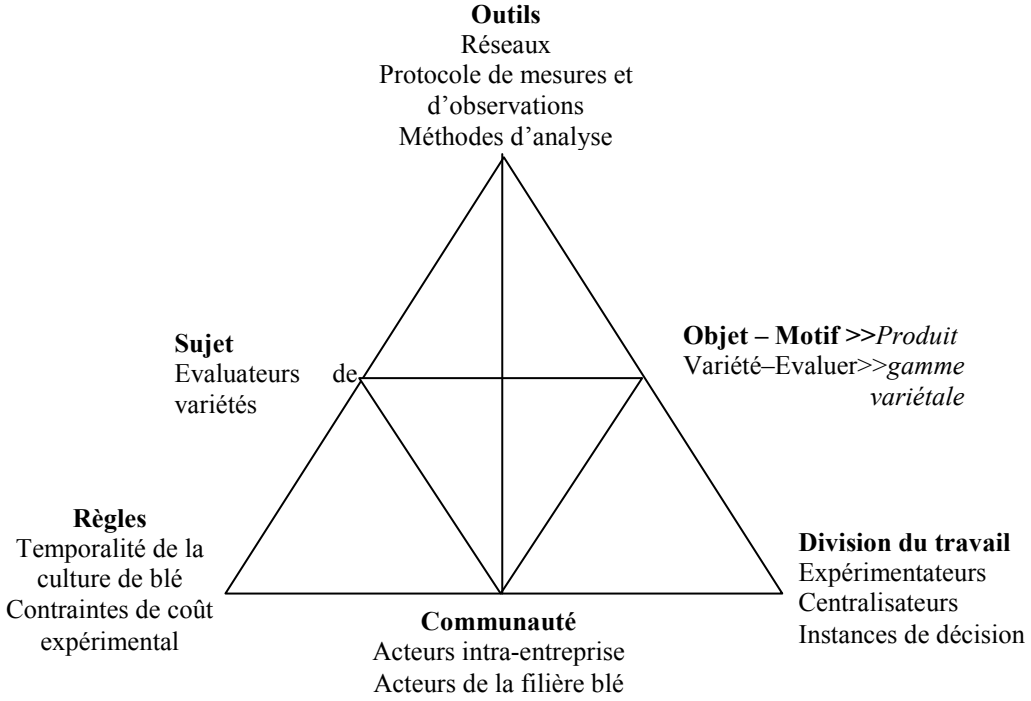


Figure D-2 : Le système d'activité de l'évaluation variétale.

Une activité soumise à des règles et des contraintes temporelles et organisationnelles

Les données des réseaux utilisées pour l'évaluation sont parfois recueillies directement lors de visites d'essais, mais sont le plus souvent fournies en fin de saison par des expérimentateurs à qui l'expérimentation est déléguée. Certaines données peuvent nécessiter un travail en laboratoire (en particulier pour les tests technologiques permettant d'acquérir des données sur des critères de panification), là encore souvent délégué. L'évaluation proprement dite ne peut donc démarrer réellement qu'une fois obtenus les résultats de production de la culture (rendement, en tonnes de grains/hectare, voire données sur le comportement en meunerie qui arrivent souvent plus tard), même si les échanges entre évaluateurs et expérimentateurs permettent que les premiers aient déjà un aperçu des données recueillies tout au long du cycle de la culture. Les évaluateurs doivent alors travailler une grande masse d'informations en un temps réduit, en particulier dans le cas de la culture de blé en France dont le cycle s'étale d'Octobre à Juillet. L'évaluation doit être faite avant le démarrage de la nouvelle campagne, donc pendant les mois d'Août et de Septembre, même si elle peut être en partie approfondie pendant l'hiver pour conforter les orientations prises. Concrètement, les acteurs nous ont dit ne disposer parfois que de deux jours pour effectuer les synthèses après la réception des résultats et avant la mise en place de la nouvelle campagne. La contrainte temporelle est donc largement exprimée par tous les acteurs enquêtés.

Il ressort des entretiens que le caractère distribué du travail de collecte des données comme la temporalité du cycle cultural du blé influencent la possibilité effective, pour un évaluateur, de recueillir toutes les données qu'il juge utiles pour construire son évaluation. L'activité d'évaluation suppose de savoir négocier et articuler son travail avec d'autres acteurs, d'autant plus nombreux que les réseaux sont importants (quand on se situe à l'échelle nationale par exemple). Elle suppose aussi de négocier les dispositifs de mesures et d'observations, mais aussi les échanges et prêts de matériels pour mettre en place et récolter les essais. Toute information représente alors un coût et la précision de la mesure aussi : coût de mise en place des essais, coût d'acquisition d'une information additionnelle, coût lié à l'impossibilité d'exploiter certaines données à cause de l'hétérogénéité du terrain, etc.

Ces contraintes (gestion du temps, organisation du travail en partenariat, coût d'acquisition et d'analyse des informations sur le comportement des variétés) influent sur la façon dont les acteurs mobilisent, et constituent en instruments, les outils que sont le réseau d'expérimentation, le protocole de recueil, les outils de traitement. En particulier, elles influent sur les contenus spécifiques donnés à ces outils c'est-à-dire structurent la façon dont les acteurs font de l'outil une ressource pour leur action d'évaluation. Pour contourner ces contraintes, les acteurs ont développé quelques « régulations » : les visites d'essais permettent de pallier des difficultés liées au partenariat, le développement de protocoles standardisés ou la demande de synthèses partielles réalisées au niveau de l'essai réduisent la contrainte temporelle et rendent plus facile les relations aux partenaires.

Premières spécifications pour l'outil

La figure D-2 permet de donner une vision synthétique de l'activité d'évaluation, en particulier de l'objet, des outils, des règles et des contraintes que nous avons identifiés.

C'est à partir de cette représentation que certaines spécifications sont construites. Ainsi, l'outil à concevoir devra s'attacher à permettre aux acteurs d'apprécier la stabilité du comportement d'une variété selon les critères de performance et les échelles spatio-temporelles qu'ils retiennent. De plus, il doit tenir compte de la co-existence de différents outils et de la façon dont finalement le réseau d'expérimentation variétale tend à les organiser les uns par rapport aux autres. De même, les contraintes de gestion du réseau et la répartition du travail entre acteurs conduisent à chercher d'abord un outil qui valorise au maximum les données disponibles pour enrichir la connaissance des acteurs sur les variétés, en excluant des solutions qui conduiraient à accroître la quantité d'informations recueillies (soit via l'ajout de situations expérimentales, soit via l'ajout d'observations) sauf si cet ajout apparaît décisif pour améliorer l'analyse. De telles solutions devront respecter des impératifs de limitation des coûts d'expérimentation et de délais d'obtention des informations. Enfin, compte tenu des contraintes temporelles liées au cycle du blé, les solutions proposées pour valoriser les données disponibles doivent être rapides à mettre œuvre. L'automatisation des procédures d'analyse est donc souhaitable.

1.4.2 Vers la plasticité de l'outil à concevoir

Compte tenu de ce qui précède, l'activité d'évaluation suppose de savoir prendre des décisions sur les variétés en fonction d'informations souvent incomplètes et peu précises : dire comment extraire l'information pertinente des données recueillies, et quels critères retenir pour porter un jugement sur les variétés, sont donc des points clés du travail de l'évaluateur. Ces critères ne sont pas nécessairement identiques selon les acteurs car chacun peut avoir des objectifs particuliers. Comme le souligne Leontiev (1977), si la notion de motif est inhérente à celle d'activité, la notion d'objectif est inhérente à celle d'action. Par exemple, un sélectionneur évalue les variétés pour savoir s'il va soumettre une nouvelle variété à l'inscription[17], un développeur va tenter d'identifier la part de marché que peut prendre la variété en cours d'inscription, le conseiller technique va chercher à définir les situations dans lesquelles cette variété exprimera son potentiel, etc…Cela nous conduit à distinguer la dimension matérielle de la variété (une plante aux caractéristiques physiologiques et génétiques identifiables) de sa dimension conceptuelle. Cette dimension conceptuelle renvoie aux objectifs assignés à l'évaluation et aux critères associés qui permettent de caractériser la variété selon ces objectifs. Il y a potentiellement une diversité dans la dimension conceptuelle de l'objet variété que nous pouvons appréhender grâce à la diversité des objectifs et critères de l'évaluation. La diversité, nous l'avons dit précédemment, peut également se retrouver dans la façon dont les acteurs constituent les outils en instruments. Ces deux éléments, diversité des objets (dans leur dimension conceptuelle) et diversité des instruments, nous permettent de structurer la diversité des actions d'évaluation de façon à formuler des spécifications pour l'outil à concevoir. La figure 1 permet de voir les indicateurs sur lesquels nous nous sommes focalisés pour appréhender cette diversité des actions.

[17] La constitution d'un dossier d'inscription est coûteuse et l'inscription est payante. Surtout, les « épreuves » de l'inscription reposent sur l'idée que la nouvelle variété doit apporter un progrès par rapport à des variétés déjà sur le marché. L'évaluation de ce progrès s'appuie sur divers critères : le rendement, critère majeur, est pondéré par différents caractères d'intérêt (qualité boulangère, résistance aux maladies et à la verse…).

		Buts				Critères								
Groupes	Acteur	1 *Tri*	2 *Posit.*	3 *Conn*	4 *Com*	5 *Rdt*	6 *Qual*	7 *FRR*	8 *Prec*	9 *Adap*	10 *Tech*	11 *Stab*	12 *Tem*	13 *Tema*
1 1	I4.1	■		▨		■	■	■					■	
1 1	I4.2	■		▨		■	■	■					■	
1 1	I4.3	■		▨		■	■	■					■	
1 2	S1.1	■	▨	▨	▨	■	■	▨	▨	▨	■	▨	■	▨
1 2	S3.1	■	▨	▨	▨	■	■	■	■	▨	▨	▨	■	▨
1 2	S2.1	■	■	▨	▨	■	■	■	■	■	▨	▨	■	▨
2 1 1 1	S2.2	■	■	▨	■	■	■	■	■	■	■	▨	■	■
2 1 1 1	D2.3		■	■	■	■	■	▨	■	■	■	▨	■	■
2 1 1 2	D3.2	▨	■	■	■	■	■	▨	▨	■	■	▨	▨	■
2 1 1 2	R5.1	▨	■	■	■	■	■	▨	■	▨	■	■	■	■
2 1 1 2	M6.2	▨	▨	■	■	■	■	▨	■	■	■	■	▨	■
2 1 1 2	M7.1	▨	▨	■	■	■	■	▨	■	■	■	■	▨	■
2 1 1 2	M9.1	▨	▨	■	■	■	■	▨	■	■	■	■	▨	■
2 1 1 2	M9.2	▨	▨	■	■	■	■	▨	■	■	■	■	▨	■
2 1 1 2	M8.1	▨	▨	■	■	■	▨	■	■	▨	■	■	▨	■
2 1 1 2	M6.1	▨	▨	■	■	■	■	■	■	■	▨	▨	▨	▨
2 1 1 2	T12.1	▨	▨	■	■	■	■	▨	▨	▨	▨	▨	▨	■
2 1 2	T10.1	▨		■	■	■	▨	▨	▨	▨	■	■		■
2 1 2	T11.1		▨	■	■	■	▨	▨	▨	▨	▨	■		▨
2 1 2	T12.2		▨	■	■	■	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
2 2	V13.1	▨		■			■				■	■		■

Légende :

- ■ But prioritaire
- ▨ But secondaire
- □ But non exprimé

- ■ Critère prépondérant
- ▨ Critère cité mais non prépondérant
- □ Critère non pris en compte

Buts : *Tri* = trier ; *Posit.* = positionner ; *Conn.* = connaître ; *Comm.* = communiquer.

Critères : *Rdt* = rendement ; *Qual* = qualité ; *FRR* = facteurs de régularité du rendement ; *Prec* = précocité ; *Adap* = autre critères d'adaptation ; *Techn* = réponse aux techniques de culture ; *Stab* = stabilité des performances ; *Tem* = utilisation des critères et témoins du CTPS ; *Tema* = comparaison par rapport à des témoins définis par l'entreprise (témoins du marché).

Groupes : résultat de la classification automatique par la procédure « cluster » de SAS®

Tableau D-2 : Buts des acteurs et critères de jugement des génotypes qu'ils déclarent, triés par classification automatique

La diversité des conceptualisations de l'objet variété

Afin de caractériser la diversité des conceptualisations que les acteurs développent de l'objet variété, nous avons analysé les objectifs que se donnent les acteurs, et les critères de jugement des variétés qui en découlent.

Le tableau D-2 montre que ce qui constitue un objectif pour un acteur donné est le résultat d'une combinaison de quatre buts qu'ils énoncent comme le produit de leur travail d'évaluation : (1) trier les variétés ; (2) les positionner géographiquement ou par rapport au marché ; (3) les connaître ; (4) constituer un support de communication et de visites. Ce tableau fait également ressortir que certains critères sont particulièrement mis en avant pour atteindre certains buts.

Le premier but (trier les variétés) renvoie à une problématique d'élimination plus que de classement des variétés. Selon les acteurs, les critères liés à ce but peuvent différer selon qu'il s'agit : (a) d'éliminer les variétés dont les performances s'avèrent insuffisantes par rapport aux variétés utilisées comme témoins[18]; (b) d'éliminer celles qui présentent un caractère rédhibitoire, notamment par rapport à des conditions de milieu particulières. « Trier », c'est enfin choisir les variétés qui sont susceptibles d'occuper une part de marché dans une gamme variétale, ou choisir une variété selon sa capacité à se substituer à une variété existante sur un créneau de marché.

Le second but (positionner les variétés) recouvre deux significations : (a) réaliser un positionnement géographique, c'est-à-dire déterminer l'aire de culture d'une variété ; (b) réaliser un positionnement marketing c'est à dire appréhender le marché potentiel de la nouvelle variété. Pour cela, les variétés sont comparées par rapport à des témoins définis par l'entreprise en fonction du marché ou de la zone géographique qu'elle recouvre. Les critères de performance les plus étudiés, outre le rendement et de la qualité meunière, sont la précocité variétale, la réponse aux techniques de culture ainsi que les capacités de compensation en cours de cycle (capacité de tallage, poids des grains).

Le troisième but (connaître les variétés) signifie bien sûr connaître leur performance en terme de rendement et de qualité, mais signifie aussi apprécier leur stabilité et leur adaptation aux variations de techniques de culture (date, densité de semis, fertilisation azotée…). Pour juger la stabilité, les critères de résistances des variétés au froid, aux maladies et à la verse sont prises en compte, en lien avec les caractéristiques des milieux d'évaluation (par exemple : résistance au froid dans le Nord-Est de la France). Les variétés sont principalement comparées aux témoins « du marché », définis par chaque entreprise, et sont également resituées dans des classes de précocité et qualité.

Le quatrième but (faire connaître les variétés) est plus lié au travail d'expérimentation et ce qu'il offre comme plateforme pour donner à voir, en situation, des variétés. Les essais sont l'objet de visites organisées. Cela conduit dès lors les évaluateurs à accorder aussi du poids à l'aspect visuel des variétés. La comparaison visuelle peut porter sur des intensités de verse ou de

[18] Cette notion de variété témoin est très importante dans l'activité d'évaluation. En effet, dans tous les essais, sont mises en place des variétés dont le comportement est bien connu, ou/et qui occupent aujourd'hui une large part de marché. Ces variétés servent alors à évaluer, de façon comparative, les nouvelles variétés arrivant sur le marché, avec le souci que ces dernières offrent des performances supérieures à celles existantes.

	Conceptualisation de l'objet variété	Buts prioritaires	Buts secondaires	Critères prépondérants	Critères secondaires	Témoins
1	Inscrire Nouvelle variété	Trier	Connaître	Rendement, Qualité, Facteurs de régularité du rendement		CTPS
2	Sélectionner Nouvelle variété	Trier	Positionner Connaître Communiquer	Rendement, Qualité, Facteurs de régularité du rendement	Précocité autres critères d'adaptation, sensibilité aux techniques, stabilité	CTPS (Marché)
3	Développer Nouvelle variété sélectionnée par l'entreprise	Positionner Connaître Communiquer	Trier	Rendement, Qualité, Autres critères d'adaptation, Sensibilité aux techniques	Stabilité, Facteurs de régularité du rendement	CTPS & Marché
4	Proposer une gamme Variétés inscrites	Connaître Communiquer	Trier Positionner	Rendement, Qualité, Autres critères d'adaptation, Sensibilité aux techniques	Facteurs de régularité du rendement	Marché (CTPS)
5	Référencer Variétés inscrites	Connaître Communiquer	Positionner	Rendement, Stabilité	Qualité, Autres critères d'adaptation, Sensibilité aux techniques, Facteurs de régularité du rendement, Précocité	Marché
6	Apprécier les aptitudes technologiques Variétés inscrites et mélanges variétaux	Connaître	Trier	Qualité, Sensibilité aux techniques, Stabilité		Marché

Tableau D-3 : Les conceptualisations de l'objet variété identifiées et leurs caractéristiques, définis par classification automatique à partir des buts et des critères énoncés par les acteurs (pour les critères, se reporter à la légende du tableau 2).

maladies au sein d'un essai, ainsi que la réponse des variétés aux techniques de culture comme les traitements fongicides, la date et la densité de semis. De tels critères peuvent alors prendre de l'importance dans le travail d'évaluation.

La réalisation d'une classification automatique sur la base des combinaisons de buts et critères retenus par les acteurs permet de distinguer six façons différentes de conceptualiser l'objet de l'activité d'évaluation (tableau D-3), que nous avons intitulées « **Sélectionner** », **« Inscrire** », « **Développer** », « **Proposer une gamme** », « **Référencer** » et « **Apprécier les aptitudes technologiques** ».

Cette classification permet de constater que la diversité s'organise en partie en lien avec les étapes qui marquent la vie de la variété depuis sa création jusqu'à son utilisation. Elle permet cependant aussi de souligner qu'il n'y pas toujours identité entre une façon de conceptualiser l'objet et un métier. Ainsi, certains sélectionneurs ont des conceptualisations proches de celles des personnes en charge de l'inscription, quand d'autres se rapprochent de celles des développeurs. Cela confirme la nécessité de dépasser les étiquettes *a priori* que peuvent avoir les acteurs pour mieux appréhender leur propre engagement dans le travail d'évaluation.

La diversité des instruments constitués

- Diversité des modalités de constitution des réseaux d'expérimentation variétale

L'analyse des entretiens permet de mettre en évidence tout d'abord qu'un même acteur peut choisir de constituer plusieurs réseaux différents en définissant des valeurs particulières pour les différents éléments constitutifs du réseau. *In fine*, nous avons identifié, chez l'ensemble des personnes enquêtées, 39 réseaux différents. Les caractéristiques de ces réseaux apparaissent liées à l'étape dans la vie de la variété et à l'échelle géographique à laquelle est réalisée l'évaluation.

Dans l'ensemble, au cours de la vie de la variété, on observe une réduction régulière du nombre de variétés testées dans un même essai et corrélativement une augmentation du nombre de milieux. L'échelle d'action (locale, régionale, nationale) de l'évaluateur influe également sur le nombre d'essais et sur l'homogénéité des listes variétales[19]. On constate ainsi que la plupart des acteurs à vocation nationale délèguent plus souvent la réalisation de leurs essais, ce qui tend à accroître l'hétérogénéité des listes variétales.

Avec l'âge des variétés, les dispositifs expérimentaux (mode d'organisation des répétitions dans un essai) se simplifient. Complexes chez les sélectionneurs qui cherchent à limiter les dimensions des essais tout en maîtrisant les hétérogénéités de terrain avec un grand nombre de variétés à tester, ils sont plus simples pour les essais ultérieurs. Le rôle de plates-formes de démonstration assigné aux essais, par exemple chez les multiplicateurs-distributeurs, se traduit par la présence d'un plus grand nombre de répétitions, l'une étant systématiquement non traitée aux fongicides

[19] L'homogénéité renvoie ici à la présence, sur tous les essais, d'un même ensemble de variétés testées. Par exemple, dans les essais d'inscription, les listes sont différentes entre la zone Nord et la zone Sud. La délégation d'essais à des coopératives peut conduire aussi à une grande hétérogénéité, chaque coopérative souhaitant tester les variétés qu'elle imagine pouvoir commercialiser par la suite.

	Type de réseau	Nombre d'essais	Nombre de génotypes	Homogénéité des listes variétales	Qui réalise l'essai ?	Dispositifs expérimentaux	Comparaison T/NT
1	**Réseau d'inscription**	Moyen (1ère année) ou élevé (2e année)	Elevé (1ère A) ou moyen (2e A)	Très bonne	Prestataires ou par l'entreprise, suivant un contrat	Simples (blocs de Fisher, 2 rep)	Systématique
2	**Réseau de début de sélection**	Faible	Elevé	Moyenne	Tous les essais sont réalisés par l'entreprise	Sophistiqués (lattices…)	Fréquemment
3	**Réseau de fin de sélection**	Moyen	Moyen	Moyenne à bonne	Essais réalisés par l'entreprise ou en partenariat "proche" (*)	Variables	Non systématique
4	**Réseau de collecte de références sur les nouveautés de l'entreprise**	Elevé	Faible	Moyenne	Une partie des essais est réalisée par l'entreprise	Simples, parfois avec plus de 2 répétitions	Fréquemment
5	**Réseau de développement commercial**	Elevé	Faible	Hétérogène	Tous les essais en partenariat ou prestation	Simples, parfois avec plus de 2 répétitions	Fréquemment, souvent sur 1 répétition
6	**Réseau de semenciers**	Elevé ou moyen	Elevé ou moyen	Hétérogène	Tous les essais en partenariat ou prestation	Simples, parfois avec plus de 2 répétitions	Sur au moins une partie des essais
7	**Réseau de référencement technico-commercial**	Faible, voire très faible	Variable	Bonne à très bonne	Tous les essais sont réalisés par l'entreprise	Simples, mais avec plus de 2 répétitions	Non systématique, sur 1 répétition
8	**Réseau de référencement technique**	Elevé	Elevé	Moyenne ou listes régionales	Tout réalisé par l'entreprise ou en partenariat "proche" (*)	Sophistiqués, ou avec plus de 2 répétitions	Non systématique
9	**Réseau de meuniers**	Faible	Faible	Hétérogène	Tous les essais en prestation	Dispositif du prestataire	Non

Tableau D-4 : Les 9 types de réseaux et leurs caractéristiques.

(*) le partenariat proche est celui qui existe entre entreprises qui partagent le même métier (par exemple, la sélection), et qui collaborent le plus souvent par la mise en commun d'une partie de leurs essais.

et placée en vis-à-vis d'une répétition traitée, de façon à visualiser la sensibilité des variétés aux maladies. L'importance accordée aux conduites non traitées aux fongicides tend à diminuer au fil de la vie des variétés. Les réponses des variétés à diverses doses d'azote ou à la densité de semis ne sont, à l'opposé, étudiées qu'après la phase d'inscription : elles permettent de mieux évaluer le comportement des variétés face à diverses façons d'appliquer des techniques de culture.

La classification automatique des 39 réseaux, effectuée sur la base de ces critères, a permis de distinguer 9 types de réseaux (tableau D-4), que nous avons intitulés : réseaux de « **Début de sélection** », de « **Fin de sélection** », d'« **Inscription** », de « **Collecte de références sur les nouveautés de l'entreprise**», de « **Développement commercial** », de « **Semenciers** », de « **Référencement technico-commercial** », de « **Référencement technique** » et de « M**euniers** ». Là encore, ces dénominations ne recouvrent pas complètement celles des métiers couramment identifiés dans la filière.

- Diversité des protocoles et des informations recueillies sur les essais

Les entretiens font ressortir une grande diversité entre acteurs quant aux informations recueillies. Néanmoins, sont systématiquement mesurées sur les variétés (a) des variables synthétiques (rendement, qualité boulangère), et (b) des données faciles à recueillir et renseignant sur des critères communément admis comme sources de variations : la précocité (appréciée par la date d'épiaison), les résistances aux maladies et à la verse (appréciée par des notations de symptômes). En ce qui concerne les données sur les milieux, le type de sol et la nature du précédent cultural sont toujours connus, mais les données climatiques ne sont pas très souvent recueillies, même les plus simples (pluie et température). Les acteurs recueillent ces informations sur les milieux dans le but d'apprécier la représentativité des essais par rapport aux aires de culture possibles d'une variété, ou pour identifier les essais implantés sur un sol hétérogène, qui s'avèrent souvent moins fiables.

Il faut par ailleurs souligner que la collecte de données est peu outillée alors même qu'il existe des outils susceptibles de fournir des informations précises (par exemple pour apprécier l'intensité du stress hydrique, des tensiomètres ou une méthode de calcul de bilan hydrique). Ainsi, les facteurs du milieu responsables des variations de rendement sont presque toujours appréhendés de façon intuitive. Le relevé d'informations sur les facteurs qui pourraient avoir affecté le rendement se fait souvent à l'occasion de visites d'essais, et s'appuie donc sur l'expertise des personnes qui réalisent ces visites. Un tel relevé, réalisé sur un carnet que l'expert garde en permanence, vise à se doter de données globales permettant de comprendre pourquoi un essai ou une variété « décroche ». La visite d'essai vient compléter le protocole d'observations, elle est à la fois source et produit de l'expertise des différents acteurs. Le carnet est souvent mobilisé par l'évaluateur au moment du traitement des données fournies par les expérimentateurs.

- Diversité des outils de traitements de données et d'analyse des résultats

Le traitement des données issues des essais est le plus souvent réalisé en deux étapes : (1) analyse des résultats de chaque essai par l'expérimentateur ; (2) centralisation, regroupement et synthèse de tous les essais du réseau par une même personne. L'analyse de chaque essai consiste le plus souvent en une analyse de variance simple, avec moyenne générale de l'essai, coefficient de variation et/ou écart-type résiduel, et test de Newman-Keuls, qui permet de classer les variétés

par groupes statistiques et d'apprécier la « qualité » de l'essai (faible coefficient de variation résiduel). Quand le réseau comporte peu d'essais, la synthèse peut consister à seulement juxtaposer les résultats des différents essais (chez certains sélectionneurs par exemple). Le plus souvent, un regroupement est effectué par la moyenne des résultats de rendement de chaque variété dans le réseau, ou en pourcentage des variétés témoins ou de la moyenne générale. Quelques acteurs présentent la variabilité des résultats, le plus souvent sous forme graphique. Dans de rares cas, une analyse de variance globale sur le réseau, qui nécessite des outils statistiques évolués (analyse de données déséquilibrées) est réalisée. Comme nous l'avons déjà évoqué (§ 1.4.1), ces analyses visent d'abord à évaluer la stabilité d'une variété.

Nos entretiens font ressortir une faible diversité des méthodes d'analyse et de regroupement des données, et ce malgré la forte variabilité des réseaux et des données recueillies sur les réseaux mise en évidence dans les deux paragraphes précédents. L'analyse repose le plus souvent sur des outils statistiques simples et mobilise de fait l'expertise, peu formalisée, des évaluateurs, alimentée par leurs observations réalisées lors de visites d'essais. Cette analyse se traduit par la confrontation des résultats des essais à des caractéristiques du milieu (sol ou climat) très globales, telles que le type de sol, la pluviométrie ou l'aptitude du sol à favoriser la reprise de la végétation en sortie d'hiver. L'expertise est mobilisée de fait pour mieux comprendre l'instabilité éventuelle d'un critère pour une variété donnée, ou pour analyser la pertinence de conserver ou non un essai dans l'analyse globale.

L'analyse de la diversité permet aussi de s'interroger sur la façon dont les différents outils sont ou non reliés entre eux et comment ils font système. Nos données montrent par exemple qu'il est plus difficile d'obtenir des informations détaillées sur les milieux dans les réseaux qui comportent beaucoup d'essais, surtout quand ces derniers sont réalisés en grande partie par des partenaires ou des prestataires de service. C'est aussi dans ce type de réseau que les dispositifs expérimentaux sont les plus simples et que les variations de techniques culturales sont les moins diversifiées. Les informations recueillies sur les variétés semblent peu reliées à la configuration des réseaux. Par exemple, quand les réseaux sont conduits pour une large part en partenariat ou en prestation, le manque d'informations qui peut en découler est pallié par des visites d'essais. L'expertise vient alors compenser le caractère limité et uniforme des données mesurées par les expérimentateurs sur l'ensemble du réseau. Enfin, la relative homogénéité des traitements réalisés sur les données (analyse des moyennes par variété sur l'ensemble du réseau, analyse des écarts entre variétés sur un essai) peut surprendre face à la diversité des configurations de réseaux. Il existe en effet des outils statistiques qui pourraient mieux mettre en adéquation les configurations et les traitements effectués, afin de construire les critères que les acteurs jugent pertinents pour évaluer les variétés. Ces derniers évoquent un manque de compétences en statistique.

La diversité des actions : nouvelles spécifications

Nous proposons de considérer que c'est la combinaison des diverses conceptualisations de l'objet variété et des diverses configurations de réseaux qui rend le mieux compte d'une diversité au niveau des actions. En effet, notre étude des invariants de l'activité a montré que le réseau d'expérimentation, est l'outil central de l'activité. Les 11 actions que nous distinguons renvoient au couplage fait par chaque acteur entre une façon de conceptualiser l'objet variété et une configuration donnée de réseau (Tableau D-5).

	Actions	Conceptualisation de l'objet	Configuration du réseau
1	**Inscription**	Inscrire	Réseau d'Inscription
2	**Début de sélection**	Sélectionner	Réseau de début de sélection
3	**Fin de sélection**	Sélectionner	Réseau de fin de sélection
4	**Développement-collecte de références**	Développer	Réseau de collecte de références sur les nouveautés de l'entreprise
5	**Développement commercial**	Développer	Réseau de développement commercial
6	**Construction de gamme Semences**	Proposer une gamme	Réseau de Semenciers
7	**Référencement technico-commercial**	Proposer une gamme	Réseau de référencement technico-commercial
8	**Référencement technique national**	Proposer une gamme	Réseau de référencement technique
9	**Coordination technique régionale**	Référencer	Réseau de référencement technique
10	**Référencement technico-commercial local**	Référencer	Réseau de référencement technico-commercial
11	**Transformation meunière**	Apprécier les aptitudes technologiques	Réseau des meuniers

Tableau D-5 : Diversité des actions d'évaluation variétale

Certains objets, tels que « Inscrire » ou « Apprécier les aptitudes technologiques » correspondent à des configurations de réseaux bien spécifiques. Mais généralement, les choses sont plus complexes. Ainsi, à un même conceptualisation de l'objet, peuvent correspondre des configurations diversifiées : pour l'objet « Sélectionner », nous distinguons deux actions « Début de sélection » et « Fin de sélection », du fait que les réseaux expérimentaux se distinguent sur pratiquement tous les critères de description que nous avons retenus (voir tableau D-4) ; c'est également le cas pour l'objet « Développer » pour lequel nous distinguons encore deux actions « Collecte de références sur les nouveautés de l'entreprise» et « Développement commercial », car les réseaux expérimentaux se distinguent notamment sur deux critères : l'homogénéité des listes variétales et la part expérimentale qui est déléguée. Nous retenons également trois actions associées à l'objet « Proposer une gamme » : « Construction de gamme semences », « Référencement technico-commercial » et « Référencement technique national » car les configurations de réseaux associées se distinguent sur plusieurs caractéristiques : nombre d'essais, homogénéité des listes variétales, part des essais réalisée par l'entreprise ou en prestation, et dispositifs expérimentaux. Enfin, deux actions « Coordination technique régionale » et « Référencement technico-commercial local » ont également le même objet (Référencer), et ont chacune une configuration de réseau proche des deux actions précédentes (respectivement : réseau de Référencement technique, commun avec l'action Référencement technique national ; et réseau de Référencement technico-commercial, commun avec l'action Référencement technico-commercial). On constate donc également qu'un même type de réseau peut être utilisé en relation avec des conceptualisations différentes de l'objet variété.

A l'issue de ces constats, nous pouvons tirer de nouveaux enseignements pour l'outil à concevoir. La diversité des actions plaide pour laisser des choix multiples aux acteurs au cours de leurs opérations de traitement des résultats. Néanmoins, nos résultats montrent qu'il n'y a pas toujours une relation univoque entre une façon de conceptualiser l'objet variété et une configuration donnée de réseau. Chercher à proposer un outil qui s'ajuste à la diversité des actions n'est peut-être pas aussi pertinent que de chercher un outil ajusté à la diversité d'une part des conceptualisations, d'autre part des configurations. Ainsi, nous proposons d'ajuster les sorties de l'outil aux objectifs et critères d'évaluation de chaque acteur. Par exemple, certains voudront une sortie permettant d'exclure des variétés selon certains critères qu'ils jugent rédhibitoires, d'autres voudront voir comment une variété nouvelle se positionne dans une gamme construite sur des critères spécifiques à l'acteur. Il s'agit donc ici d'envisager une diversité de mise en forme des sorties de l'analyse ou de donner accès aux sorties brutes de l'analyse en laissant le choix de la mise en forme. L'outil devra également permettre de travailler sur des configurations de réseaux variées avec, le cas échéant, des listes variétales hétérogènes et des données manquantes. Nous avons souligné que l'expertise permet souvent aux acteurs de pallier ces « trous d'informations ». Tel acteur voudra intégrer sa propre expertise, par exemple en ajoutant une observation qu'il a effectuée lors de visites d'essais et qu'il juge explicative de différences entre milieux, voire de différences de comportements des variétés. Une procédure devra donc permettre de valoriser ce type d'information en tenant compte de son degré de précision. L'expertise joue aussi au moment de l'analyse : un acteur pourra chercher à ajuster les regroupements des essais en fonction de la capacité des groupes à séparer des grands types de contraintes agronomiques. La procédure à

proposer devra permettre aux acteurs de mobiliser cette expertise sur les sorties produites par l'outil.

1.4.3 Vers l'outil comme médiateur du développement

Nous avons suggéré que, pour qu'il devienne source de développement de l'activité, l'outil donne à voir les contradictions qui se développent au sein de l'activité d'évaluation et donne à voir des pistes afin de les dépasser. La contradiction majeure nous semble se situer entre d'une part la nécessité, reconnue par tous les acteurs, de faire évoluer l'activité d'évaluation pour traiter des enjeux de diversification des performances attendues et des procédés techniques et d'autre part la focalisation des actions d'évaluation variétale sur l'analyse de la stabilité des performances. Si stabilité et analyse de la diversité des comportements sont les deux faces du Janus de l'évaluation, le poids relatif donné à l'une ou l'autre change *a priori* la façon dont les outils de l'évaluation vont être mobilisés et peut se traduire par des besoins en données différents.

<u>Contradiction entre la recherche d'une performance stable et la prise en compte de la diversité des comportements d'une variété dans les milieux.</u>

L'analyse que nous avons faite des traitements de données réalisés par les acteurs montre qu'ils cherchent à caractériser la stabilité des performances d'une variété, que cette stabilité soit évaluée dans l'absolu (moyenne et écart à la moyenne) ou relativement à des variétés témoins ou encore à la moyenne générale dans le réseau. Un tel traitement n'exige pas de connaître précisément les conditions agronomiques qui ont prévalu. Au mieux, l'évaluation de la stabilité de la performance s'appuie sur l'expertise que construisent, les acteurs, principalement sur des commentaires d'observations faites *in situ*, visant à expliquer les écarts de telle ou telle variété dans un essai donné.

Une telle analyse ne permet pas de savoir par exemple si tel facteur du milieu est la source majeure ou non de l'écart de performance ni comment opère une combinaison de facteurs. Or, aujourd'hui il est attendu de pouvoir connaître le comportement des variétés face à des conditions de culture très variées. Ce décalage est ressenti par les acteurs qui disent ne pas être équipés pour produire ces informations. Ces difficultés mettent en exergue une impossibilité, sur la base des outils statistiques et de l'expertise disponible, à conduire une analyse globale des variations observées sur l'ensemble du réseau. Un réseau est finalement le plus souvent considéré comme une juxtaposition d'essais indépendants et non comme une structure complexe dans laquelle les résultats présentent une cohérence qui peut être mise à jour. L'outil doit pouvoir aider les acteurs à dépasser leur analyse actuelle basée sur la comparaison d'essais deux à deux pour identifier cette cohérence. Il s'agit bien de leur donner les moyens d'effectuer une analyse sur l'ensemble du réseau, en valorisant au mieux toutes les informations dont ils disposent, qu'elles soient le fruit de données mesurées ou de leur expertise. Ainsi, pour aider les acteurs à comprendre les difficultés qu'ils rencontrent dans la production des informations qui sont de plus en plus demandées par leurs clients, nous proposons (a) que l'outil permette d'analyser les données à l'échelle du réseau et (b) qu'il donne à voir comment cette analyse permet d'expliciter la diversité des conditions agronomiques dans les essais.

Contradictions entre les informations recueillies et les facteurs limitants que les acteurs souhaitent repérer.

Si la plupart des acteurs ont conscience que c'est dans les caractéristiques des milieux que réside l'explication des variations de résultats, ils disposent de peu d'informations quantifiées sur ces milieux. Ainsi, ils se demandent comment accroître leur connaissance des milieux pour identifier des situations favorables ou pour expliquer les chutes de rendement observées (actions d'inscription et de fin de sélection), mais aussi pour raisonner l'adaptation des variétés aux caractéristiques des milieux ou aux variations de techniques de culture (actions de développement commercial, collecte de références sur les nouveautés de l'entreprise, référencement technique national ou local). Notre analyse met aussi en avant la difficulté plus ou moins grande selon les actions (plus marquée pour l'inscription, le référencement technique national, le développement commercial ou la collecte de références sur les nouveautés de l'entreprise) de recueillir des données sur les milieux, compte tenu des modes d'organisation de l'expérimentation. Cependant, certains acteurs estiment possible de mieux quantifier en utilisant des données facilement accessibles sur les milieux (par exemple, par l'achat de données climatiques à Météo–France). Ils se sentent néanmoins dépourvus quant à l'exploitation de ces données. Nous proposons que l'outil mette à profit l'existence de données plus précises dans certains réseaux pour montrer l'intérêt éventuel de recueillir de telles données ou montrer ce qu'on perd en ne les ayant pas.

Quoiqu'il en soit, les agronomes sont interpellés par la nécessité de caractériser les facteurs limitants qui expliquent les différences de comportement des variétés d'un milieu à un autre. Lesquels faut-il en priorité retenir s'il est impossible de mesurer l'ensemble ? Comment minimiser la quantité d'information à mesurer ? Les agronomes ont envisagé d'utiliser des variétés dont le schéma d'élaboration du rendement[20] est bien connu (qu'ils nomment génotypes révélateurs) pour révéler les facteurs limitants apparus dans un milieu. Il est alors possible de voir comment ces facteurs affectent les variétés nouvelles. Cette proposition, qui change les modes de collecte de l'information, est-elle acceptable pour les acteurs ? Là encore, l'outil doit permettre de montrer ce qu'apporte cette procédure qui va impacter sur les protocoles de recueil de données et sur la liste des variétés dans un site.

1.5 Conclusion

Notre analyse de l'activité d'évaluation des variétés de blé tendre est contingente de notre objectif : concevoir un outil d'aide à l'analyse des données sur le comportement des variétés face à une diversité de contraintes agronomiques. Nous l'avons conduite avec le souci de pouvoir articuler trois dimensions dans le processus de conception de l'outil : la cristallisation, la plasticité et le développement. L'approche de l'activité, que nous avons choisie pour identifier le modèle de l'utilisateur et de l'activité à cristalliser dans l'outil, consiste à rechercher les caractéristiques systémiques de l'activité telle qu'elles se sont constituées historiquement.

[20] La notion de schéma d'élaboration du rendement permet de comprendre comment une performance finale (par exemple le rendement) est le résultat de processus de croissance, de développement et d'allocations des nutriments au sein d'un peuplement végétal. Le rendement s'élabore à travers des composantes entre lesquelles peuvent exister des phénomènes de compensation. Pour plus de détail voir Sebillotte (1980).

Cette analyse conduit à mettre en avant l'importance de la notion de stabilité dans la définition de l'objet variété telle qu'il s'est constitué à l'issue de la seconde guerre mondiale, notion qui s'avère saisie différemment selon les actions d'évaluation effectuées aujourd'hui, et qui peut devenir un frein pour répondre à des exigences nouvelles de l'évaluation. Elle fait aussi ressortir les outils mobilisés dans l'activité d'évaluation, leur éventuelle interdépendance dont il faudra tenir compte, leur construction historiquement située, mais aussi les marges d'action qui sont laissés aux acteurs. Elle pointe les contraintes temporelles à respecter pour analyser les données sur le comportement des variétés et évaluer leurs performances ainsi que la nécessité de réduire les coûts liés à l'acquisition des données utilisées lors de l'évaluation.

L'approche de la diversité des actions qui concrétisent aujourd'hui l'activité d'évaluation repose sur l'identification de la diversité des conceptualisations que les acteurs ont de l'objet variété et de la diversité des modes de construction des outils en instruments. Ceci nous conduit à identifier 11 actions d'évaluation différentes, qui sont autant de façons d'envisager la collecte et le traitement des données nécessaires à l'évaluation. Nous en déduisons la nécessité d'assurer une flexibilité d'usage des analyses produites par l'outil. Il s'agit en particulier de proposer des sorties adaptées à la diversité des conceptualisations. De même, nous en déduisons le besoin d'une flexibilité sur les données d'entrée, pour tenir compte à la fois de la diversité des configurations des réseaux d'expérimentation variétale, outil clé de l'évaluation, et de la place qu'occupe l'expertise dans la collecte et le traitement des données de ces réseaux.

Enfin, nous mettons cette analyse de l'activité et de la diversité des actions en regard des nouvelles exigences qui pèsent sur l'activité d'évaluation variétale, pour identifier comment représenter dans l'outil les contradictions au sein du système d'activité, moteurs possibles d'un développement futur de l'activité et de l'usage de l'outil ainsi conçu. Nous identifions ainsi deux contradictions majeures. La première est la contradiction entre la recherche, partagée par tous les acteurs, d'une stabilité des performances et la montée en puissance d'un besoin d'évaluer les variétés sur leur adaptation à des milieux ou des conditions de cultures précis. La seconde est la contradiction entre les informations recueillies et la volonté de repérer certains facteurs limitants dans les réseaux. Nous proposons que l'outil aide à travailler ces contradictions en montrant l'apport d'une analyse globale à l'échelle du réseau par rapport aux analyses actuelles, tout en faisant état des transformations que seraient alors nécessaires au niveau des protocoles de recueil de données. Il s'agit de permettre aux acteurs d'évaluer ce qu'ils gagnent ou perdent à s'engager dans cette voie.

Il faut souligner néanmoins que les spécifications auxquelles nous aboutissons sont éventuellement en tension. Si le modèle d'activité que nous retenons conduit à la recommandation de ne pas accroître l'information à produire, il faudra, pour surmonter les contradictions identifiées dans l'activité, envisager de recueillir plus d'informations pour caractériser les facteurs du milieu ayant limité les performances des variétés dans le réseau. La solution proposée (concentrer ce recueil sur ce que les agronomes appellent des « génotypes révélateurs ») peut permettre de résoudre cette tension, sous réserve que s'avère possible la transformation des protocoles et de leur mise en œuvre. Une autre tension existe également entre la spécification d'un outil qui s'adapte à l'expertise des acteurs, et la recommandation de

	Modèle de l'activité d'évaluation variétale
invariants	Objet variété : historiquement construit sur l'idée de stabilité et de pureté 4 outils utilisés par tous mais ouverts dans le sens où ils ne définissent pas un script précis pour l'exercice de l'activité et où leurs composantes restent également à spécifier - Réseau d'expérimentation variétale - protocole de mesure et d'observation des variétés au sein du réseau - les méthodes d'analyse statistique - les visites in situ des essais Des règles et des contraintes temporelles et organisationnelles : gestion du temps, organisation du travail en partenariat, coût d'acquisition et d'analyse des informations sur le comportement des variétés
diversité	Diversité des conceptualisations de l'objet « variété » (combinaisons objectifs - critères de jugement) Diversité des instruments - Forte diversité des réseaux (9 types) - Diversité moyenne des protocoles de mesure et d'observation : nature des informations recueillies - Faible diversité des outils de traitement et d'analyse des résultats Diversité des actions (combinaisons conceptualisations – configurations réseaux)
contradictions	Contradiction entre la recherche d'une performance stable et la prise en compte de la diversité des comportements d'une variété dans les milieux Contradictions entre les informations recueillies et les facteurs limitants que les acteurs souhaitent repérer

Tableau D-6 : éléments retenus dans le modèle de l'activité d'évaluation variétale

conduire l'analyse des données à l'échelle du réseau. L'expertise des acteurs, construite pour un certain nombre d'entre eux autour de la notion de stabilité, est nécessairement en porte-à-faux, pour partie, avec l'enjeu d'une analyse de l'adaptation des variétés à des conditions de milieux particulières, ce que permet l'analyse au niveau du réseau.

Dans un cas comme dans l'autre, nous pensons que seule la mise à l'épreuve du prototype avec les acteurs peut permettre de discuter avec eux de ces tensions soit pour remettre en cause les choix de conception, soit pour engager une transformation des actions d'évaluation qu'ils réalisent, et au-delà de l'activité dans son ensemble. C'est le travail que nous avons engagé depuis. Ainsi, une méthode d'analyse, basée sur un diagnostic agronomique (Sebillotte, 1980 ; David et al., 2005) conduit sur des génotypes dits révélateurs et sur des méthodes statistiques (régression multiple et régression factorielle) a été développée (Lecomte, 2005) puis implémentée dans un prototype (DIAGVAR).

Nous envisageons de constituer l'outil comme source de développement : (a) de l'activité d'évaluation en mettant en mouvement l'objet, en particulier en montrant comment valoriser les données du réseau pour dépasser la stricte évaluation de la stabilité ; (b) des actions des différents acteurs, en particulier en créant les conditions d'une genèse instrumentale et d'une réflexivité sur leurs actions (nous proposons pour cela de les laisser utiliser le prototype sur des données passées qui leur sont propres et qu'ils ont déjà analysées) ; (c) de l'activité de modélisation, en particulier en éclairant les difficultés rencontrées par les acteurs dans la mise en œuvre du modèle sur des jeux de données qu'ils choisissent d'analyser. Mettre en place ces interactions autour du prototype vise à permettre des apprentissages croisés entre concepteurs et utilisateurs (Béguin, 2003), mais aussi à favoriser la réflexivité des acteurs, et à engager un cycle d'expansion de l'activité, sur des bases d'ailleurs un peu différentes de celles du Change Laboratory telles que préconisées par Engeström et al.(1996). En effet, tout en reprenant l'idée d'appuyer le développement sur la mise en évidence, aux yeux des acteurs, des contradictions dans le systèmes d'activité, nous souhaitons les révéler aux acteurs *via* le prototype et sa prise en main, quand, pour ces auteurs, elles sont révélées par la mise à disposition d'une représentation du système d'activité, et un débat sur l'objet de l'activité. Quoiqu'il en soit, ce n'est qu'à l'issue de ce travail que nous pourrons réellement évaluer la façon dont nous avons réussi à intégrer une dimension développementale dans le processus de conception de l'outil et enrichir éventuellement la typologie des interventions développementales telles qu'elle a été proposée par Virkkunen (2006).

2. Récapitulatif

Le tableau D-6 présente de façon synthétique les éléments retenus dans l'analyse pour définir les invariants, caractériser la diversité à représenter et les contradictions à mettre en scène.

II. La simulation : mise en œuvre et analyse

Comme présenté dans le chapitre A, notre objectif dans la simulation est de confronter l'outil en cours de conception aux actions des acteurs pour faire à la fois évoluer l'outil et les actions. Nous avons inscrit dans le prototype un modèle de l'activité d'évaluation basé sur des invariants, de la diversité et des contradictions, ainsi que des connaissances scientifiques d'agronomie, d'écophysiologie et de statistiques : par la simulation nous cherchons à les questionner. Mais la simulation a aussi pour objectif de permettre aux acteurs de se projeter dans une activité qui pourrait être leur activité future et qui, ce faisant, les renvoie à ce qui constitue leur activité aujourd'hui et permet d'engager une réflexion sur cette activité. La simulation est ainsi une façon de mettre à l'épreuve les choix que nous avons faits par rapport aux trois objectifs C/P/D. Elle nous permet de questionner les invariants que nous avons retenus, elle éprouve la plasticité de l'outil en la confrontant à plusieurs acteurs dont les logiques sont multiples et, enfin, elle fournit l'opportunité d'un développement conjoint de l'outil et des activités.

Nous avons vu, dans le chapitre A, que c'était la dimension constructive de l'activité de simulation qui était porteuse de ce développement conjoint parce que les différents participants (concepteurs et utilisateurs) apprennent par l'action et par l'analyse de l'action. Notre objectif dans la simulation est de faire porter la dimension constructive de l'activité de simulation sur l'outil en cours de conception et sur l'activité d'évaluation. Ce faisant, nous ne cherchons pas à accompagner jusqu'au bout l'appropriation de l'outil par les acteurs mais plutôt à utiliser cette appropriation dans sa dimension constructive pour mettre en discussion le modèle DIAGVAR. En y parvenant, l'outil est constitué en instrument ce qui s'accompagne d'une remise en mouvement de l'artefact mais aussi de l'activité d'évaluation. C'est ce double mouvement qui est décrit par Béguin et Rabardel (2000) ou Rabardel et Béguin (2005) lorsqu'ils définissent les processus d'instrumentation (c'est-à-dire le développement de l'activité) et d'instrumentalisation (c'est-à-dire le développement de l'artefact) dans les genèses instrumentales.

Après avoir expliqué comment nous avons construit la simulation, nous discutons des résultats de la simulation : comment les échanges avec les acteurs ont été analysés, quelle dimension de la simulation nous jugeons importante pour provoquer la remise en jeu du prototype et l'interrogation des activités, et quel rôle a joué le prototype dans l'ensemble de simulation. Dans la suite de cette partie, nous parlons de simulation pour évoquer l'ensemble de la phase de travail et nous parlons de tests pour évoquer l'usage du prototype sur une base de données que l'utilisateur construit et rentre dans le prototype.

1. Mise en œuvre

1.1 La dimension instrumentale de l'activité d'évaluation au cœur de la simulation

Notre objectif dans cette phase de simulation n'est pas d'anticiper l'activité mais de confronter le prototype aux utilisateurs dans des situations de simulation qui leur permettent de questionner à la fois l'outil et leur activité et envisager leurs transformations éventuelles. Comment construire la simulation pour faciliter la dimension constructive de l'activité lors de la simulation ? Nous suivons Pastré (2005a) ou Béguin (2005) pour dire que la simulation n'a pas vocation à être la plus figurative possible. Il s'agit de mettre en scène l'activité dans des dimensions qui puissent

permettre aux acteurs de construire le prototype comme une ressource pour leur action mais aussi qui suscitent un questionnement sur leurs actions habituelles. Pour cela, nous avons choisi de privilégier la dimension instrumentale de l'activité, en construisant des situations de simulation autour de l'instrument que le modèle de l'activité que nous avons construit désignait comme central : l'instrument « réseau d'expérimentation ». Nous l'avons fait en explorant différents problèmes d'articulation de l'instrument « réseau d'expérimentation » avec l'outil DIAGVAR. En convertissant des données d'expérimentation réelles en fichiers de données compatibles avec l'outil, nous avons demandé aux acteurs de s'attacher à faire varier la configuration des réseaux (en les faisant choisir différentes bases de données pour explorer l'outil), la précision des données (en les sensibilisant à l'effet de données fausses ou imprécises), le choix des génotypes révélateurs, etc… (voir chapitre B).

Pourquoi organiser la simulation autour de la dimension instrumentale de l'activité ? Tout d'abord, nous cherchons à ce que l'outil en cours de conception devienne un instrument de cette activité, et il faut donc anticiper comment les acteurs de l'évaluation variétale vont s'approprier cet outil et vont le faire coexister avec les autres outils utilisés jusqu'ici pour l'activité d'évaluation variétale ou pour en remplacer certains. C'est donc à travers la dimension instrumentale que le prototype peut induire des transformations de l'activité et qu'il peut être remis en cause. Ensuite, rappelons que nous avions choisi de rendre visible, à travers le prototype, des contradictions que nous avions repérées dans l'activité d'évaluation et notamment dans sa dimension instrumentale. En effet, la première contradiction met en jeu les façons d'analyser les résultats (outil d'analyse) et la seconde les façons de recueillir les données (protocole) et dans les deux cas, la configuration du réseau. C'est bien la cohérence du système d'instrument qui est questionnée en relation avec l'objet de l'activité. Donc la dimension instrumentale renvoie bien à des contradictions qui nous sont apparues comme centrales pour susciter un processus de développement. Nous souhaitions donc mettre en scène ces contradictions repérées dans les instruments de l'activité d'évaluation pour stimuler la nature constructive de la simulation.

Comment avons-nous procédé ? Après un temps de découverte du prototype, nous avons proposé aux acteurs de manipuler l'outil, individuellement et dans leur propre contexte de travail dans un premier temps, puis au cours de débriefings collectifs. La manipulation a été orientée par les contradictions. La mise en scène du prototype sur des jeux de données différents nous semblait permettre de débattre de la contradiction qui existe dans l'activité d'évaluation entre la recherche de stabilité d'une variété et la recherche d'une caractérisation de l'adaptabilité d'une variété. Dans le premier cas, le réseau est vu comme moyen de gommer la variabilité en raisonnant sur des performances moyennes ; dans le deuxième cas, le réseau comporte toutes les informations susceptibles de caractériser la variabilité de la réponse variétale face à une diversité de milieux. En construisant des situations de simulation dans lesquelles l'outil est testé sur différents types de combinaisons de milieux donc de réseaux potentiels, nous construisions donc des mises en scène de cette contradiction. De même, nous avions repéré une contradiction entre les informations que les acteurs souhaitaient construire sur le comportement de leurs variétés et les informations qu'ils recueillaient effectivement (des informations pas forcément assez nombreuses ni adaptées). En faisant manipuler aux acteurs des données variées, nous proposions de mettre en scène comment l'outil peut mettre à profit l'existence de données plus précises

Exemples de questionnements sur les choix de réseaux d'expérimentation :

« P*ourquoi avoir choisi ces milieux ? Qu'est-ce que vous vous attendiez à voir ? Pourquoi ces données vous semblent bizarres ? Est-ce un cas que vous rencontrez souvent ? Est-ce que vous procédez tous et tout le temps de la même façon pour obtenir cette donnée ?* ».

Exemples de questionnements pour projeter les acteurs en situation d'action du prototype :

« *si vous deviez utiliser le prototype en routine, qu'est-ce qu'il faudrait changer dans l'outil ? Qu'est-ce que ça pourrait provoquer dans votre travail ? A quel moment pensez-vous l'utiliser ? Plutôt sur quels réseaux ? Est-ce que ce serait possible et utile de faire tourner l'outil sur tels types de réseaux ? Comment pourrait-on faire ?* ».

Cadre D-4: exemples de questionnements des chercheurs pendant la phase de simulation

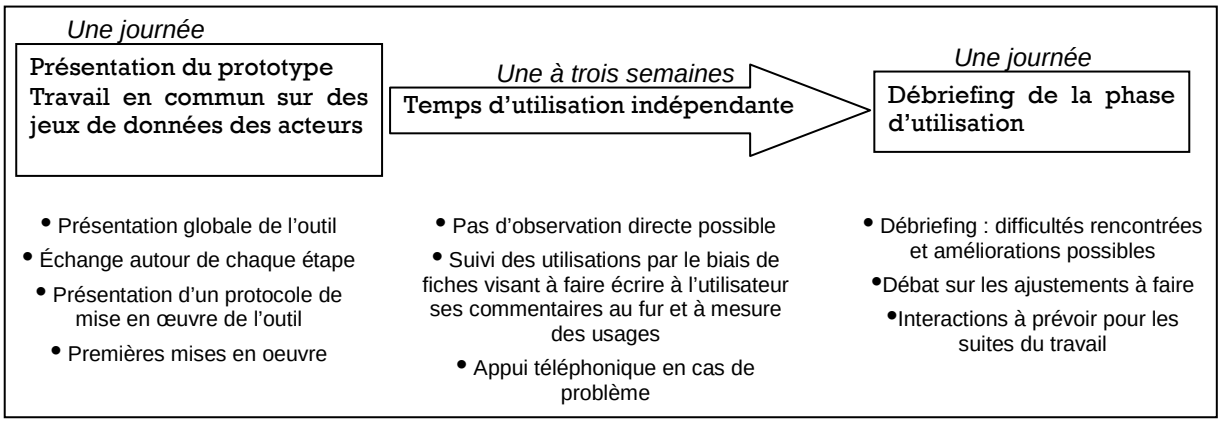


Figure D-3 : organisation de la phase de simulation

Acteur 1 : Nous, on a testé un jeu intensif en utilisant les données de 2005 de FSOV. On a été surpris d'avoir stmphv qui sorte sur tous les milieux. C'est surprenant parce que …c'est lié à des dégâts de gel ?
Chercheur 1 : non c'est différent du gel. C'est un problème de froid pas forcément très intense mais de températures basses sur tout l'hiver
Acteur 1 : ce qui est bizarre, c'est qu'il sort sur Charger, alors qu'il n'est pas connu pour ça. On ne sait pas exactement pourquoi il sort sur celui là et pas sur les autres. Sur la période hv, c'est…
Chercheur 1 : la période hv correspond à levée - épi 1cm.
Acteur 1 : c'est une période longue en plus, pas très ponctuelle.
Chercheur 1 : est-ce qu'il y avait beaucoup de facteurs limitants (FL) qui sortaient sur Charger ? Si l'outil n'a trouvé que peu de FL, il associe des poids forts aux FL qu'il a décelés mais ils ne sont pas très fiables.
Acteur 1 : il y a eu d'autres FL qui sont sortis sur Charger et qui sont plus compréhensibles : stmpem, st25ef, …je ne sais plus
Chercheur 1 : on va le refaire tourner. []
Chercheur 1 : je regarde dans la table dataR2part qui donne les facteurs limitants qui sont sortis pour chaque témoin et les R^2 partiels de chaque FL. On va regarder aussi sur les autres témoins. Il a sorti 3 facteurs sur Charger : stmphv, stmpem…donc il a eu froid jusqu'à la méiose. Alors que Soissons a eu froid plus tard (plus précoce) et CapHorn n'a pas eu froid.
Acteur 2 : les corrélations sont plutôt bonnes, quand on regarde les R^2. Les régressions sont bien.
Acteur 3 : ça a dû le retarder un peu en végétation, c'est peut être pour ça qu'il dit qu'il y a eu perte de rendement.
Acteur 1 : qu'est-ce qu'il faut mettre derrière ces étiquettes là ?
Chercheur 2 : est-ce que tu as vérifié que, dans ce réseau là, tu étais dans la même gamme que celle de Christophe ? On impose des mini et maxi pour remettre les indicateurs de FL sur une même échelle de 0 à 10, ces valeurs sont issues de gros réseaux de Christophe. Mais ça pourrait arriver qu'il y ait une valeur inférieure au minimum, à ce moment là, le facteur limitant est constamment à son maximum et l'outil peut lui donner un poids fort. Là on a quand même des faibles sommes de température hivernale.
Acteur 3 : l'intérêt c'est aussi que l'outil sorte des choses auxquelles on ne s'attend pas.
Chercheur 1 : oui mais il faut toujours avoir à l'idée que l'outil sort des résultats très relatifs à la gamme de milieux qui lui sont soumis. C'est pour ça qu'on le confronte à votre expertise.

Cadre D-5 : exemple de discussions autour d'un test dont les résultats sont problématiques

dans certains réseaux pour montrer l'intérêt de recueillir telles données ou montrer ce qui était perdu en ne les ayant pas. Outre la manipulation du prototype sur des jeux de données différents, nous avons questionné les acteurs pendant les moments de tests. Le questionnement d'une part a porté sur les choix de réseaux d'expérimentation que les acteurs introduisaient dans le prototype, d'autre part visait aussi à projeter les acteurs en situation d'action du prototype (voir chapitre B et cadre D-4). Ce questionnement devait aider les acteurs de l'évaluation à sortir d'une dimension uniquement productive de la simulation et permettait d'affirmer le rôle de la réflexivité pour engager des transformations.

L'enjeu de ces moments de simulation est donc d'initier des genèses instrumentales autour de la manipulation du prototype DIAGVAR sur des jeux de données différents, genèses instrumentales susceptibles de remettre en mouvement le prototype mais aussi l'activité des acteurs.

1.2 Travail réalisé

La phase de simulation a été structurée en trois temps : un temps de découverte du prototype pendant lequel les acteurs ont commencé à manipuler le logiciel, un temps d'utilisation « indépendant » c'est à dire sans la présence des chercheurs, et un temps de débriefing durant lequel des tests faits sur le prototype ont été discutés dans des collectifs constitués ad hoc. Ces trois temps ont été décrits en détail dans la partie II.2 du chapitre B. Nous avons reproduit ci-contre (figure D-3) la figure récapitulant ces trois temps. Le premier temps constitue pour nous un préalable nécessaire à la simulation proprement dite. Il s'agit d'un temps de familiarisation et de prise en main du logiciel. Nous y avons fait tourner le prototype sur des jeux de données pour présenter aux acteurs toutes les fonctionnalités et informations données par le logiciel, ainsi que notre propre façon de naviguer dans les résultats de l'outil. A travers ce premier temps, nous avons donc commencé à donner à voir notre point de vue de concepteur sur l'outil. Le second temps n'a pas été observé : les acteurs ont testé le logiciel indépendamment dans leurs propres structures. Nous nous étions simplement rendue disponible pour répondre à d'éventuels problèmes d'utilisation pendant cette période. Nous avons demandé aux acteurs de revenir sur ce temps et sur les tests qu'ils avaient effectués durant le temps de débriefing.

Pour discuter des résultats de chaque test du prototype, nous disposions d'un vidéo-projecteur qui nous permettait de montrer les écrans du logiciel pour différentes combinaisons de milieux testées par certains acteurs du collectif. Cela a été particulièrement utilisé pour discuter celles dont les résultats posaient problème. Par exemple, un participant nous disait avoir testé une combinaison de milieux et avoir trouvé les résultats « étranges ». Nous faisions alors tourner le logiciel DIAGVAR sur la combinaison décrite par le participant et discutions en collectif les résultats projetés. Nous avons également parfois fait tourner des combinaisons complémentaires pour tester des hypothèses d'explication données par les utilisateurs ou les chercheurs (par exemple : « *attention, vous utilisez ici un milieu pour lequel nous savons qu'il y a des données fausses. On pourrait regarder ce que ça donne en l'enlevant* »).

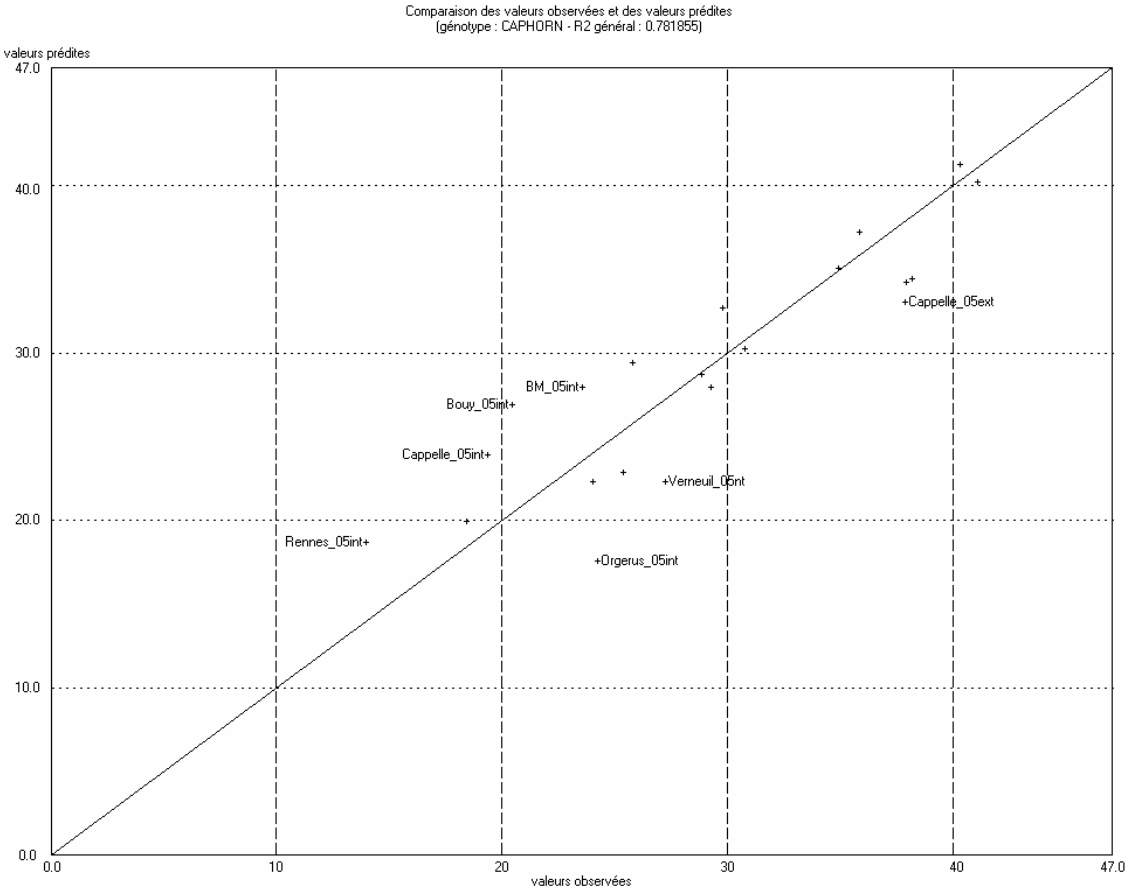


Figure D-4 : relation entre pertes de rendement prédites et pertes de rendement observées sur Caphorn.

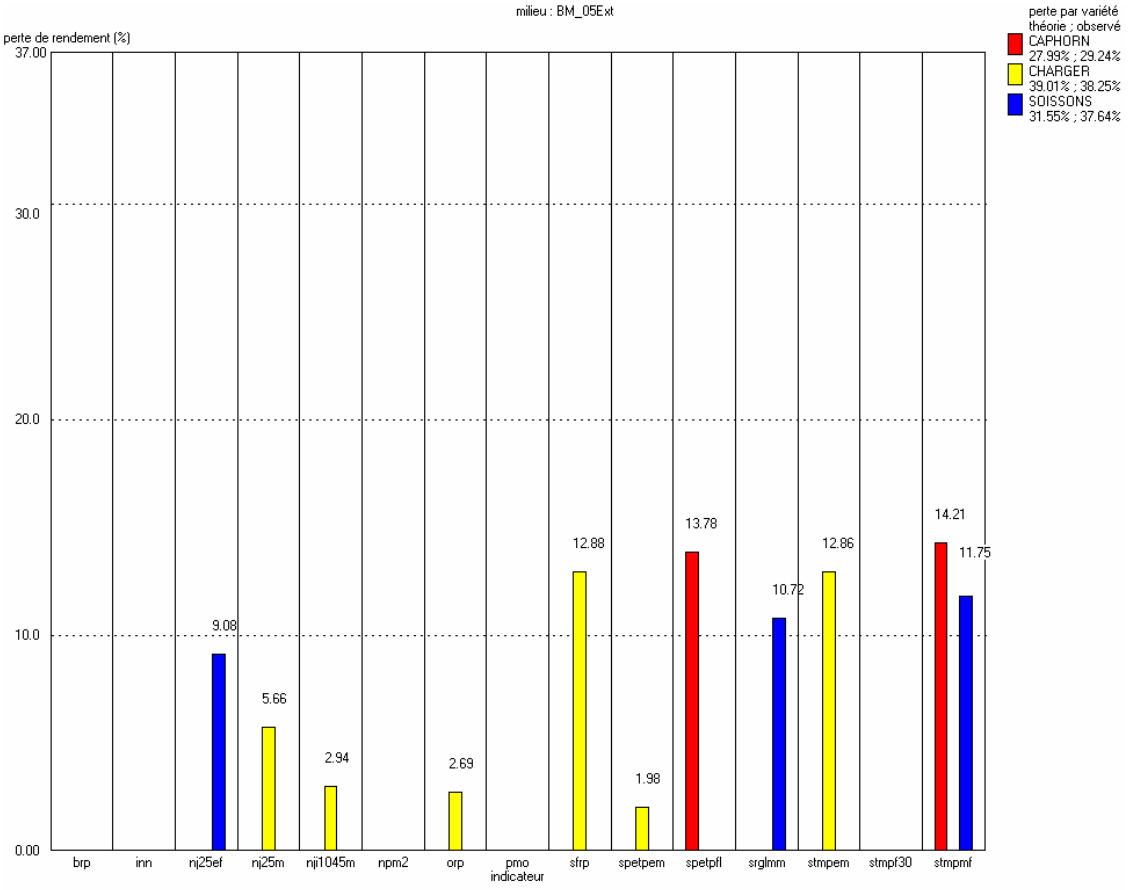


Figure D-5 : graphique « milieu »

Cette technique nous permettait de montrer au collectif les données d'entrée (qui peuvent être visualisées sur un des écrans de DIAGVAR) et de les mettre en rapport avec les résultats, ce qui nous a entre autres permis de trouver des erreurs dans les données d'entrée. Mais elle nous permettait également de mettre en patrimoine les fonctionnements de DIAGVAR sur une diversité de bases de données, explorées différemment par les acteurs. Rappelons en effet que nous avions laissé aux acteurs le choix des tests à réaliser avec l'outil DIAGVAR. Chacun avait donc testé des combinaisons de milieux assez différentes qui avaient fait naître des interrogations différentes (cadre D-5).

Nous représentons ci-dessous les différentes sorties de DIAGVAR qui ont été discutées par les participants. Nous expliquons la nature de chaque sortie ainsi que le type de commentaires qui ont pu être faits sur chaque sortie.

Graphiques d'ajustement entre les pertes de rendement prédites et les pertes de rendement observées (figure D-4)

Ces graphiques illustrent le coefficient de détermination (R^2) de la régression multiple effectuée par DIAGVAR pour le diagnostic des facteurs limitants du rendement. Les milieux qui s'écartent de la bissectrice sont identifiés.

Ces graphiques ont été utilisés pour discuter de la qualité du diagnostic qui a rapidement été associée à la valeur du R^2 (« le R^2 est bon, on peut penser que les facteurs limitants ont été bien décrits ») ou pour discuter du comportement d'un milieu (« ce milieu est complètement en dehors de la droite, il a été mal décrit, pourquoi ? est-ce qu'il manque un facteur limitant identifié comme responsable de la perte de rendement dans ce lieu ? »).

Graphiques « milieu » (figure D-5)

Ils représentent, pour un milieu donné de la combinaison des essais testés (rappel : un milieu = un lieu, une année, une conduite), les facteurs limitants ayant expliqué la perte de rendement de chaque génotype révélateur, ainsi que le poids du facteur identifié sur le rendement du génotype révélateur (abscisses : nature des facteurs limitants présents, ordonnées : perte de rendement occasionnée par le facteur limitant, code couleur : génotype révélateur). Dans l'exemple, 3 variétés ont été utilisées comme génotypes révélateurs : Caphorn, Charger, Soissons. Elles ont permis la mise en évidence de 15 facteurs limitants. Certains de ces facteurs ne concernent qu'un génotype révélateur (ex : nj25ef, nombre de jours où les températures maximales ont dépassé les 25° entre épiaison et floraison), alors que d'autres ont touché plusieurs génotypes révélateurs (ex : stmpmf, somme de températures moyennes journalières entre méiose et floraison).

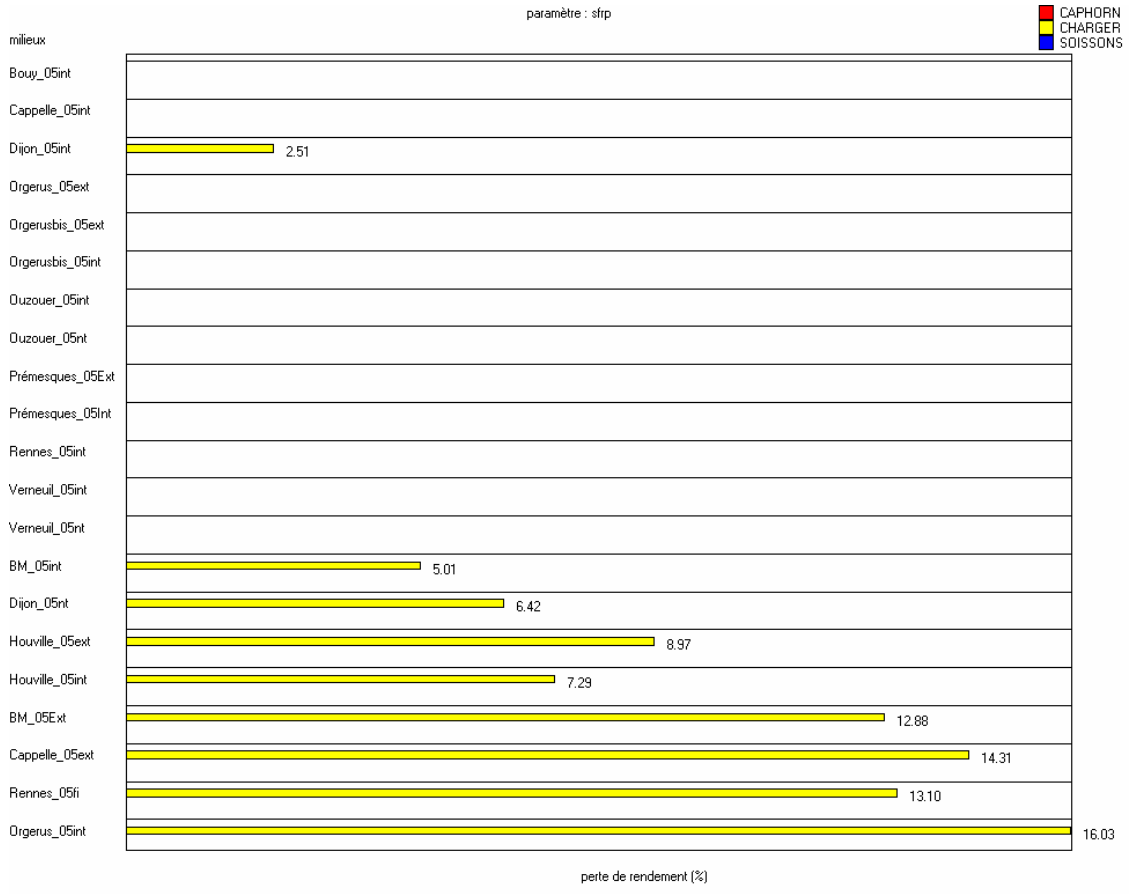


Figure D-6 : graphique « facteur limitant »

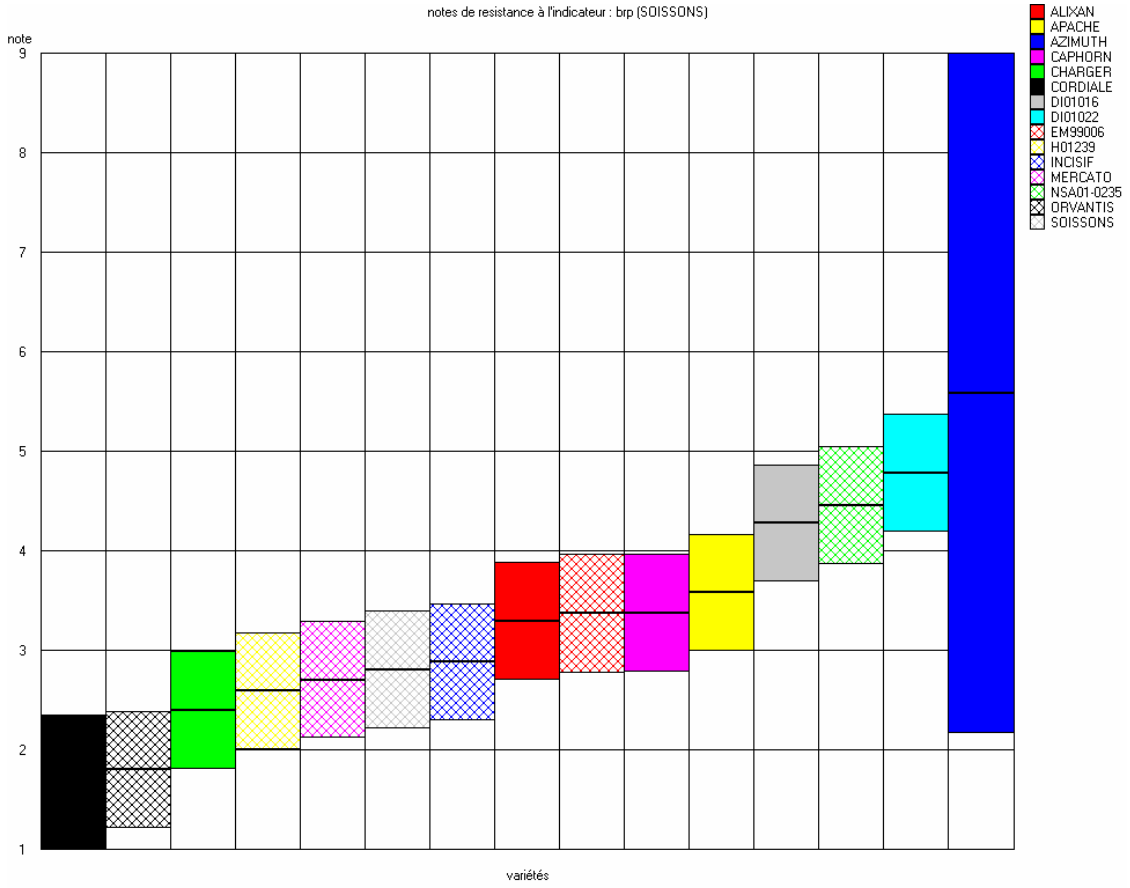


Figure D-7 : graphique "note de résistance"

Face à ces graphiques, les acteurs de l'évaluation variétale ont pu faire des remarques de validation (« *effectivement, il y a eu pas mal de septoriose sur ce lieu cette année-là.* ») ou d'interrogations (« *il sort un facteur limitant de froid, c'est bizarre que ça joue autant sur le rendement* » ou *« pourquoi ce facteur sort sur ce témoin et pas sur les autres ?* »).

Graphiques « facteur limitant » (figure D-6)

Ils représentent un classement des milieux en fonction de l'intensité de l'action d'un facteur limitant donné (abscisse : milieux, ordonnées : pertes de rendement dues au facteur limitant étudié). Dans l'exemple, c'est l'effet du facteur « septoriose » dont on voit l'intensité dans les différents milieux.

Ces graphiques ont été moins manipulés que les précédents. Lorsqu'ils l'ont été, cela a concerné la validation du prototype (« *ok, on voit bien que ce sont surtout les milieux non traités qui ont été touchés par les maladies* ») ou pour essayer de raisonner à l'échelle du réseau (« *il y a peu de milieux qui font ressortir ce facteur, il faut les conserver* »).

Graphiques « notes de résistance » (figure D-7)

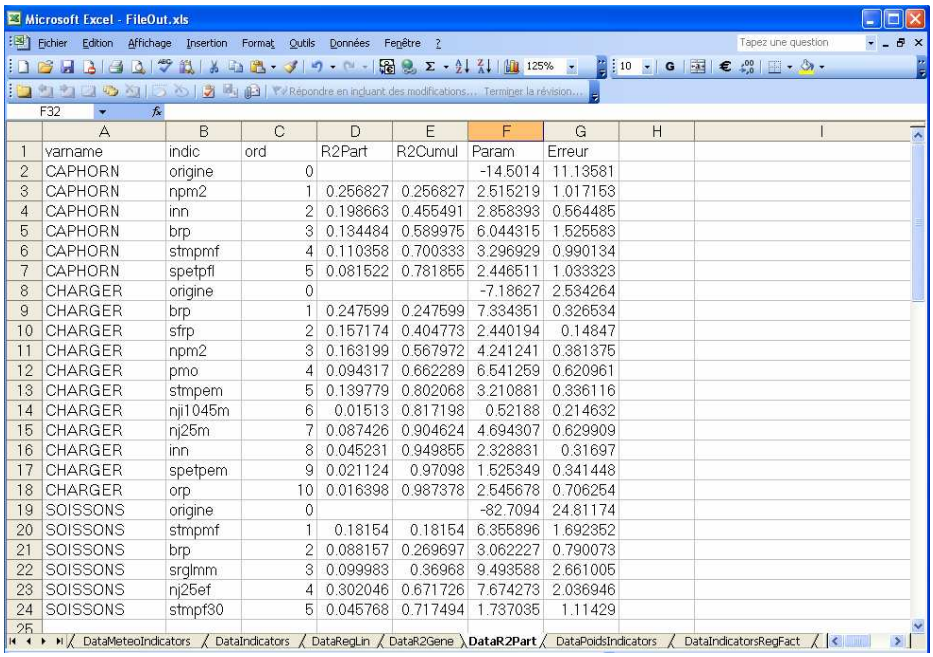
Ils classent l'ensemble des variétés présentes dans le réseau selon leur résistance, estimée par la régression factorielle, à un facteur limitant donné. Dans l'exemple, les variétés sont classées par rapport à leur résistance à la rouille brune. Les variétés ayant les notes les plus faibles sont les moins résistantes. Pour chaque variété, la barre représente la moyenne de la note estimée et les aires de chaque côté de la moyenne représentent l'écart-type de la note estimée.

Ces graphiques ont été très utilisés pour valider les résultats de l'outil (« *alors, il nous dit que Di01022 est plus résistante que Cordiale, c'est pas vraiment ce qu'on voit chez nous* ». *« Cordiale a la note la plus faible, effectivement, elle est assez mal classée par le GEVES ou Arvalis pour cette maladie* ») mais aussi pour questionner le fonctionnement du prototype (« *pourquoi on a des trous dans les notes ?* », « *pourquoi certaines ont des grandes barres ?* ».

Un extrait des sorties numériques : la table dataR2Part (figure D-8)

Les sorties numériques se structurent en deux parties : des tables correspondant aux données d'entrées et des tables reprenant les résultats des étapes de diagnostic des facteurs limitants et de caractérisation des variétés. Nous avons représenté ci-dessous une table qui donne les facteurs limitants dont l'effet a été jugé significatif par l'outil, par génotype révélateur et par ordre de sortie dans la régression. Par exemple, c'est le facteur « nombre de pieds par m² » (npm²) à la sortie de l'hiver qui est sorti le premier comme explicatif des pertes de rendement de CapHorn.

Ces tables ont été très utilisées dans les discussions, à la fois comme moyen de validation (« *il n'y a que deux facteurs limitants qui sortent pour le témoin, et chacun explique 40% de la variabilité, ce n'est pas crédible* ») et comme source d'interrogation de l'outil (*« pourquoi on a beaucoup de facteurs limitants pour un témoin et très peu pour l'autre ? il a été mal prédit ? il faut continuer de le prendre en compte ou on l'élimine ? », « Pourquoi aucun témoin ne fait ressortir ce problème, on l'a pourtant vu dans les essais », « pourquoi ce facteur sort sur ce témoin et pas sur tel autre alors qu'il est plus précoce et qu'il devrait être encore plus touché ?* »)



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	varname	indic	ord	R2Part	R2Cumul	Param	Erreur		
2	CAPHORN	origine	0			-14.5014	11.13581		
3	CAPHORN	npm2	1	0.256827	0.256827	2.515219	1.017153		
4	CAPHORN	inn	2	0.198663	0.455491	2.858393	0.564485		
5	CAPHORN	brp	3	0.134484	0.589975	6.044315	1.525583		
6	CAPHORN	stmpmf	4	0.110358	0.700333	3.296929	0.990134		
7	CAPHORN	spetpfl	5	0.081522	0.781855	2.446511	1.033323		
8	CHARGER	origine	0			-7.18627	2.534264		
9	CHARGER	brp	1	0.247599	0.247599	7.334351	0.326534		
10	CHARGER	sfrp	2	0.157174	0.404773	2.440194	0.14847		
11	CHARGER	npm2	3	0.163199	0.567972	4.241241	0.381375		
12	CHARGER	pmo	4	0.094317	0.662289	6.541259	0.620961		
13	CHARGER	stmpem	5	0.139779	0.802068	3.210881	0.336116		
14	CHARGER	nji1045m	6	0.01513	0.817198	0.52188	0.214632		
15	CHARGER	nj25m	7	0.087426	0.904624	4.694307	0.629909		
16	CHARGER	inn	8	0.045231	0.949855	2.328831	0.31697		
17	CHARGER	spetpem	9	0.021124	0.97098	1.525349	0.341448		
18	CHARGER	orp	10	0.016398	0.987378	2.545678	0.706254		
19	SOISSONS	origine	0			-82.7094	24.81174		
20	SOISSONS	stmpmf	1	0.18154	0.18154	6.355896	1.692352		
21	SOISSONS	brp	2	0.088157	0.269697	3.062227	0.790073		
22	SOISSONS	srglmm	3	0.099983	0.36968	9.493588	2.661005		
23	SOISSONS	nj25ef	4	0.302046	0.671726	7.674273	2.036946		
24	SOISSONS	stmpf30	5	0.045768	0.717494	1.737035	1.11429		

Figure D-8 : extrait des sorties numériques, table dataR2Part

2. Analyse de la phase de simulation

L'ensemble des échanges entre concepteurs et utilisateurs ont été enregistrés et retranscrits, que ce soit au cours du temps de découverte du prototype (1er temps de la phase de simulation) ou au cours des débriefings collectifs (3ème temps de la phase de simulation). Nous avons expliqué dans le chapitre B, partie III.2 que nous avions groupés l'ensemble des échanges avec les acteurs en trois catégories :

1) les problèmes concrets et techniques d'interface et de programmation,
2) les questions s'adressant aux concepts qui fondent le modèle et à ses résultats
3) les questions relatives à l'usage et à l'utilisation du prototype : celles s'inscrivant dans l'activité d'évaluation variétale, mais aussi les questions relatives à la découverte du prototype dans les phases d'utilisation (comment les acteurs ont abordé la démarche et l'ont mise en œuvre).

Nous avons reproduit dans le chapitre B un extrait d'un tableau obtenu à la suite de cette catégorisation (Tableau B-7). Il est vrai que cette catégorisation consistait essentiellement à trier les contenus des interactions pour relever ce qui devait être débattu par les agronomes. Notre analyse de la troisième catégorie, qui renvoyait davantage à une approche ergonomique, a été moins approfondie. Elle nous a néanmoins permis de repérer des éléments sur le rôle du collectif dans la simulation et la notion de développement horizontal, ainsi que sur le statut du prototype dans la simulation. Ce sont ces deux plans que nous présentons ci-dessous, appuyés essentiellement par des exemples de ce qui s'est passé dans la stimulation.

2.1 Rôle du collectif dans la simulation et développement horizontal

Dans ce paragraphe, nous souhaitons revenir sur le travail réalisé durant le troisième temps : les séances communes de travail entre chercheurs et utilisateurs, effectuées après que les acteurs ont testé le prototype de façon individuelle, sans la présence des chercheurs. Notre objectif est de montrer que la nature constructive de la simulation est liée au dialogue et à l'échange des points de vue qui s'instaurent entre les différents participants des séances de travail, à savoir les acteurs de l'évaluation variétale et les concepteurs. Etant donné que nous n'avons pas pu observer le second temps, celui de l'utilisation indépendante de l'outil, il nous est difficile de savoir si ce temps a lui aussi été un temps permettant une activité constructive. Il est possible que les acteurs aient commencé, lors de ce temps d'utilisation indépendante, à inscrire l'outil dans ce qu'ils font, il est également possible qu'ils aient surtout exploré les potentialités et les limites de l'outil par rapport aux fonctionnalités qu'ils avaient aperçues dans le temps de découverte. Nous n'affirmons donc pas que la simulation n'est constructive que lorsqu'elle est dialogique. Mais nous pensons que le dialogisme des séances de débriefing est un moteur pour que la simulation soit constructive.

Nous avons dit que les discussions entre les participants de ces séances collectives s'établissaient principalement autour de certains tests faits par les acteurs dont les résultats étaient projetés à l'écran pendant la séance. Pour construire les échanges entre participants, nous avons de fait utilisé l'activité productive des acteurs avec l'outil DIAGVAR (« faire une analyse des données d'un réseau d'essais ») et les problèmes que les acteurs rencontrent dans cette activité.

« *The first one is mainly analyst-oriented: because they encourage spontaneous explanation, confrontation methods lead to a better understanding of the activity, with video being a way to assist the people in the description of their activity. The second one is rather subject-oriented: by verbalizing about their own activity, or by being faced with the activity of others, or by having to justify their own activity in front of a colleague or of colleagues, participants gain a better understanding of their activity, modify their knowledge, adapt their procedures, construct new ones, etc*." (Mollo et Falzon, 2004).

Cadre D-6 : les deux perspectives de la confrontation croisée

Ce faisant, nos débriefings sont organisés selon des modalités proches des méthodes de confrontation croisée, développées par les ergonomes ou les psychologues du travail et utilisées pour créer « un cadre de développement des sujets, du collectif et de la situation » (Clot et al, 2000). Concrètement, la méthode de confrontation croisée (appelée autoconfrontation croisée par Clot et al., 2000 mais alloconfrontation croisée par Mollo et Falzon, 2004) consiste à faire discuter un collectif sur les traces de l'activité d'un des membres du collectif. Les traces en question sont des enregistrements souvent vidéo provenant de l'observation de l'activité d'une personne. Il s'agit d'utiliser « *l'image comme support principal des observations* » (Clot et al, 2000). La confrontation consiste à faire expliquer et débattre ce que l'opérateur met en œuvre dans son activité : les gestes, les postures, les déplacements, les raisonnements qui sous-tendent ce qui se passe, etc. (Mollo et Falzon, 2004). Mollo et Falzon (2004) développent l'idée que les méthodes de confrontation comportent deux perspectives, une perspective de compréhension et une perspective de développement (voir les détails dans le cadre D-6)

Notre débriefing se construit aussi dans cette double perspective. Néanmoins, cette dernière ne concerne pas uniquement l'activité des sujets mais aussi l'outil. De fait, notre intervention est structurée par la nécessité de concevoir l'outil et non uniquement de comprendre ce qui fait problème (ou ce qui est efficace) dans l'activité, ou d'accompagner le développement des sujets. Si nous avons retenu le principe de discuter collectivement sur des traces de l'activité pour faire naître de la réflexivité, d'autres choix renvoient à notre situation et à nos objectifs :

- le collectif est réuni pour discuter non de traces de l'activité actuelle mais des traces de l'activité qui pourrait se développer autour du prototype,
- le choix des situations à discuter est fait par les acteurs qui, eux, ont testé certaines situations plutôt que d'autres et souhaitent revenir dessus en collectif.,
- le dialogue n'a pas lieu uniquement entre des personnes qui partagent une même activité mais se déploie aussi entre chercheurs et acteurs de l'évaluation variétale.
- La réflexivité n'est pas basée sur la mise en récit de l'activité productive, comme lors de la confrontation croisée, ou des débriefings tels qu'ils sont construits par Pastré (2005a). Elle n'est pas structurée par la mise en évidence de l'organisation systémique de l'activité et des contradictions qui s'y inscrivent comme cela est réalisé dans le cadre du Change Laboratory ® La réflexivité qui apparaît dans la simulation est liée à la mise en scène, par l'activité productive (c'est-à-dire par les tests que les acteurs font de l'outil), des contradictions de l'activité.

Le fait d'avoir construit ces moments en collectif pour effectuer des tests avec l'outil nous semble déterminant dans le processus et dans la nature du développement que nous avons initié. A travers cette confrontation, c'est principalement une vision horizontale du développement que nous travaillons, et pas uniquement la vision classique du développement, vertical, où l'on chercherait « *à élever, à approfondir l'efficience* » (Béguin, 2005 p.63). La verticalité est bien sûr présente : chaque participant trouve, dans cette phase, des éléments pour développer ses compétences, élargir son champ de compréhension et d'action. C'est ce que nous avons observé sur de nombreux plans. Par exemple, lors de ces séances, un des acteurs a expliqué que

Développeur 1 : ce qui est gênant [par rapport aux notations maladies], c'est que des observations ont été faites juste avant l'épiaison et d'autres juste après, et c'est traité différemment par l'outil [parce que les notations font se trouver distribuées soit en phase montaison soit en phase remplissage]. Il faudrait arrêter la phase « montaison » un peu avant l'épiaison.
Chercheur 1 : est-ce qu'on pourrait avoir une règle fixe là-dessus ? par exemple dire tout le temps que la fin de la phase, c'est épiaison moins 3 jours ?
Sélectionneur 3 : le problème, c'est qu'on note tout en même temps.
Sélectionneur 6 : il faudrait tout ramener aux stades mais quand on travaille avec des différences de 15 jours dans les précocités, on ne peut pas. On ne peut pas passer tous les jours.
Chercheur 1 : vous notez plutôt sur la période remplissage ?
Sélectionneur 6 : on note quand les maladies apparaissent, quand on voit les symptômes.

Cadre D-7 : extrait du débat sur les notations maladies

cela lui renvoyait la question « *de l'optimisation des réseaux. Comment, à partir des graphes fournis, peut-on réussir à proposer des milieux à supprimer ou des milieux complémentaires ? Et est-ce qu'il faut faire cette analyse en pluri annuel ? Et si c'est le cas, sur combien d'années devrait-on travailler, et avec quel génotype révélateurs ? Et est-ce qu'il faut qu'on travaille par facteur limitant ou globalement ?* » . La manipulation de l'outil fait apparaître la question de la configuration de l'instrument « réseau » et la façon de le transformer pour en faire un outil optimisé. Autre exemple sur un autre plan, un acteur du GIE Club des 5 a proposé de « *réadapter le fonctionnement de leurs plates-formes d'essais pour s'adapter à l'outil : faire un mini-essai «témoins » sur la plateforme pour les mesures destructives (notamment les stades) et utiliser les données provenant de cet essai « témoins » pour alimenter tous les essais de la plateforme. On pourrait alors mettre une dizaine de témoins sans difficultés. Ce serait aussi plus simple pour les personnes suivant l'essai : ça éviterait d'avoir trois répétitions pour les témoins, dispersées sur l'ensemble du plan expérimental à cause de la randomisation. Et on pourrait utiliser les témoins pour boucher les essais [=combler les trous dans un plan expérimental]. Pour les notations, rendement et accidents, on ferait bien les notations sur chaque essai de la plateforme indépendamment. A travers ça, l'idée serait que les résultats du précom [le réseau commun aux membres du GIE] soient chaque année mis au format outil et partagés et que de là, chaque obtenteur rajoute ses propres essais, de son côté ».* A travers cette proposition, qui vise à l'origine à proposer un fonctionnement collectif pour alimenter l'outil DIAGVAR en données, c'est le fonctionnement d'une communauté de travail qui est interrogé, ainsi que la division du travail qui existe dans cette communauté.

Mais le développement est également horizontal dans la mesure où « *il réfère à la diversité des positions au sein d'un groupe* » (Béguin, 2005). Nous avons construit un collectif hétérogène dont les acteurs, aussi bien les chercheurs que les acteurs de l'évaluation variétale, possèdent leurs propres champs d'expertise et d'expériences. Parce que l'outil est l'objet de travail des « chercheurs-concepteurs » et parce que sa manipulation par les acteurs de l'évaluation leur permet de mettre en question leur activité, il rassemble les intérêts. Le travail dans un collectif autour de cet outil fournit alors une occasion pour échanger les expertises, pour qu'elles s'enrichissent mutuellement. La plupart des acteurs de l'évaluation ont par exemple été surpris et intéressés de l'importance des conditions climatiques autour du stade méiose sur le rendement des variétés. Ils ont également été intéressés par les méthodes statistiques que nous avions utilisées et nous ont demandé de nombreux détails à ce propos. Inversement, les concepteurs ont par exemple été interpellés par les acteurs de l'évaluation affirmant l'existence d'une variabilité inter-annuelle forte dans la relation entre les stades épi 1 cm et épiaison. Dans ces deux exemples, les participants prennent acte de « trous de leur connaissance » sur la base des connaissances des autres. Mais prendre conscience de la diversité des positions peut conduire également à construire des intérêts communs. C'est à notre sens ce qui se construit autour du thème de la notation des maladies (nous avons reproduit un extrait de ce débat dans le cadre D-7). Au vu de la façon dont les notes étaient attribuées à une phase de développement ou à une autre dans DIAGVAR, les acteurs ont expliqué que cette division des données n'était pas appropriée. Eux notent les maladies sur toutes les variétés en même temps. Celles-ci peuvent alors se trouver dans des phases de développement différentes. Cela conduit à faire apparaître dans DIAGVAR des données manquantes qui n'existent pas en réalité. Ce problème a conduit les concepteurs à s'intéresser aux dynamiques d'évolution des maladies avec l'idée de remplir ces

Sélectionneur 4 : on pourrait considérer l'ensemble des essais pré dépôt, CTPS et précom sur un même lieu comme un gros essai. On a ce gros essai sur 5 lieux, une année donnée et possiblement beaucoup de témoins. Ça nous permettrait de faire des rapprochements entre des groupes de variétés, faire des typologies. Ça, ce serait l'option sélection. Après, on aurait l'option développeur où on pourrait avoir un groupe plus restreint mais avec plus de lieux et plus d'années. On peut compiler pour reconstruire des essais fictifs avec des listes variétales communes, on peut faire ça sur 4 ans. F6, pré-dépôt, CTPS 1 & 2. Et là on ne met que la série de CTPS 2 qui intéresse les développeurs ».
Chercheur 1 : et peut-on faire ça sur F5, F6 et pré-dépôt, pour les sélectionneurs ? faire tourner l'outil au moment du pré-dépôt pour évaluer les variétés au moment du pré-dépôt. **Sélectionneur 4** : oui ce serait déjà une avancée, même si on ne va pas forcément sélectionner les variétés sur des critères aussi fins. Il y a aussi qu'on peut utiliser la caractérisation d'un lieu, faite dans un autre réseau plus complet. Est-ce que ce serait pertinent de forcer l'entrée de facteurs limitants parce qu'on sait par ailleurs déjà comment est caractérisé un milieu ? Ce qu'on pourrait imaginer, c'est de valoriser dans la durée les caractérisations des milieux. C'est-à-dire tenir pour acquis la description d'un lieu une année donnée. On se servirait par exemple d'un réseau bien carré et fonctionnant bien (par exemple le précom) pour caractériser les facteurs limitants d'un milieu et ensuite on peut réutiliser cette description du milieu pour une série variétale un peu différente, dans une génération antérieure où on aura collecté moins de données que ce qu'on fait dans le réseau précom. »

Cadre D-8: exemple de discours à propos de réaménagements de l'activité

Sélectionneur 5 : à l'étape 2, il y a sélection de facteurs limitants et dans l'étape 3, on ne garde que quelques-uns de ces facteurs limitants pour l'estimation des notes. Comment se fait cette sélection ?
Chercheur 1 : vous avez l'info sur la table DataRegFact. On a trois types de critères pour le test de chaque facteur limitant dans la régression factorielle : le R^2 du terme d'interaction, le signe du paramètre de l'effet principal du facteur limitant, et un test de Fisher sur le terme d'interaction
Développeur 1 : dans les sorties graphiques, à l'étape 2, il sort les facteurs limitants expliqués par chaque témoin. Et dans un jeu que j'ai testé, dans la régression factorielle, quand il fait sortir une variable, il ré-indique le témoin sur lequel ce facteur limitant s'est exprimé. Et une fois, je n'ai pas trouvé le même témoin pour un facteur limitant dans l'étape 2 et l'étape 3 : par ex, la chaleur était sortie sur Charger et dans la régression factorielle, il a dit utiliser la chaleur sur Soissons.
Chercheur 1 : Christophe [Lecomte] a testé plusieurs possibilités pour l'introduction des covariables. Du moment que la verse était sortie sur un témoin, il a voulu tester ce que ça donnait de prendre les indicateurs de tous les témoins. Et il a constaté que régulièrement, ce n'était pas le témoin qui avait fait ressortir le facteur limitant dans l'étape 2 qui servait à faire sortir le facteur limitant dans l'étape 3. Donc il a choisi d'essayer d'introduire dans la régression factorielle les indicateurs de facteurs limitants provenant de chaque témoin et pas uniquement de celui ayant fait ressortir le facteur limitant.
Développeur 1 : même si le facteur limitant n'est démontré que par un témoin ?
Chercheur 2 : dans l'étape 2, l'objectif est de savoir quels sont les facteurs limitants dans l'essai donc qu'ils aient été montrés sur un témoin ou un autre, c'est une astuce de calcul pour faire ressortir l'ensemble des facteurs limitants. Ensuite, il n'y a plus trop de logique de faire référence à un témoin en particulier. Ce qu'on veut, c'est que la régression factorielle tienne bien compte du facteur limitant qu'on a mis en évidence avant. Donc on lui laisse plus de possibilités de tenir compte de ce facteur limitant en tenant compte de tous les témoins.
Chercheur 1 : parce qu'on perd beaucoup de facteurs limitants entre l'étape 2 et 3. Ca pose quand même question sur des facteurs limitants liés à la précocité.

Cadre D-9 : exemple de discussion où le collectif entre dans les détails du modèle

Acteur GEVES 2 : si on regarde les résultats des essais sud, 2005, non traités… sur le graphique milieu de Montpellier, on voit que le nombre de pieds par m² à la sortie hiver ressort comme en zone nord. Pourtant les données semblent OK.
Chercheur 1 : est-ce que ça avait été compté dans l'essai ?
Acteur GEVES 2 : ça a été compté donc quand c'est compté, c'est qu'ils considèrent qu'il y a un problème, que c'est un peu faible. Il y a aussi l'odium qui ressort, on le voit à Pusignan. L'échelle n'est peut être pas très bonne parce que ça n'affecte pas le rendement de façon très forte. Là, l'outil prédit 20% de perte de rendement. Il sort aussi à montaison, à 30%, à Castelnaudary, sur deux témoins. Et la rouille brune ne ressort pas alors qu'il y avait des notes sur 2 lieux . Et pas de septoriose non plus alors qu'il y a pas mal de notations.
Chercheur 1 : est-ce que la septoriose ne ressort pas si on combine les deux années ?
Acteur GEVES 2 : je regarde… Ca ressort sur les lieux 2005 quand on cumule 2004 et 2005. Il les a trouvés. Je vais mettre en dessous l'un de l'autre les graphiques sortis en 2004 et 2005 sur un même lieu…On retrouve les mêmes grands pics.

Cadre D-10 : exemple de discussion autour de graphiques sortis par DIAGVAR

données artificiellement manquantes tout en estimant mieux l'attaque des maladies sur les variétés. Cela a également conduit les acteurs à affirmer qu'ils étaient conscients que noter toutes les variétés en même temps était problématique pour l'évaluation. Chacun a de très bonnes raisons de procéder comme il le fait : les chercheurs respectent le principe du diagnostic agronomique d'associer un facteur limitant à une composante du rendement et donc à une phase de développement, les acteurs agissent en lien avec leur gestion des essais et leurs contraintes expérimentales (tous les actes techniques sont effectués en même temps au champ sans tenir compte des différences variétales ; toutes les notations sont effectuées à une même période pour éviter d'avoir à se rendre sur les essais tous les jours). Ce qui se joue dans la discussion sur ce sujet, c'est que chacun prend conscience des raisons de l'autre et qu'il voit aussi les perspectives qu'elles ouvrent dans sa propre activité : il y a appropriation de nouveaux moyens d'actions.

La constitution de cette communauté hétérogène et la forme d'organisation du travail en collectif rendent possible ce développement horizontal. En effet, elles rendent possible la prise de conscience de sa propre action. Nous interprétons les moments de développement (par exemple ceux où les acteurs font des propositions de réorganisation de leurs essais que nous avions cités dans le chapitre démarche, §II.3.3 et que nous avons reproduits dans le cadre D-8) comme une prise de conscience. Vygotski cité par Clot et al. (2000) dit qu'elle est une généralisation : " *percevoir les choses autrement c'est en même temps acquérir d'autres possibilités d'action par rapport à elles. […] En généralisant un processus propre de mon activité, j'acquiers la possibilité d'un autre rapport avec lui.* "

2.2 Les fonctions du prototype dans la simulation

Nous souhaitons insister ici sur les fonctions remplies par le prototype dans la simulation. En effet, ce n'est pas tant le prototype en tant qu'objet matériel qui supporte la simulation et ce qu'elle produit que l'ensemble de la méthodologie mise en œuvre autour du prototype.

Dans notre méthodologie de simulation, le prototype est d'abord le réceptacle d'hypothèses, celles que les concepteurs font par rapport à l'activité d'évaluation et celles qu'ils ont inscrites dans le modèle et ses formalismes. La manipulation du prototype et la discussion collective des traces rendent apparentes les hypothèses faites par les concepteurs et permettent leur discussion dans le collectif. Nous avons reproduit, dans le cadre D-9 ci-contre, un exemple de moment où les participants rentrent dans les détails du modèle de DIAGVAR.

Le prototype est également un support : ses sorties sont partagées au sein du collectif lors des séances de débriefing grâce à l'utilisation du vidéo-projecteur et sont discutées collectivement.. L'échange ci-contre (cadre D-10) montre le rôle des sorties pour alimenter la discussion entre les participants. Dans ce sens, la façon dont nous avons construit le travail autour des sorties de l'outil représente une production essentielle pour que s'établisse une médiation entre concepteurs et utilisateurs, ce que Béguin (2003) appelle une production intermédiaire de la conception. L'idée d'intermédiaire recouvre deux dimensions : dimension individuelle puisque le simulateur constitue un intermédiaire entre le concepteur et l'objet de son activité de conception et dimension collective puisque le simulateur est objet d'échange entre les concepteurs et les utilisateurs (Béguin, ibid.). La manipulation du prototype et la discussion autour de cette manipulation permettent de fait de rendre visibles les points de vue des acteurs : ceux des concepteurs sont inscrits dans le prototype, ceux des utilisateurs s'expriment par la mise en avant

des sorties du prototype qui leur posent problème. Béguin (2003) parle d'objectivation, qui rend l'activité constructive des utilisateurs visible et la légitime au sein de la communauté dans laquelle se mettent en place les apprentissages mutuels. Dans notre démarche, nous introduisons un principe de symétrie : l'objectivation renvoie aussi bien aux acteurs de l'évaluation qu'aux concepteurs Nous posons que les différents points de vue doivent être rendus visibles, aussi bien ceux des utilisateurs que ceux des concepteurs. Cela implique pour nous que les remises en jeu des différents points de vue sont également légitimes.

Le prototype est aussi au cœur d'un processus que les praticiens du Change Laboratory® appellent le « mirroring », première étape qu'ils identifient dans un processus de développement d'une activité (Engeström, 2005). Ainsi que le dit Virkunnen (2004), "*The necessary encountering of problems and the need for change is realized by using a mirror of everyday practice. This mirror can consist of video excerpts of problematic and critical situations in the activity, case descriptions, client interviews etc. It consists also of data about changes that have taken place in the activity. Presentation of the mirror material prompts the practitioners to question aspects of their present practice and to analyse their systemic and historical causes.*" (Virkunnen, 2004). Notre prototype est conçu pour que sa manipulation sur des jeux de données permette aux acteurs de l'évaluation de percevoir les contradictions entre les différents instruments qu'ils utilisent.

Le prototype est également enjeu de la simulation dans notre processus de conception. Notre phase de simulation est conçue pour remettre en mouvement le prototype grâce à ce que les concepteurs apprennent des tests réalisés par les utilisateurs et à la discussion qui en découle. Lorsque Pastré (2005a; p.18) pose que le simulateur est conçu comme un instrument au sens de Rabardel (1995), c'est-à-dire qu'il est l'objet d'une genèse instrumentale, il nous semble qu'il s'intéresse davantage au processus d'instrumentation de la genèse, c'est-à-dire au développement de l'activité de l'utilisateur. Se situant dans un contexte de simulation pour l'apprentissage et la formation, cet accent se justifie. Mais dans une situation de conception, c'est également l'instrumentalisation qui nous intéresse, c'est-à-dire le développement de l'artefact. Il est vrai qu'il pourrait y avoir débat sur les personnes qui portent l'instrumentalisation. Au regard de ce que nous avons présenté dans le chapitre C et dans la façon dont nous présentons la phase 3, ce sont les agronomes qui ont transformé l'outil et son modèle, et non directement les utilisateurs. Mais ces changements ont eu lieu sur la base des échanges construits durant la phase de simulation. Cette phase a donc permis une instrumentalisation qui porte sur le modèle de DIAGVAR et qui n'aurait pas eu lieu sans l'apport des discussions collectives.

Enfin notre prototype a pour vocation d'être utilisé, à terme, par les acteurs de l'évaluation variétale. Nous donnons au prototype un statut dans l'activité d'évaluation, du moins nous cherchons à lui donner ce statut. Le travail réalisé avec les acteurs doit leur permettre de donner un sens à l'outil et à le construire comme ressource pour leurs actions. C'est une spécificité du processus de conception que d'inscrire le prototype dans cet enjeu. Les supports qui ont la fonction de miroir dans le Change Laboratory® n'ont pas à être constitués de cette façon. De ce fait, il est important de ne pas se contenter de mettre en scène le prototype comme miroir mais bien de le mettre en scène dans l'activité productive des utilisateurs.

Notre prototype est donc à la fois une ressource pour construire la dimension constructive de la simulation et un des enjeux de l'activité de simulation.

III. Les dynamiques dans le processus de conception

Notre objectif dans cette partie est de décrire et de structurer les dynamiques qui se créent au cours du processus de conception : dynamiques de l'objet et des actions d'évaluation, dynamique de notre propre action à travers notre façon de construire des réponses opérationnelles pour répondre aux objectifs cristallisation/plasticité/développement. Nous n'évoquerons pas ici les dynamiques de transformation des activités des chercheurs, faute d'avoir réellement aujourd'hui les moyens d'en faire l'analyse. Cette dernière est cependant en cours au sein d'un groupe de travail (WP1) du projet ANR ADD Discotech[21] auquel nous participons et nous en évoquerons des pistes dans le chapitre E.

1. Dynamique de l'objet de conception et des activités

1.1 Dynamique de l'objet de conception

Les changements intervenus dans DIAGVAR ont été relatés en de nombreux endroits de ce document. Ce paragraphe a donc essentiellement pour vocation de rappeler les principaux changements et de renvoyer le lecteur aux parties qui les relatent plus en détail.

Implémenté sous une forme logicielle au cours de la phase 1, l'outil DIAGVAR a été fortement remis en cause au cours des phases suivantes : son mode d'emploi, son interface, le modèle qui sous-tend l'outil ont été questionnés et leur évolution envisagée.

Nous avons traité dans le chapitre C des problèmes liés à son mode d'emploi et au modèle d'analyse des données qu'il incorpore. Nous avons listé l'ensemble des questions par rapport à ces deux éléments, et les deux questions que nous avons traitées montrent qu'y répondre conduit à des remises en cause importantes sur ces deux plans. Concernant le modèle, nous montrons par exemple dans la partie 3 du chapitre C que la méthode statistique qui permet de faire le diagnostic des facteurs limitants est mise en débat et que le travail engagé pour proposer aux acteurs d'autres méthodes n'est pas trivial et est loin d'être achevé à l'issue de cette thèse. Concernant le mode d'emploi de l'outil, nous proposons, dans la partie 2 du chapitre C, d'utiliser un nouvel indicateur pour évaluer, dans les essais, le statut azoté des variétés. Nous renvoyons à la lecture du chapitre pour le détail de ces points.

Si les problèmes d'interface n'ont pas été réglés, l'ensemble des remarques et suggestions des acteurs ont néanmoins été enregistrées et conservées. Nous ne souhaitions en effet pas nous relancer dans une phase de programmation informatique avant d'avoir modifié le modèle même de DIAGVAR. De plus, les éléments de réponse apportés sur le modèle et le mode d'emploi impactent directement les paramètres de l'interface de l'outil.

[21] DISCOTECH a pour objet de contribuer à un renouvellement des dispositifs (matériels et immatériels) pour la conception de systèmes techniques de production (animale ou végétale). Dans le WP1, il s'agit d'étudier l'interaction entre chercheurs et autres acteurs dans la mise au point de systèmes techniques durables. Les cas retenus pour le WP1 sont autant de situations au sein desquelles se sont construites ou se construisent des relations entre chercheurs, praticiens et autres parties prenantes autour de nouvelles technologies répondant à des enjeux de développement durable. Le WP1 doit permettre d'analyser de façon comparative ces différents cas pour en tirer des enseignements à valeur générique.

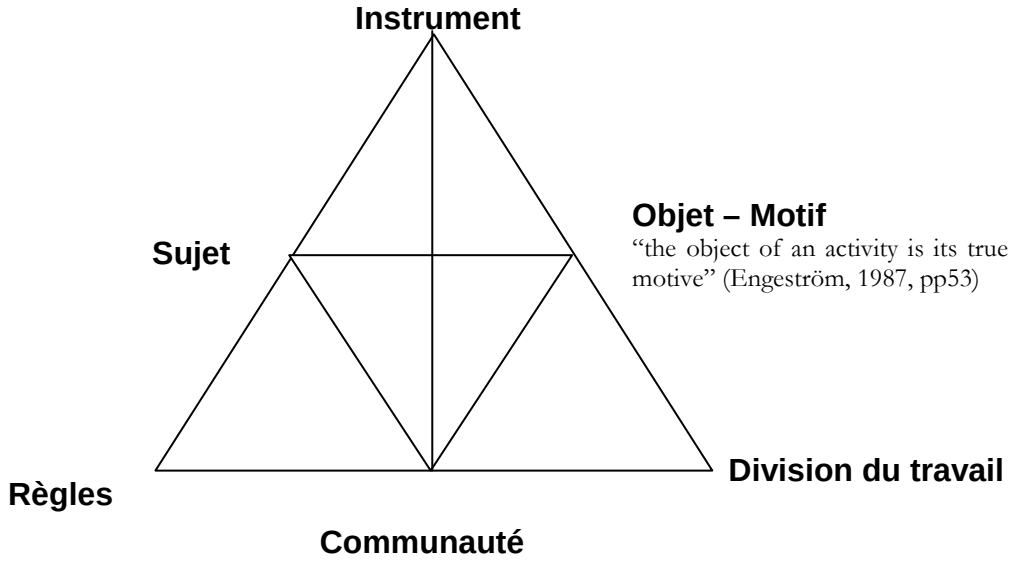


Figure D-9 : rappel des pôles du système d'activité d'Engeström (1987)

Pour ne prendre qu'un exemple, l'idée de pallier des données manquantes en rajoutant des appréciations qualitatives des acteurs nécessite de repenser l'interface pour que les acteurs puissent effectivement compléter les données dans le logiciel. Nous avons évoqué les difficultés liées à la mise au point de l'interface dans le chapitre B, partie III.3.2.

1.2 Dynamique de l'activité d'évaluation variétale

L'analyse de cette dynamique repose essentiellement sur le travail d'enquêtes réalisé dans la phase 4 de notre démarche auprès des acteurs de l'évaluation variétale afin de cerner les changements occasionnés par nos interactions. Les détails méthodologiques de cette phase ont été exposés dans le chapitre B, partie IV.4.1.

Notons, tout d'abord, que les entretiens utilisés dans la phase 1 et le questionnement des chercheurs au cours de la phase 2 ont été autant d'occasion pour les acteurs de s'interroger sur leur propre activité et de prendre une position réflexive par rapport à elle (voir chapitre B). Nous avons par exemple pu repérer des moments où les acteurs se projettent dans une activité un peu différente de celle qu'ils ont classiquement, où les instruments classiques sont repensés, où la division du travail évolue (voir les exemples donnés dans les produits de la phase 2 exposés dans le chapitre B). Il s'agit d'autant d'indices que les acteurs parviennent à prendre de la distance par rapport à leurs actions et à s'interroger sur de possibles transformations de leur activité dans l'avenir. Nous sommes donc revenue en phase 4 sur les changements qui avaient pu être initiés par le processus dans les activités des acteurs par des entretiens auprès des acteurs les plus impliqués dans l'ensemble du processus (voir chapitre B). Si notre analyse de ces entretiens doit se poursuivre, nous en avons d'ores et déjà tiré des éléments indiquant des changements dans l'activité des acteurs. Nous avons expliqué, dans le chapitre B, que nous avons structuré notre analyse en repérant dans le discours des acteurs les éléments montrant des mouvements dans chacun des pôles du système d'activité tel que définit par Engeström (1987, voir figure D-9) : dans les artefacts utilisés dans l'activité, l'objet de l'évaluation, la division du travail, la communauté de travail, les règles de l'activité et le sujet de l'activité. Certains de ces mouvements étaient déjà engagés au moment du travail sur DIAGVAR et ce travail est venu renforcer la volonté de changement ou la direction prise par les acteurs. Dans d'autres cas, c'est plus directement le travail sur DIAGVAR qui a contribué à faire émerger un besoin, un problème, une possibilité d'évolution. Dans tous les cas, le travail autour de l'outil et du modèle inscrit dans l'outil a réussi à rencontrer des interrogations des acteurs à propos de leurs actions et de leur activité.

Nous avons relevé un premier changement dans l'objet de l'activité d'évaluation des acteurs. Plusieurs acteurs ont affirmé que leur expérience avec l'outil avait changé leur façon de voir leur travail. Alors qu'ils se focalisaient sur la performance des variétés dans chaque essai, ce qui leur donnait une vue fragmentée du comportement de leurs variétés, les sorties de l'outil les ont aidés à synthétiser les résultats à l'échelle du réseau dans son entier, d'une façon différente et plus en profondeur. En effet, ils ont développé une meilleure compréhension de l'information qu'un réseau d'expérimentation peut fournir lorsqu'il est considéré dans son entier.

Sélectionneur 1 : Pour ce qui est des réseaux…Peut-être qu'on a mieux perçu, mieux exprimé une vision plus globale mais je pense que c'est le fait d'avoir différents lieux qui donnent des informations complémentaires qui font un tout. C'est quelque chose qui existait déjà dans la tête des gens depuis pas mal de temps. Mais c'est vrai qu'on a sûrement progressé dans la compréhension de ça, la complémentarité entre les lieux, le rôle de chaque lieu. […] Avant, peut-être qu'on voyait chaque lieu comme l'outil de prédiction de l'adaptation régionale et pas comme l'outil d'une caractérisation d'un comportement plus global. Peut-être qu'effectivement là-dessus on a évolué un petit peu.

Acteur Arvalis : La question « le réseau est-il représentatif des situations agricoles ? » n'est pas posée, ou en tout cas, n'est pas assez posée. Je crois que c'est important, tant au niveau des systèmes de culture que des milieux. C'est là où des outils comme DIAGVAR peuvent nous montrer qu'il faut s'interroger là-dessus. Est-ce qu'on couvre bien la gamme de variabilité ? […] **Chercheur 1 :** tu disais tout à l'heure, à propos d'une vision du réseau, qu'on oubliait de se re-poser parfois les questions du réseau, est-ce que le travail avec DIAGVAR t'a renforcé dans cet esprit, est-ce que c'est venu interférer ? Tu pensais ça déjà avant ou ça s'est construit pendant ? **Acteur Arvalis :** Je ne sais pas si c'est DIAGVAR. Je le savais déjà, je pense que je me repose encore plus de questions quand je vois tous ces travaux sur l'IGE qui sont menés par DIAGVAR. C'est davantage tout ce qui est fait autour de DIAGVAR qui me pose la question : […] Peut-être que ce n'est pas forcément ça qui va répondre à tout. […]Oui donc, c'est bien à cause de DIAGVAR. C'est bien le fait de repenser à ça, à la valorisation de l'interaction génotype – milieu que je me repose cette question fondamentale.

ACTEUR GEVES 1 : on a cette frustration de faire toujours une compilation de x essais et de regarder à la fin ce que cela donne en moyenne. Ici, même si on sait qu'*a priori,* on ne pourra pas choisir de manière idéale le réseau « essai par essai », on pourra au moins savoir ce que chaque essai nous apporte. Et cela, c'est bien une vision réseau dans son ensemble, savoir ce que chaque essai nous apporte et ce que le réseau nous apporte en tant que tel. C'est important, c'est vraiment un événement de voir ce que le réseau nous apporte. Ces dernières années, où on a subi des aléas climatiques non négligeables, c'est intéressant de voir ce que le réseau nous apporte. On a l'impression, aussi bien les experts que nous, qu'on est toujours très influencé par tout ce qui se dit et je suis persuadée que l'outil ne nous dirait pas exactement la même chose. Même si on ne change pas la façon de travailler, même si on continue à dire, « une variété pourrait être inscrite, il faut qu'elle ait la moyenne sur le réseau », en tout cas, on saura comment elle a réussi à atteindre cette moyenne. Est-ce qu'elle a atteint cette moyenne uniquement parce qu'elle a été excellente dans des lieux où les autres ont pêché, ou est-ce qu'elle a été systématiquement moyenne partout… […] ? Et là, en ayant conscience des facteurs limitants sur l'ensemble des lieux, on va finir par pouvoir répondre à cela, ce sera quand même une avancée non négligeable.[…] Jusque là, on était toujours dans le changement de protocole. […]. Là, c'est plus dans la synthèse de résultat et dans la conception du réseau en lui-même. C'est un peu différent. Jusque là, dès que l'on avait un problème particulier, on se disait « on va mettre en place une expérimentation pour voir comment réagissent les variétés ». Maintenant on va se dire « comment le réseau qu'on a peut répondre à la question qu'on se pose ? ». […] Aller dans cette démarche-là, c'est aussi choisir des lieux, peut-être plus cohérents par rapport à ça, où on pourrait rajouter des témoins … C'est vraiment un changement qui vient de ce programme-là

ACTEUR GEVES 2 : On voit qu'on a un réseau qui couvre en fait le réseau géographique national mais on n'avait pas trop une vision de ce qu'apporte chaque essai dans le réseau, … en fait la position des essais est liée à l'importance de la production dans le département et à la présence de personnes qui peuvent nous faire les essais dans le département, donc ce sont deux paramètres qu'on contrôle. […], Sinon on a effectivement des essais pour lesquels on n'a pas beaucoup de données, ce qui fait qu'on a une vision du réseau qui est un peu obturée […]on savait que le réseau correspondait à une réalité de production, donc on n'en mettait pas là où ça n'avait pas lieu d'être, et on s'était surtout basé sur ce choix. […] l'image qu'on a moyennement, même encore à ce jour, c'est la répartition des facteurs limitants qu'on trouve un peu dans chaque région, qu'on pourrait déterminer comme récurrents dans une région donnée … ça, c'est quelque chose qu'on saisit un peu mal. Donc on a quand même une meilleure image globale de réseaux … Et c'est vrai, quand on réfléchit à un changement d'essai, on voit un peu ce que pourrait nous apporter l'essai par rapport à ce que l'on a déjà, en plus de l'intérêt par rapport à la production. On a toujours les mêmes contraintes d'implantation, mais quand on nous fait des propositions, on essaie de voir, notamment au travers des régionaux qui connaissent la région, si les terres correspondent déjà à quelque chose qu'on a, même si on n'a jamais exactement les mêmes conditions. On peut avoir deux lieux qui sont distants de 50 km très similaires et deux lieux qui sont distants de 2 km et très différents. Donc on essaie d'avoir cette information pour éviter d'avoir un essai redondant par rapport à ce qui existe. […]Ce que je vois dans l'outil, c'est une possibilité de donner plusieurs images de la variété en restant dans le rôle du Geves qui est d'expérimenter la variété sur l'ensemble du réseau national. Ainsi, au travers des résultats qui nous arrivent, au lieu de donner une image nationale de la variété, on pourrait donner des caractéristiques un peu différentes sur son comportement, par exemple en bas intrants ou son comportement par rapport à la sécheresse, dans le cas où on peut récupérer l'information. Puisque cette information existe dans les réseaux actuels.

Cadre D-11 : changements à propos de la conceptualisation des réseaux

Les acteurs ont commencé à voir leurs réseaux comme des entités uniques (et non comme la somme d'essais) dont ils pouvaient extraire une information pour comparer leurs variétés et les conditions dans lesquelles ces variétés avaient été testées. Ils ont dépassé ainsi une vision du réseau qui consistait d'abord à avoir l'assurance qu'ils avaient testé leurs variétés dans des situations *a priori* diversifiées. Cela les a également conduits à questionner le rôle de leur expertise pour construire ces réseaux et la façon dont cette expertise pouvait être combinée aux résultats produits par l'outil (cadre D-11). En lien toujours, les acteurs ont pu faire évoluer leurs critères d'évaluation, en tenant davantage compte des stress climatiques que l'outil a fait régulièrement ressortir (cadre D-12).

Des changements significatifs ont également émergé dans le pôle des instruments de l'activité. L'introduction d'un nouvel outil dans le système instrumental existant a conduit les utilisateurs à questionner ce système : leurs réseaux, leurs témoins, leurs protocoles de mesures, leurs méthodes d'analyse. Certains acteurs ont rapproché le travail fait sur DIAGVAR au changement de systèmes informatiques de gestion des expérimentations qui avaient pu avoir lieu en même temps dans leurs structures. Des changements de fonds génétique (cadre D-13) ou dans la façon de gérer les témoins (cadre D-14) ont également été évoqués. Quelques acteurs ont enfin rendu systématique la collecte de nouvelles mesures, les données météorologiques notamment, dont l'intérêt avait été démontré par l'outil (cadre D-15). Il ne s'agit pas là d'y voir un rapport de cause à conséquence mais de noter que ces éléments relèvent d'une même logique, de développer une plus grande puissance de calcul pour traiter des résultats des essais.

Des changements ont également émergé au niveau des sujets eux-mêmes (cadre D-16). Parce qu'ils avaient testé différentes combinaisons de milieux dans le prototype et avaient commencé à s'intéresser à la problématique de l'optimisation des réseaux pour améliorer leur capacité à discriminer les variétés, quelques acteurs ont cherché à améliorer leurs compétences en statistique et modélisation. D'autres ont vu leur positionnement dans leur structure un peu modifiée : du fait du temps qui leur avait été ménagé pour travailler à cette problématique et les dégager de leur travail courant, ils ont pris en charge des questions méthodologiques importantes, qu'ils n'avaient pas eu la possibilité de développer auparavant.

Plusieurs acteurs ont enfin évoqué des changements dans leurs relations avec leurs collègues, dans leur communauté de travail ou dans la division du travail. Ils ont cité une communication plus facile entre les différents métiers d'une même entreprise, des relations plus proches avec les personnes effectuant les mêmes métiers mais dans d'autres entreprises (cadre D-17). Deux personnes nous ont expliqué que l'utilisation du logiciel avait fait apparaître des besoins de recrutement, pour prendre en main la gestion de l'information produite par l'outil, ce qui semblait correspondre à un besoin d'une position intermédiaire entre sélection et développement commercial (cadre D-18).

Sélectionneur 2 : le travail nous a fait nous poser cette question et nous dire « Bien oui mais c'est quand même très important ». La météo, on l'a vaguement en tête. On sait que ça a été sec, mais on n'a pas d'information très précise. Donc, si on veut essayer d'expliquer quelque chose derrière, d'expliquer un fonctionnement, d'expliquer pourquoi les tardives sont comme ci, pourquoi les précoces sont comme ça, pourquoi celle-ci ne répond pas comme les autres, … il y a besoin d'avoir un petit peu d'informations. L' information peut-être la moins coûteuse et la moins difficile à aller chercher, c'est celle sur la météo. Ca nous conforte ou ça nous permet de trouver intuitivement des explications plus rationnelles que celles qu'on avait avant.

Sélectionneur 1 : c'est clair qu'on est conscient de ça [l'importance des facteurs climatiques]. Par contre, on n'est pas allé jusqu'au bout de l'étude qui serait soit de récupérer des données météo plus complètes sur les différents sites, soit plus logiquement de faire tourner le modèle, enfin le programme, pour voir ce que ça peut mettre en évidence comme facteurs météo sur les différents lieux. Mais pour moi c'était un des aspects super intéressants du programme : c'est de mettre le doigt sur des choses qu'on ne perçoit pas habituellement.

Sélectionneur 4 L'autre chose concrète qu'on a faite, c'est de mettre en place une petite expérimentation « date de semis », de façon à créer des différences de conditions et de prendre beaucoup de notes sur cette expérimentation, au niveau des stades des plantes, des apparitions de maladies jusqu'au final. […] Pour mettre en face justement les données climatiques et regarder si on voit des différences pour une même lignée entre les trois dates, qu'est ce qui a pu influer : est-ce que c'est la date de semis, est-ce que c'est une interaction à un stade de développement et de climat à un moment donné, … ? Ca, c'est quelque chose qu'on a mis en place en 2006, qu'on a refait en 2007 et qu'on va continuer parce que c'est relativement léger et ça apporte beaucoup d'informations.

ACTEUR GEVES 2 : Pour te citer un exemple concret, la résistance à la sécheresse en forte température, je trouve que par rapport […] aux évolutions climatiques actuelles, c'est un paramètre important que je n'avais pas avant parce que ça n'était pas un paramètre que l'on utilisait. Avoir un outil comme ça à notre disposition et pouvoir donner une information sur ces critères qui vont devenir quand même importants pour les agriculteurs futurs, je pense que pour le Geves, c'est une bonne façon de faire évoluer l'évaluation variétale.

Cadre D-12 : Changements à propos des critères d'évaluation

Sélectionneur 1 : Si on voulait spéculer un peu plus loin, mais le projet en soi n'en est pas responsable mais peut-être y participe-t-il un petit peu. Le fait qu'on se soit rendu compte, ou que moi j'ai perçu l'importance de facteurs climatiques liés en fait aussi aux années climatiques extrêmes qu'on a eues 2003, 2006, font que peut-être on a réfléchi à d'autres sources de germplasm dans le programme pour trouver du matériel plus tolérant éventuellement à ces stress, notamment ces stress thermiques. […] Comment dire, ce n'est pas qu'un facteur qui a pesé dans cette orientation là, c'est clair que le projet et l'outil mettaient bien le doigt sur ces aspects là. Nous avons eu 2 années rapprochées avec des stress thermiques et de l'échaudage de fin de cycle.Ca a permis de bien mettre en évidence le problème. Le fait que l'outil mette bien en évidence ces années là mais aussi des années où le phénomène était moins marqué a fait partie d'un ensemble de facteur qui se sont accumulés pour orienter vers un choix de matériel, une source possible de résistance différente. […] ce n'est pas juste l'outil qui fait ça, c'est la conjonction, du discours récurrent sur le réchauffement climatique, les années climatiques qu'on a eues assez typées et particulières. Et dans le même temps, il y a eu plusieurs séminaires sur le réchauffement, sur l'impact sur l'agriculture, l'impact sur le type de variétés etc. avec des modélisations sur le cycle qu'on pouvait attendre, sur le type de stress qu'on pouvait attendre et à quel moment donc tout ça participe à la réflexion

Cadre D-13 : Changements à propos du fond génétique

Acteur Arvalis : Par exemple dans les choses toutes bêtes, à force de vouloir, nous, faire des économies sur des variétés, parce qu'on met trop de variétés dans les essais, l'an dernier, on s'est retrouvé avec uniquementdeux variétés communes du nord au sud de la France donc on s'est dit qu'on manquait un peu de témoins. Donc nous rejoignons complètement la problématique de DIAGVAR, surtout quand tu penses que j'ai rajouté, entre autres, Orvantis comme témoins dans les variétés que. Pourquoi ? Parce que pour moi c'est un bon témoin révélateur de la verse et des maladies. Pour cette notion de choix des témoins, c'est là que je me dis que ça rejoint cette problématique de choix des témoins.[…] Se dire qu'il faut quand même un minimum de variétés communes si on veut valoriser et faire quelque chose, ça veut dire aussi qu'il faut aussi bien les choisir. […] Ça m'intéresse, c'est vrai. Cette notion de témoins, quand on avait commencé avec Christophe, on s'était bien dit qu'il fallait avoir des variétés a priori de précocités différentes pour dater ce qu'il se passait pour les précoces et les tardives. Et c'est bien des témoins qu'on a mis, mais pas des témoins de communication … Et cette année on a rajouté des témoins aux variétés communes

Cadre D-14: changements à propos des témoins

Sélectionneur 2 : le principal changement que ça a engendré immédiatement, c'est la prise en compte des données météo de la plupart de nos lieux d'expérimentation multi-locaux. Pour la pluviométrie par exemple, pour l'ensoleillement, pour un certain nombre de choses ce n'est quand même pas très précis donc ça a eu pour conséquence, pour moi, de me dire qu'il faut qu'on ait des informations météo précises. Aussi précises que possible. Cela implique d'acheter des informations à Météo France pour une partie de notre réseau multi-local. On a X lieux sur lesquels on a des essais multi-espèces qui sont les lieux les plus importants. Et puis, d'autre part, on s'est intéressé à acheter une station météo. On en a implantée une, cette année, sur un site. On la valide. Si cela fonctionne bien, on en mettra sur nos X lieux de sélection pour avoir une météo un peu plus précise et adaptée.

Sélectionneur 1 : On collecte mieux les données météo au moins sur deux lieux importants, sur les deux lieux sur lesquels on a le plus d'essais. Ici on avait une station météo depuis longtemps. Donc les données météo, nous les avons. Et il y a deuxième lieu sur lequel on a une plate-forme importante, sur lequel maintenant on a une station météo et donc on récupère plus de données météo. Et c'est une stratégie.[…] Plusieurs projets qui se sont combinés et maintenant on a des stations météo un peu plus développées avec l'accès à des paramètres auxquels on n'avait pas accès avant.

Sélectionneur 3 : les relevés climatiques, on a pris l'habitude de les faire parce qu'on était censé les fournir pour les travaux, entre l'INRA et le Club des Cinq. Il y a des choses qu'on a faites parce qu'il fallait le faire, dont on a pris conscience au fur et à mesure que c'était utile
[…] La discussion qu'on a eu sur « on note tout au même moment ». C'est vrai qu'une variété tardive elle peut être à montaison et l'autre début de remplissage et on note tout au même moment pour des raisons pratico pratiques et sans doute que ce n'est pas tellement pertinent. Mais on le savait aussi déjà, on le sait : ce n'est pas bien…On sait que ce n'est pas bien, qu'il faudrait le noter plusieurs fois, noter d'abord les précoces et puis les tardives. On le sait déjà mais on du mal à le réaliser pour des problèmes de temps. On s'est bien rendu compte en en discutant avec vous que, pour vous, c'était un problème parce que c'est des variables qui sont associées à un stade en fait, donc à une date.

Sélectionneur 4 : ça nous a amené au niveau de l'état d'esprit à essayer de regarder un peu plus de paramètres au cours de la saison sur les essais, donc déjà d'aller plus régulièrement voir ce qui se passe dans les essais en cours. On avait un peu tendance à aller voir la levée. Si c'est bien levé, on allait voir en sortie de l'hiver s'il n'y avait pas eu de dégâts de froid. Et puis on attendait l'épiaison. Je caricature un peu. Après on allait plutôt regarder s'il fallait désherber, des choses comme ça mais pas vraiment regarder la plante, où elle en était, son stade… Ca et de faire plus attention et éventuellement de noter au fur et à mesure les aspects climatiques. De plus enregistrer les températures, les pluviométries, les à-coups climatiques qu'il y a pu avoir sur le site pour pouvoir réinterpréter après. C'est quasiment pas de travail en plus mais un état d'esprit un peu différent

ACTEUR GEVES 2 : Ca modifie un peu les données qu'on cherche à recueillir, on essaie d'améliorer les outils qu'on a pour recueillir des données supplémentaires. On fera aussi plus attention quand les expérimentateurs vont nous renvoyer les données agronomiques, qu'ils aient tout rempli, et s'ils ne l'ont pas fait, de leur demander tout de suite. Donc ça, c'est sûr que ça a évolué par rapport à ton travail parce qu'on ne faisait pas attention avant, d'ailleurs on n'utilisait pas l'information directement, donc ça n''étaient pas des paramètres qu'on vérifiait. **Chercheur 1** : mais même si, à terme, l'outil n'est pas utilisé, est-ce que c'est des infos que vous continuerez de demander, vous y avez trouvé un intérêt ? **ACTEUR GEVES 2 :** Si ça ne sert pas à celui-ci, ça servira sûrement à un autre. On les a intégrés dans notre logiciel de recueil et données pour les expérimentateurs, le logiciel Diane.... L'objectif, c'est d'avoir l'information, le maximum d'informations. On se rend bien compte que de toutes façons, pour tout ce qui est caractérisation des milieux, on aura besoin de ce genre d'information plus précise, donc si jamais cet outil-là ne marche pas, on a peut-être un autre qui va sortir plus tard et de toute façon l'information on l'aura du coup. Donc on continuera. […]Sur les données météo, c'est en cours : Pour l'instant, on est en phase méthodo, on achète. Après, si ça a un réel intérêt pour l'ensemble des espèces et qu'on a besoin d'acheter tous les ans, dans ce cas-là, je pense que la réflexion sera menée dans un cadre de routine.

Cadre D-15: Changements à propos des données collectées

ACTEUR GEVES 1 par ce programme, on a essayé de chercher un peu à voir ce qui existait déjà et ensuite on est allé se former un peu. Même si on est encore très loin d'entrevoir toutes les possibilités, et toutes les difficultés, c'est vrai que c'est une façon d'évoluer dans notre travail. Et d'être peut-être un peu moins terre à terre, et de comprendre un peu mieux l'articulation expérimentation, modélisation. De ce côté là, cela nous a quand même apporté énormément. En formation modélisation à la Rochelle, j'ai été marquée par une discussion avec quelqu'un qui était venu présenter un modèle et qui nous a dit, à table : «on a eu beaucoup de chance, parce qu'en agronomie, on a pu éviter ces méthodes-là –de modélisation- pendant très longtemps, parce qu'on pouvait expérimenter. Mais quand on réfléchit, par exemple par rapport aux astronomes, cela fait déjà 3 siècles qu'ils travaillent sur des modèles parce qu'ils ne pouvaient pas faire autrement » Et c'est vrai maintenant, on est peut-être arrivé aux limites de l'expérimentation seule, et ces méthodes là vont nous aider à y arriver. Pour nous, cela a été une chance de pouvoir participer à ce programme pour essayer d'avancer un peu sur ces connaissances. […]Ce qui m'a le plus déstabilisé, mais qui me permet le plus d'avancer, c'est de me dire qu'il faut arrêter de croire qu'en expérimentant tout azimut, on va avancer. Maintenant il faut vraiment être capable d'orienter l'expérimentation et l'orientation de l'expérimentation, elle ne pourra se faire qu'avec des outils comme DIAGVAR […] L'expérience dans l'expérimentation, ce n'est pas si évident que ça à envisager.
ACTEUR GEVES 1 c'est la première fois qu'on accepte de nous dégager du temps pour… Chaque fois que j'ai répondu à des appels d'offres. […] c'est à la marge de tout ce que je fais déjà. Si le projet colle complètement avec notre activité, ça va bien parce que ça ne nous prend pas trop de temps. Mais, dès que c'est un peu en décalage par rapport à nos activités, c'est quand même un problème. Et là, pour la première fois notre direction a dit « vous pouvez avoir du temps pour travailler là-dessus ». C'est quand même assez nouveau.

ACTEUR GEVES 2 C'était pour moi vraiment une des premières fois où j'étais vraiment sur un travail de recherche en collaboration sans juste être spectateur… […] c'était mon premier pas dans ce type d'action, un peu plus scientifique…. par rapport à ce qu'on pouvait en tirer et par rapport à mes fonctions directes, […] c'était vraiment en lien direct avec quelque chose que je pouvais apporter aux experts du CTPS en propositions d'évolution des réseaux d'essais et au GEVES également dans l'aspect diminution des coûts par exemple. Pouvoir leur apporter mes réflexions via l'outil sur cet aspect-là. Mais c'est sûr que c'était un outil… un des projets qui m'a fait sortir un peu de la routine, enfin […] des activités principales que j'exerce... J'ai déjà participé à d'autres choses, mais au niveau vraiment actions méthodologiques c'était vraiment une des premières implications en temps passé sur le sujet. Du coup un enjeu personnel dans le sens … d'évolution des fonctions …un peu plus personnel…mais c'est aussi ce que je recherchais. […] L'objectif c'est de continuer le programme, […] c'est d'avoir dans mon quotidien des activités plus méthodologiques, donc effectivement c'était quelque chose que j'avais demandé et ça a été un peu un tournant dans mes fonctions. C'est aussi parce que la volonté de la direction du GEVES est que je m'investisse dans ces thématiques. […] A terme, l'objectif est que je perdure dans ces fonctions et si tout se déroule comme ça, mes fonctions évolueront dans le sens où j'aurais moins d'expérimentation […] et que ce temps libéré soit remplacé par de l'activité méthodologique, pour le front deux ou autre chose … ça a été une marche pour entrer dans ce type d'action […] c'est quelque part une reconnaissance mais en fait je ne veux pas le traduire comme ça…En fait maintenant, ils ont associé mon nom à une activité de méthodologie

Cadre D-16 : changements au niveau du sujet

Sélectionneur 1 : C'est clair qu'on a eu l'occasion de rencontrer peut-être un peu plus nos collègues du Club des Cinq pour cette affaire, et ça, c'est toujours favorable. Que ce soit nos collègues du Club des Cinq ou les gens de l'INRA […] Ca c'est un des aspects positifs de ce genre de projet, c'est de croiser des connaissances, de croiser des visions de choses, de créer éventuellement du lien personnel. C'est toujours favorable. Et puis aussi l'échange, notamment quand on a vu les utilisations de l'outil, ce genre de choses, on a eu un peu des échanges aussi sur les réseaux des uns des autres, on a vu comment chacun percevait les essais

Acteur Arvalis : Par rapport à l'INRA, je pense que c'est beaucoup plus et que ça donne, c'est un partenariat que je souhaiterais pouvoir développer, qu'on formalise etc. Je trouve que c'est intéressant. Je me dis qu'il y a un investissement important et autant faire qu'il soit le plus, à mon avis, le plus efficace en mettant moi ma petite expertise agronomique, d'avoir travaillé sur des réseaux depuis longtemps parce que je pense que c'est ce qu'il vous manque un petit peu.

Sélectionneur 3 : ce qui était intéressant dans la démarche c'est le fait qu'elle ait impliqué pas seulement les sélectionneurs mais aussi les gens qui s'occupent des développements dans les sociétés. C'est bien parce qu'on est quelquefois cloisonné à l'intérieur d'une même société. Ca a permis de discuter de la problématique entre nous et d'ailleurs de s'apercevoir que finalement l'outil était peut-être plus adapté à du pré dépôt et peut-être du pré commercial, qu'à de la sélection proprement dite, […] C'est le fait qu'on ait eu des réunions communes avec notre développeur. On a l'habitude de travailler ensemble, ce n'est pas le problème, mais se poser les questions, prendre un peu de recul par rapport à nos métiers respectifs, c'est intéressant. […] Quand on travaille ensemble, c'est pour parler de telle ou telle variété, comment on peut la caractériser etc. Là, cette approche réseau, je crois que ça a beaucoup intéressé notre développeur. On ne fait pas exactement le même métier : nous, on a un certain nombre de lieux, nous, sélectionneurs, pas un grand nombre de lieux, toujours un peu les mêmes, qu'on connaît bien et on fait notre petite interprétation, qui est perfectible. Tandis que lui, il est confronté à un très grand nombre de résultats d'essais, avec certains qui sont très bien documentés du point de vue conditions de réalisation d'essais, d'autres très mal renseignés et on lui demande le 15 août de dire « Bon alors c'est quoi la variété ? Quels sont les résultats des variétés ? ». Il a donc vraiment un problème… […] Je pense que ça l'a pas mal aidé à réfléchir sur la confiance que l'on peut accorder aux différents résultats, comment est-ce qu'on peut interpréter des résultats aussi différents d'une zone à l'autre, … C'est le problème qui se posait mais là vous lui avez apporté pas mal d'éléments pour réfléchir de manière plus approfondie.[…] Je crois que ça nous a aidé chacun à comprendre mieux le travail de l'autre. Même quand vous étiez venue à la première réunion, on a chacun eu à expliquer le travail qu'on faisait, […]. Ca aussi, c'est toujours enrichissant. Parce qu'on voit qu'on n'a pas exactement les mêmes façons de voir.
[…] Ce dont on parlait, c'est que sélectionneurs et développeurs ont été associés sur cette thématique là. J'en parlais à l'intérieur de l'entreprise mais c'est aussi au niveau du Club des Cinq c'est-à-dire que dans les réunions, il n'y avait pas seulement les sélectionneurs, il y avait aussi les développeurs. **Chercheur 1** : ce sont des gens que vous ne voyiez pas trop d'habitude ? **Sélectionneur 3** : C'est un petit peu compartimenté, oui.

Sélectionneur 4 : La réflexion globale que ça a amenée a fait qu'on collabore [sélection et développement] sur cet essai de caractérisation de notre matériel et par ce biais là, je ne dirai pas qu'on a plus d'échanges entre le développement et moi parce qu'on en avait déjà beaucoup mais des échanges sur des points plus pointus. Parce que lui n'avait pas d'éléments pour répondre aux questions et que maintenant, on en a. Du coup, (justement on en a parlé hier), ça ouvre plein de questions. …Je dirai aussi le projet nous a un peu rapprochés de l'équipe Grignon.

Cadre D-17 : changements à propos des relations entre acteurs

Sélectionneur 2 : Je suis en train de me poser la question de ce qu'est le développement. […] Le développement, aujourd'hui, chez nous en tous cas, c'est un développement commercial. […] Mais ce ne sont pas des gens du développement technique. Les sélectionneurs, eux, à l'inverse, sont des gens qui font de la sélection, qui vont jusqu'à la création variétale, jusqu'au dépôt CTPS, mais ils ne font pas non plus du développement technique parce que la variété, une fois qu'elle entre dans le CTPS, elle n'est plus dans leurs mains. […] Il me semble y avoir un maillon manquant entre le développement commercial et puis la sélection qui serait un maillon de développement technique. Ce développement technique c'est un petit peu là où vous vous situez, vous. C'est-à-dire qu'une fois que la variété a été créée, qu'elle est dans un pré-dépôt, ou en cours d'inscription, on va essayer de la décrire correctement pour que derrière les gens du commerce puissent la vendre plus intelligemment en ayant plus d'informations et en lui associant, éventuellement, un itinéraire technique adapté. Ce chaînon manquant, je me dis qu'il faut qu'on fasse quelque chose pour qu'il y ait quelqu'un qui se mette là-dessus. […] Il nous aurait manqué quelqu'un entre eux deux qui soit vraiment responsable de ça, qui soit vraiment responsable du suivi du développement technique. Je sais qu'on a une faiblesse à ce niveau là. Je ne sais pas si c'est ce travail là qui m'a mis la puce à l'oreille, mais peut-être un peu, quelque part. Ca a révélé qu'on avait probablement dans nos équipes un trou au moment du CTPS parce que quand les variétés sont dans le CTPS, personne ne s'en occupe.

Sélectionneur 4 : justement, on veut pouvoir aller regarder plus en détails pour caractériser les variétés, leur positionnement régional etc. Donc, on compense par le recrutement, ça fait deux ans qu'on le fait, le recrutement d'une personne en CDD pour les mois d'avril à octobre pour justement épauler notre développeur dans le suivi des essais et la synthèse des données. Mais, à terme, on espère que ça se convertira en un poste supplémentaire.

Cadre D-18: changements à propos de nouveau métiers

En conclusion, nous avions l'ambition, au début de ce travail, de créer des opportunités pour qu'apparaissent des processus d'instrumentalisation et d'instrumentation de DIAGVAR. **Nous avions anticipé l'apparition de changements dans la dimension instrumentale de l'activité : des changements dans les protocoles de recueil de données, dans les façons d'analyser les données, dans la façon de considérer les réseaux expérimentaux. Mais au travers de ces changements, nous avons constaté l'initiation de changements dans les différents pôles qui caractérisent un système d'activité.** Nous proposons d'y voir la différence qui existe entre utilisation (qui renvoie strictement à l'emploi de l'outil dans sa maniabilité et son contenu informationnel et conceptuel) et usage (qui renvoie alors à tout l'environnement dans lequel se construit l'utilisation de l'outil). Ce faisant, nous apportons des éléments qui illustrent que le processus de conception, tel que nous l'avons construit, peut initier des transformations importantes du travail en mettant en mouvement les relations qui existent dans le système d'activité. Ainsi, l'introduction d'un nouvel outil peut demander potentiellement des efforts considérables d'ajustement aux acteurs, ce qui est trop souvent sous-évalué par les chercheurs qui sont engagés dans la conception d'outils opérationnels à base de modèles agronomiques.

2. Dynamique dans nos réponses aux objectifs C/P/D

Dans cette partie, nous présentons notre analyse de la façon dont, en tant que concepteur, nous avons changé de position sur ce qui doit être cristallisé, ce qui doit être plastique et ce qui se développe.

Dans la phase 1 (construction d'un modèle de l'activité) nous avons cristallisé l'activité d'évaluation comme une activité contrainte et cadrée par la temporalité du cycle du blé et des décisions à prendre, très instrumentée, fondée sur des outils (réseau d'expérimentation, protocole de mesures et d'observations, méthodes d'analyse et visites d'essais) ouverts et peu spécifiés dans leurs caractéristiques, laissant une large part à l'expertise constituée par des échanges, des discussions, des observations (voir la partie I.1 de ce chapitre). Nous avons cristallisé dans le prototype ce que nous pouvons caractériser rapidement comme une activité experte et rationnelle. Mais l'expertise dont disposent les acteurs, ainsi que nous l'avions repéré dans notre analyse de l'activité, est surtout construite à l'échelle d'un essai ou *via* la comparaison d'essais « en duel ». Or le prototype produit une connaissance à l'échelle du réseau pris dans son ensemble. La simulation permet de révéler que les acteurs ne sont pas experts pour produire ce type de connaissances. En revanche, elle est l'occasion pour les acteurs de proposer d'utiliser leur connaissances des lieux d'essais pour combler des manques dans les données des expérimentateurs qui handicapent l'outil (« *pour ce facteur là, si on n'a pas d'informations des expérimentateurs, c'est qu'il n'a pas joué parce qu'ils le repèrent sinon et nous le font remonter. Donc on n'a qu'à le remplir par défaut* », « *Pour l'INN, normalement on doit savoir si on a mis de l'azote de façon à ce qu'il ne soit pas limitant. C'est faisable de mettre un 1 par défaut dans les cas où on a mis beaucoup d'azote. Mais il y a des cas où on ne saura pas dire* »), pour valider les facteurs limitants désignés par l'outil (« *la septoriose, ça correspond bien à ce qu'on a vu dans les essais* », « *on avait regardé si la verse ressortait sur Prémesques en 2004 et ce n'est jamais ressorti* »), pour faire le choix des facteurs limitants à introduire dans l'étape de caractérisation des variétés (« *pourquoi on ne pourrait pas reprendre la main entre les étapes 2 et 3 et forcer*

les facteurs qui ne sont pas sortis du diagnostic ? »). En fait, à la plupart des questions retenues par les agronomes (chapitre C), les acteurs ont proposé des solutions utilisant les connaissances acquises lors des visites d'essais et leur expérience. Leur façon de tester l'outil était également très en lien avec cette expérience vécue : ils ont choisi d'intégrer des milieux qu'ils connaissaient, qu'ils avaient visités, dans les combinaisons de milieux qu'ils ont testées. Ils ont ainsi compensé leur difficulté à travailler à l'échelle du réseau en utilisant leur expérience vécue des essais. L'image donnée lors de cette phase est celle d'une activité qui se reconstruit constamment et qui mobilise tous les éléments de l'expérience des acteurs et moins celle d'une activité experte et rationnelle. Ici, l'expérience visuelle et la mémoire des observables priment sur la construction d'une représentation opérative à l'échelle du réseau, qui traduirait une expertise comparable aux connaissances que produit l'outil. C'est cette différence entre expertise et expérience que nous avons identifiée au cours du processus. Nous avons retenu en phase 3 l'idée de permettre aux acteurs d'intégrer leur expérience vécue des situations dans le prototype : en faisant une plus grande part aux connaissances des acteurs, à leurs observations, à leur vécu, en s'intéressant à la possibilité d'introduire des données qualitatives dans l'outil en plus des données chiffrées, en cherchant à redonner systématiquement la main aux acteurs entre chaque étape de l'outil pour leur permettre de faire des choix, de corriger certains résultats, de les enrichir. Il nous semble que ce sera un moteur, un point d'appui pour que les acteurs fassent de DIAGVAR l'outil qui les aidera à construire leur activité d'évaluation à l'échelle du réseau.

Notre position sur ce qui doit être plastique dans l'outil a également évolué au cours du processus de travail. Nous avions cherché, à l'issue de la phase 1 (voir chapitre B), à inscrire dans le prototype une flexibilité dans l'usage des analyses produites par l'outil. Il s'agissait en particulier de proposer des sorties adaptées à la diversité des objets de l'évaluation, ce que nous avons fait en séparant des étapes dans l'outil et en proposant des sorties graphiques et numériques différenciées et conservées pour chacune des étapes. Mais, à la suite des questions des utilisateurs au cours de la phase 2 et des réflexions des agronomes au cours de la phase 3, nous avons retenu une autre source de plasticité touchant au modèle de DIAGVAR et non uniquement à son interface. De fait il est apparu que DIAGVAR réalisait des diagnostics de facteurs limitants très sensibles à de petites variations des données d'entrée (variation dans les données elles-mêmes ou variation à cause du rajout ou du retrait d'un milieu de la combinaison) (voir chapitres B et C). L'exploration du comportement de la méthode statistique du diagnostic et le test d'autres méthodes doit permettre à terme de proposer éventuellement une gamme de méthodes en regard de la diversité des combinaisons de milieux qui peuvent être testées dans DIAGVAR : d'une plasticité sur les sorties, notre position a évolué pour envisager une plasticité de méthodes. Dit autrement, nous sommes passée d'une plasticité des fonctionnalités à une plasticité des processus d'interprétation, dans le modèle même qui sous-tend l'outil DIAGVAR, et ce pour s'adapter à la diversité des gammes de facteurs limitants telle qu'elle ressort de la manipulation de l'outil sur des jeux de données variés.

D'autre part, le fait d'avoir évolué dans ce que nous cristallisions de l'activité d'évaluation nous pousse également à d'autres formes de plasticité. Nous avons dit juste au-dessus que nous souhaitions permettre aux acteurs d'intégrer leur expérience vécue des situations dans le prototype (en s'intéressant à la possibilité d'introduire des données qualitatives dans l'outil

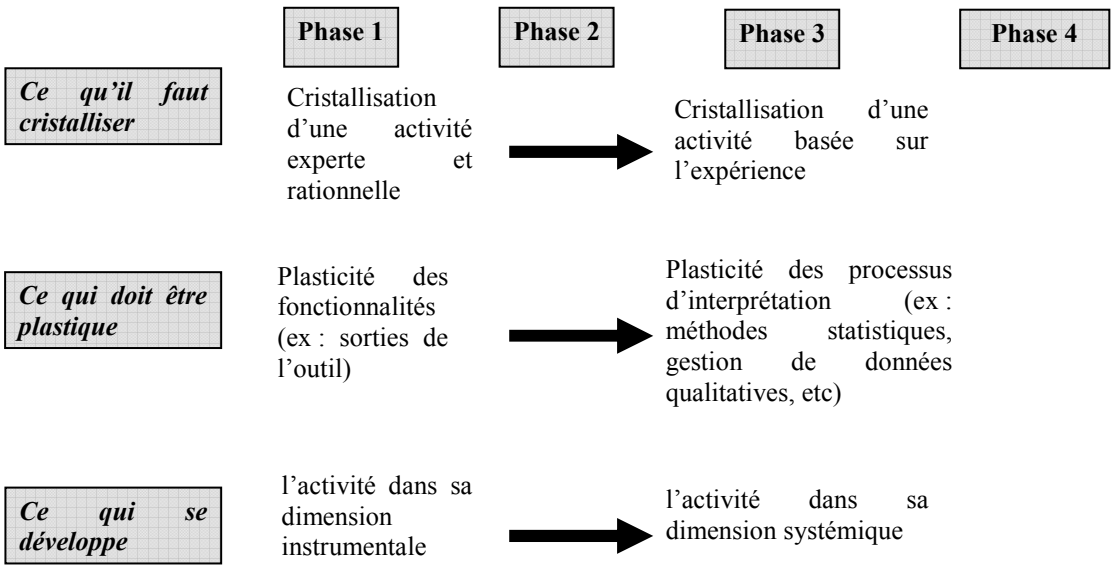


Figure D-10 : dynamique d'évolution dans les trois objectifs de la conception

en plus des données chiffrées, en cherchant à redonner systématiquement la main aux acteurs entre chaque étape de l'outil pour leur permettre de faire des choix, de corriger certains résultats, de les enrichir). Or introduire des données qualitatives dans un outil utilisant des méthodes statistiques basées sur des données quantitatives est une tâche complexe, nous l'avons identifiée comme telle dans la liste des questions agronomiques soulevées par le processus (voir chapitre C, partie I.2.3). Cela nous renvoie ici à une plasticité des formats d'entrée et des processus d'interprétation.

Enfin, notre position sur le développement a également évolué. Dans la phase 1, nous avions identifié deux contradictions essentiellement situées au niveau des instruments comme le réseau et les protocoles de recueil et d'analyse des données (voir partie I.1 de ce chapitre). De même, en proposant de réfléchir à l'activité des agronomes, en nous intéressant à leurs méthodes de conception, nous nous sommes focalisées sur la dimension instrumentale de l'activité de conception des agronomes. Or, après les phases 2 et 3 du processus, nous pouvons voir un développement de ces activités dans d'autres dimensions. Nous avons vu dans ce chapitre que les acteurs de l'évaluation avaient été amenés à questionner leurs pratiques expérimentales, leurs collaborations mais aussi leur propre vision de ce qu'est l'évaluation variétale : ses objectifs et ses critères. De même, les agronomes, en repensant leur façon de concevoir des outils, ont été amenés à revoir d'autres dimensions de leur activité comme leur rapport à l'analyse de la variabilité dans un jeu de données en absence de référent observable permettant de valider l'analyse faite. Alors que notre vue du développement se centrait sur l'activité dans sa dimension instrumentale, les transformations identifiées tant chez les acteurs que chez les agronomes nous conduisent à mettre en avant une vision plus systémique du développement de l'activité.

Nous récapitulons dans la figure D-10 les évolutions de notre façon de concevoir C/P/D dans les différentes phases de notre démarche.

En conclusion, nous avons vu que, tant pour la construction d'un modèle de l'activité d'évaluation (phase 1) que pour la simulation (phase 2), nous avons de fait combiné les trois objectifs cristallisation, plasticité et développement. Notre modélisation de l'activité d'évaluation nous a permis de définir des invariants, des éléments de diversité et des facteurs de développement qui ont été utilisés pour construire un prototype. Ce prototype a été remis en « jeu » dans l'étape de simulation et, à travers lui, le modèle de l'activité a été remis en mouvement. **Ce sont donc des boucles successives qui se mettent en place au cours du processus et qui amènent à repenser, après la phase de simulation et la phase de retour sur l'outil par les agronomes, ce qui peut être cristallisé dans le prototype, ce qui doit être plastique, et ce qu'il est possible de créer comme développement dans le fil d'un tel processus.**

IV. Discussion : analyse de la production ingénierique

Nous souhaitons poursuivre dans cette partie la discussion entamée dans la partie IV du chapitre C sur la production de connaissances au cours d'un projet de production d'outil, projet de nature ingénierique. Dans cette discussion, nous avons proposé d'observer comment trois champs interagissent dans un tel projet : le champ du concept (C), le champ des connaissances (K) et le champ des situations singulières d'action (A). Nous nous sommes notamment intéressée à la façon dont les situations d'action contribuent à remettre en mouvement les connaissances qui sont mobilisées dans le projet. Nous proposons donc de situer les connaissances que nous avons produites dans la discipline ergonomique sur l'activité, sur la simulation et sur la conception, à travers une analyse qui relie concept/connaissances/situation de mise en action.

Nous sommes consciente qu'il pourra paraître audacieux de prétendre à cet exercice dans la discipline ergonomique. Néanmoins, nous avons pris le parti dans cette thèse d'essayer de conserver un équilibre entre les disciplines scientifiques en ne faisant pas de l'ergonomie une boîte à outils pour agronomes mais en essayant d'inscrire notre production dans les débats de la discipline. C'est pourquoi nous avons souhaité défendre dans cette partie ce que nous pensons avoir apporté, que ce soit en ayant conforté des connaissances existantes ou en ayant produit des choses originales.

1. Notre situation singulière d'action.

Dans quelle situation d'action nous trouvions-nous, du point de vue de l'ergonome ? Nous étions en situation de conception d'un outil, ce qui constitue une situation particulière de travail pour les ergonomes. En choisissant de mêler les objectifs de cristallisation /plasticité /développement, nous nous plaçons même dans la situation d'un ergonome participant à la conception et non uniquement dans celle d'un ergonome du travail de conception. On retrouve ici la nuance rappelée par Béguin et Cerf (2004) entre analyse de l'activité pour la conception et analyse de l'activité dans la conception.

Plus précisément, nous étions aux prises avec une situation de conception marquée par une volonté de favoriser des processus de développement. Le parti de s'intéresser au développement n'est pas nécessairement celui qui est pris par les ergonomes participant à un processus de conception. L'ergonome engagé dans la conception d'un outil destiné à s'inscrire dans l'activité d'opérateurs peut ne s'intéresser qu'à la cristallisation ou à la plasticité. Et inversement, il est possible de se placer dans une optique de développement sans travailler sur des problématiques de conception. C'est le cas à notre sens des travaux d'Engeström qui s'intéresse au changement organisationnel ou de Clot qui s'intéresse au développement dans le cadre du métier. Notre situation est donc hybride entre ces deux situations d'action : nous nous situons dans une situation de conception orientée vers le développement conjoint de l'outil et des activités.

Notre situation d'action est également marquée par le fait que nous nous intéressions à une activité bien spécifique, celle de l'évaluation des variétés. Nous avons insisté sur les spécificités de cette activité, construite sur un temps long, par de multiples acteurs, plutôt à regarder sous l'angle des processus cognitifs que des habilités manuelles.

Aspects shared by the different communities initiated or nourished by Soviet psychology :

(1) Activity is finalized. Activity is object-oriented in order to attain one or more goals, which are not always evident, and which the analyst may have trouble identifying. The activity-oriented approach thus distinguishes itself from approaches in which behaviour is described as a reaction to events that arise. It also distinguishes itself from interface-oriented approaches, where there is no distinction between the object of the activity and the use of technical devices.
(2) The relation between the subject and the object is mediated by technical devices, psychological schemes and organization (particularly by systems of rules that exist and develop in the context of activity). These activity mediators are socially and culturally constructed as well as historically situated.
(3) Activity is always unique. It is specific to given subjects in a given context. Activity-oriented approaches attach great importance:
- to inter-individual diversity and intra-individual variability: the same task carried out by people with different characteristics will not generate the same activity; and
.- to industrial or contextual variability: activity cannot be understood only in terms of normal tasks prescribed by management or by designers. Activity is a specific construction, in response to a specific context. Activity-oriented approaches lay emphasis on the understanding of disturbances and unforeseen tasks and to the analysis of user or operator responses.
(4) Activity bears traces of its past. Activity constructed by the subject in a given context is affected by the subject's life experience and is, thus, constantly revised and reinvested. Activity theories are developmental. They attach great importance to subjects' evolution over long periods (development of resources, ageing, etc.).
(5) Activity is not only a relationship between a subject and an object. It is also a relation with other subjects, who may be physically present or present via instruments and tools, sign systems (Bedny and Karwowski 2004b) and rules and procedures that mediate activity. It is also a subject's relationship with him/herself.
(6) The analyst's approach to activity is intrinsic: he/she seeks to understand 'from within' how the subject constructs his/her activity to attain the object given the resources and constraints at his/her disposal. The activity approach cannot be based purely on the observation of behaviour. In general, it
requires an interaction between the analyst and the subject. Analysis of activity is, thus, most often a joint production.
(7) Activity is integrational. It is constructed at the crossroads of the subject's motives and goals (Lomov's motive-goal vector, Lomov 1975) and several determinants, which may be clearly connected to the workstation layout or apparently unrelated (the subject's history, the company's sales policy).
Understanding activity generates knowledge about:
- the physiological and psychological mechanisms at work;
- how the operator is solicited and the costs that may ensue;
- the more or less tacit competences activated; and
- forms of interaction in collectives.

Cadre D-19 : extrait de Daniellou et Rabardel (2005) sur les points partagés entre les différentes communautés des théories de l'activité

Ce sont donc ces deux éléments (notre situation de conception, l'activité d'évaluation) qui constituent à nos yeux la situation singulière d'action pouvant avoir des effets sur l'espace des connaissances et des concepts et pouvant évoluer du fait des transformations dans ces deux espaces.

2. Connaissances mises en mouvement sur l'activité

A travers la recherche d'un modèle de l'activité dans la phase 1 et sa remise en cause dans la phase de simulation, nous avons proposé une façon de structurer l'analyse de l'activité qui soit pertinente pour une situation de conception avec des enjeux de développement.

D'un point de vue conceptuel, l'activité est un concept théorique utilisé diversement par différents courants théoriques et professionnels. En retraçant l'histoire culturelle de ce concept, Schwartz (2007) a montré qu'il revêtait de nombreuses significations et parle de l'activité comme d'un « concept flou, fonctionnant plus ou moins à l'aveugle ». Dans les champs qui nous intéressent, l'ergonomie de l'activité (l'ergonomie française à laquelle nous nous rattachons) et le champ investi par les chercheurs du CATDWR que nous utilisons également dans nos recherches, ce flou est bien présent. Si ces deux communautés, qu'on peut rassembler dans le champ des théories de l'activité, partagent des racines communes dans les travaux de Vygotski ou de Leontiev, elles les prolongent différemment et le concept d'activité reste l'objet de débats. Bedny et Karkowski (2004) par exemple refusent certains choix d'analyse faits par d'autres quand ils écrivent : "*Practitioners confront a number of difficulties in the translation and interpretation of different concepts and principles of activity theory (NDLR : cultural and historical activity theory). Objects of study get confused with units of analyses or objectives. Actions get confused with tasks. Body organs get confused with tools etc.*", "*We also respectfully disagree with some authors' interpretation of the concept of activity and action. For example, Kuutti defines 'building a house' as an activity and defines 'fixing the roofing' as an action. However, both examples are more properly construed as a part of production process, divided into task sequences in which each task constitutes an activity. Tasks may in turn be divided into actions, which can further be decomposed into psychological operations or into psychological acts etc*".

Daniellou et Rabardel (2005) ont listé ce qui rapproche le concept d'activité dans les deux communautés citées. Ils identifient sept caractéristiques de l'activité (voir plus de détails dans le cadre D-19) : l'activité est (1) finalisée, orientée vers un objet à atteindre ; (2) médiée par des artefacts ou des schèmes historiquement, socialement et culturellement constitués ; (3) spécifique à un sujet dans un contexte particulier ; (4) en évolution ; (5) insérée dans des interactions sociales ; (6) une production conjointe entre la personne qui analyse et le sujet ; (7) intégratrice au sens où elle se constitue autour d'une somme de déterminants qui peuvent pourtant sembler indépendants (l'histoire du sujet, ses objectifs, les objectifs de la structure qui l'emploie, la politique de l'entreprise…). Nous pouvons considérer que ces caractéristiques constituent un champ de connaissances sur l'activité à laquelle nous nous sommes référée, qui serait à l'intersection de deux champs partiellement différents, celui contenant les hypothèses de la communauté du CATDWR et celui contenant les hypothèses des ergonomes français de l'activité.

Comment avons-nous mis à l'épreuve ce champ de connaissances sur l'activité ? Engagée dans une situation singulière de conception, nous avons dû modéliser l'activité, celle d'évaluation,

également singulière, en fonction de notre souci de développer conjointement l'outil et les activités. Ce faisant, nous n'avons ni mobilisé totalement la modélisation systémique de l'activité, proposée par les chercheurs du CATDWR, ni travaillé comme les ergonomes français de l'activité intéressés par la conception de situations de travail qui s'appuient sur la caractérisation de situations de référence et de situations d'actions caractéristiques. Nous suggérons que notre position hybride entre les deux acceptions du concept d'activité et notre souhait de concevoir un outil opérationnel nous conduisent à proposer une autre modélisation opérative de l'activité, basée sur le repérage de ses invariants, de sa diversité et des contradictions qui apparaissent dans sa dimension instrumentale. Ces trois éléments ont été mis en évidence en étudiant la construction socio-historique des actions de plusieurs acteurs de l'évaluation variétale puis remis en mouvement par un processus de simulation. En analysant l'activité de cette façon, nous avons permis aux concepteurs d'intégrer différents objectifs au cours du processus de conception : cristalliser un modèle de l'activité et inscrire une plasticité dans l'outil, construire le processus de conception comme une opportunité de développement. Les spécificités de l'activité d'évaluation nous ont également conduite à considérer l'activité dans sa dimension collective, constituée d'actions individuelles qui sont celles que l'on peut capter par l'analyse, l'observation, les enquêtes. Notre proposition d'analyse de l'activité ne remet pas en cause les fondements théoriques sur lesquels se sont développés les champs de connaissances de l'activité que nous avons mobilisés. Elle consiste à mobiliser les connaissances existantes et à proposer une vision opérative des connaissances existantes par rapport à notre situation de conception. Cette vision pourra peut-être servir dans d'autres situations car elle enrichit les modèles d'activité utilisés par les ergonomes, et en particulier les ergonomes engagés dans la conception d'outils cognitifs.

Si nous nous replaçons par rapport aux mouvements dans les champs de connaissance dont nous avons discuté dans la discussion du chapitre agronomie, nous sommes alors dans un exemple de connaissance spécifiée en regard de la situation d'action.

3. Connaissances mises en mouvement sur la simulation

A travers le travail effectué dans la phase 2 de la démarche, nous avons produit des connaissances d'ordre méthodologique sur la simulation ergonomique. Nous pouvons considérer que la simulation intervient dans ce travail comme un outil de l'ergonome, au même titre que les statistiques étaient identifiées dans le chapitre précédent comme outil de l'agronome. Les deux sont donc des outils possibles et disponibles, sans être néanmoins indispensables en toutes circonstances.

Daniellou (2007) évoque trois utilisations principales de la simulation ergonomique : i) l'anticipation, en phase de conception, de certaines caractéristiques de l'activité future des usagers, afin de diagnostiquer des problèmes éventuels ; ii) l'analyse des processus cognitifs dans des situations qu'il est difficile de provoquer ou d'observer dans la réalité ; iii) la formation des travailleurs. Il insiste sur le fait que le terme « simulation ergonomique » revêt des significations variées, en citant par exemple des simulations où les utilisateurs ne sont pas présents et sont représentés par des mannequins, des programmes informatiques, etc. Les techniques de simulation sont également variées : plans, maquettes, prototypes, logiciel (Maline, 1994), réalité virtuelle (Daniellou, 2007), etc.

Nous placer dans une situation qui vise à favoriser des processus de développement nous pousse à nous situer dans un sous-ensemble des connaissances produites sur la simulation qui se structurent autour de la propriété reconnue à l'activité d'être constructive. Par la simulation, les acteurs, qui doivent alors nécessairement être des participants à la simulation, développent les ressources de leur propre action. De ce fait, la simulation est intrinsèquement liée à un projet de développement *via* des processus de genèses instrumentales. D'autre part, se situer dans un projet de conception d'un artefact nous conduit à ne pas nous focaliser exclusivement sur les processus d'instrumentation ? Nous nous intéressons également aux processus d'instrumentalisation car l'outil, utilisé comme simulateur, est lui-même en jeu dans la conception. Notre approche de la simulation s'est basée sur le fait de donner à voir et à manipuler le modèle de DIAGVAR, encourageant les utilisateurs à tester l'outil dans des configurations très variées (voire à la limite de son domaine de validité, même si celui-ci n'était pas forcément bien défini au début de la conception). Elle repose également sur la création d'un « espace », d'une « scène » où l'instrumentalisation de l'outil est finalement au cœur des échanges. En donnant à manipuler le modèle en présence des concepteurs et en ayant affirmé notre volonté de revenir ensemble sur le modèle de DIAGVAR, nous avons rendu visible les concepts de l'outil, c'est-à-dire son modèle. Le comportement de l'outil est disséqué et les acteurs sont encouragés à critiquer le modèle et à proposer des améliorations. C'est ainsi que nous parvenons à induire l'instrumentalisation dans la simulation.

C'est donc plutôt l'instrumentalisation qui a une place prépondérante dans notre simulation et qui est spécifique à notre situation de conception orientée vers le développement conjoint de l'outil et des activités. Pour autant, l'outil renvoie également des questions sur l'activité et déclenche également l'instrumentation voire d'autres transformations au sein du système d'activité. Le questionnement des chercheurs, à propos de l'activité réalisée par les acteurs de l'évaluation sur l'outil, conduit alors à engager des transformations de l'activité des acteurs. Nous suggérons que la manipulation de l'outil sur des jeux de données variés, en illustrant les contradictions préalablement repérées sur la dimension instrumentale de l'activité d'évaluation autour de la notion du « réseau d'expérimentation » et des informations collectées dans ce réseau, permettent d'initier ce mouvement. Elle fournit l'occasion aux acteurs d'appréhender les informations qui peuvent être extraites des réseaux et qui permettent d'aller au-delà de la notion de stabilité d'une variété. En utilisant les données du réseau pour caractériser les réactions des variétés à une gamme de facteurs limitants, l'outil fait la preuve que ces informations sont disponibles et accessibles.

Enfin, l'importance des coordinations dans l'activité d'évaluation variétale nous a conduite à privilégier un travail avec des collectifs d'acteurs, même si les différents groupes d'acteurs ont finalement préféré travailler de façon relativement indépendante (les obtenteurs ensemble, le GEVES ensemble et Arvalis ensemble). Il s'agissait de prendre en compte la nature très distribuée de l'activité et l'importance du partage d'expériences entre les acteurs sur le même objet, la variété, pour construire une évaluation de celle-ci. Ce qu'il faut retenir des acteurs de ces collectifs concerne leur hétérogénéité autant que leur proximité. Hétérogénéité car nous avons décrit dans la partie I.1 de ce chapitre que les différents acteurs, même au sein d'un même groupe, ont des objectifs différents et réalisent des actions différentes. Leurs connaissances des essais sont également complémentaires, leur expérience et leur expertise leur sont propres.

Proximité car ces acteurs partagent parfois des métiers, parfois des entreprises et surtout une activité : celle de l'évaluation variétale. A travers cette activité, ils partagent un objet, des instruments et des communautés de travail.

La connaissance que nous développons sur la simulation est donc essentiellement liée à la mise en scène et à la manipulation du prototype que nous avons développée afin de provoquer des processus d'instrumentalisation.

4. Connaissances mises en mouvement sur la conception

Le dernier champ de connaissances que nous avons investi dans ce travail est celui des connaissances sur la conception. Nous sommes consciente qu'il peut paraître complexe de considérer la conception à la fois comme une situation d'action et un champ de connaissances. Mais il s'agit pour nous d'un élément constitutif de l'ergonomie que de s'inscrire dans une situation particulière tout en produisant des connaissances sur la situation.

La conception comporte un problème cognitif qui a une structure particulière car il est mal défini (Simon, 1973). Falzon (2005) rappelle que les problèmes bien définis sont ceux « *dont la résolution peut être pensée comme la recherche dans un espace aux règles pré-établies ou comme l'identification d'un pattern dans un ensemble de données, comme dans les activités de diagnostic. En revanche, dans les problèmes mal définis, les éléments qui constituent les données du problème sont peu clairs, partiellement déterminés par le résolveur, et le but à atteindre est lui-même flou* ». La conception est de fait caractérisée par un état initial flou, un but qui l'est encore plus et le chemin vers la solution est à construire en sachant gérer l'apparition, en cours de résolution, de nouveaux éléments à prendre en compte (pour une synthèse récente des caractéristiques des problèmes de conception et la spécificité du raisonnement de conception, voir Darses et al., 2004). La conception est également plus largement un « projet » et un « travail de groupe » (Béguin, 2004a) dans lequel il faut définir qui impliquer, selon quels champs de compétence et de connaissances, et suivant quelles prescriptions. C'est un espace de négociation et de décision dans lequel coexistent différentes logiques (Daniellou, 2004 ; Béguin, 2004a).

Notre travail, fortement structuré par une vision développementale de la conception, a permis deux avancées qui enrichissent les travaux sur la conception.
La première avancée renvoie à la façon dont l'ergonome envisage les trois objectifs, cristallisation, plasticité et développement qui étaient plutôt présentés jusqu'ici comme relevant de postures différentes. Dans notre travail, nous avons montré que ces trois objectifs peuvent co-exister. Nous pensons même qu'il est difficile d'avoir un objectif de développement sans avoir préalablement cristallisé un modèle d'activité. La question de la plasticité reste plus ouverte et semble plus dépendante des caractéristiques de l'activité vers laquelle est orienté le projet de conception. De plus, nous avons montré que ces objectifs évoluent les uns par rapport aux autres : ce qui est produit comme solutions opérationnelles pour répondre à ces objectifs évolue tout au long du travail. Nous insistons de ce fait sur la dimension dynamique de notre processus de conception constitué de boucles et de mouvements, que ce soit dans ces solutions construites en relation avec les trois objectifs visés, dans l'objet de la conception ou dans les activités.
La seconde avancée est associée à l'organisation de notre travail comme un processus dialogique entre concepteurs et utilisateurs autour du prototype. La conception a été décrite

Le niveau 0 correspond à l'expérience directe (« je mets ma main au feu, et je me brûle. »).

Le niveau 1 est la généralisation des expériences directes (« j'ai mis ma main dans le feu, j'ai été brûlé et je ne le referai plus »).

Le niveau 2 contextualise les unités d'apprentissage de niveau 1 pour développer des stratégies en extrayant des règles implicites (« généralement je ne risque pas d'être brûlé, mais cela pourrait m'arriver si je devais sauver autrui d'un incendie »).

Le niveau 3 contextualise les expériences de l'apprentissage de niveau 2 par un retour réflexif sur les stratégies mises en place dans le niveau 2 (« que dit de moi le fait d'être prêt à risquer d'être brûlé pour… »).

Le niveau 4 est uniquement évoqué pour dire qu'il n'a jamais lieu, il correspondrait à un niveau d'abstraction un cran supérieur au niveau 3.

Cadre D-20 : les niveaux d'apprentissage de Bateson (d'après Engeström, 1987)

depuis longtemps comme le lieu d'apprentissages mutuels. Cependant, lorsque Hatchuel (1994) parle des apprentissages croisés qui apparaissent dans la conception, nous y voyons en effet essentiellement une mise à plat des compétences, savoirs, méthodes, de chacun. « *Les apprentissages de l'opérateur et du concepteurs interfèrent […], l'interaction apparaît donc ici comme une confrontation de savoirs, où le concepteur et l'opérateur en quelque sorte vont tenter de partager une part de leurs connaissances sur le contexte d'action* » (Hatchuel, ibid.). Il est difficile de savoir ce qui se partage réellement dans cette interaction : « *interaction qui signifie pour nous influence mutuelle des apprentissages* » (Hatchuel, 1996). Hatchuel (ibid.) pose que les apprentissages croisés « *permettent à chaque acteur de construire ses propres objectifs tout en interagissant avec le partenaire* ». Mais s'agit-il uniquement de construire des objectifs ? Dans ses travaux sur la conception, Kyng insiste également sur le fait que la conception est une activité coopérative, vecteur de compréhension entre les différents participants : "*since neither professional designers nor end users can fully understand each others' practices or meanings, we must actively bring these experiences closer together*" (Kyng, 1995). Mais s'agit-il uniquement de compréhension ? L'idée que nous défendons dans ce travail est que l'apprentissage mutuel qui apparaît dans la conception dépasse ce qui relèverait d'une compréhension des positions respectives des participants. Il y a développement de l'activité dans sa dimension systémique, ce qui pour Engeström (1987) renvoie au niveau 3 d'apprentissage de Bateson (1972, voir cadre D-20), c'est-à-dire à un apprentissage expansif qui est pour Engeström (ibid.) le niveau du développement. De fait, les différents participants entrent bien dans un processus de contextualisation de leurs connaissances qui leur permet de prendre une position réflexive par rapport à leurs actions existantes. Le processus de cet apprentissage passe par la simulation telle que nous l'avons décrite pour les acteurs de l'évaluation variétale. Pour les chercheurs, l'apprentissage se fait par l'acceptation de prendre une position réflexive par rapports à leurs connaissances et leurs méthodes au vu de l'ensemble du processus. Il s'agit bien d'échanges mutuels qui ont lieu autour de la manipulation par les acteurs de l'outil porteur du modèle des chercheurs.

Notre production dans le champ de connaissances sur la conception vient conforter les connaissances existantes tout en les enrichissant. Il est connu que la conception peut renvoyer à des objectifs de cristallisation, plasticité, développement. Mais nous avons proposé de voir ces trois éléments comme complémentaires et surtout en mouvement au cours du processus. De même, il est connu que la conception est un lieu d'apprentissage entre participants mais nous insistons sur le niveau d'apprentissage qu'il est possible d'initier dans un tel processus et nous exposons une méthodologie qui permet de les initier. Nous aimerions introduire ici l'idée de comparer la méthodologie que nous proposons à la méthode de double stimulation proposée par Vygostki (1978) et largement reprise dans les travaux visant à accompagner des processus de développement. Cette méthode consiste à mettre le sujet dans une situation problématique qu'il ne peut pas résoudre avec ses propres compétences et à lui fournir un stimulus (un objet par exemple) extérieur au problème. Il s'avère que le sujet va utiliser cet objet extérieur pour résoudre son problème. "*By using this approach, we do not limit ourselves to the usual method of offering the subject simple stimuli to which we expect a direct response. Rather, we simultaneously offer a second series of stimuli that have a special function. In this way, we are able to study the process of accomplishing a task by the aid of specific auxiliary means; thus we are also able to discover the inner structure and development of higher psychological processes.*" (Vygostki, 1978, pp.74). Dans notre démarche, la première stimulation (c'est à dire le problème insoluble en face duquel est placé le sujet) est le problème qu'énoncent les acteurs

concernant leur difficulté à mieux exploiter les données d'un réseau d'essais pour accomplir l'évaluation des variétés. La seconde stimulation (ce qui vient aider le sujet pour résoudre le problème) est notre simulation, c'est-à-dire la manipulation en collectif de l'outil sur des jeux de données variés associée à un questionnement des concepteurs. Il est important de préciser que l'outil qui est au cœur de la deuxième stimulation, c'est-à-dire notre prototype, est potentiellement un outil qui deviendra un instrument pour les acteurs dans leur activité future. Ce faisant, nous spécifions la proposition méthodologique de Vygostki à une situation singulière d'action, la conception associée à un projet de développement.

5. Mise en mouvement dans l'espace des concepts.

L'espace du concept est l'espace qui relie nos deux points de vue d'agronome et d'ergonome. En effet, si, du point de vue de l'agronome et de l'ergonome, les connaissances mises en jeu dans le processus sont différentes, et si les situations singulières d'action ne sont pas exactement semblables, l'enjeu est bien qu'ils puissent partager le concept qui organise leur activité respective dans le processus de conception.

Dans le chapitre C, nous avons illustré comment les connaissances et la situation d'action nous ont amenée à spécifier le concept initial : le travail s'est de fait focalisé sur une des étapes de l'outil, celle du diagnostic agronomique basé sur des génotypes révélateurs, puis l'a encore spécifiée en soulignant l'importance des contraintes expérimentales dans les essais qui sont la base du diagnostic.). Le travail sur la stabilité des méthodes statistiques nous a ensuite amenée à imaginer deux déclinaisons du concept, soit en proposant une gamme de méthodes statistiques liée à la configuration des réseaux, soit en proposant une unique méthode, fondée sur une stratégie de mélange de l'ensemble des modèles existants. Nous avons également discuté du fait que de nouveaux concepts pouvaient émerger. Comment se traduisent ces spécifications et diversifications du point de vue de l'ergonome ? Quelles circulations apparaissent entre les trois espaces ?

Le concept initial doit beaucoup à l'étude de l'activité d'évaluation variétale : celle réalisée par C. Lecomte dans un premier temps, que nous avons ensuite proposé de reprendre pour analyser les invariants, la diversité et les contradictions dans l'activité. Même si la programmation informatique nous a limitées dans l'inscription de certaines des spécifications établies par notre modélisation de l'activité, nous avons néanmoins mis à jour des éléments qui ont permis d'établir le concept initial, comme nous l'avons expliqué dans la partie I.3.4 du chapitre sur la démarche (chapitre B). Ont ainsi été retenus la nécessité de mettre au point un prototype donnant des résultats rapides, la nécessité d'automatiser fortement le prototype pour qu'il fonctionne indépendamment d'autres logiciels ou outils, le choix de structurer le logiciel en trois étapes, le choix de rendre visibles les données d'entrée et de mettre en parallèle la combinaison des milieux choisie et les résultats que l'outil produit.

Dans la spécification du concept initial en un concept focalisé sur la partie « diagnostic agronomique dans des réseaux d'essais », l'ergonome peut voir la prise en compte de l'importance potentielle de l'instrument « réseau » et de sa configuration, élément mis en évidence dans l'étude des contradictions de l'activité d'évaluation. En retour, ce concept spécifié influe sur la façon de construire la simulation puisque le concept peut être manipulé pour rendre visible les

contradictions. Les connaissances sur la simulation sont donc remises en mouvement par cette spécification du concept.

Dans l'alternative qui apparaît enfin entre « l'outil proposant une gamme de méthodes statistiques déclinée en fonction des configurations de réseaux » et « l'outil basé sur une stratégie de mélange de modèles », c'est la diversité des réseaux qui est rendue visible et ce, grâce à la simulation. En mettant en scène les contradictions autour de l'instrument « réseau », la simulation a permis aux acteurs de l'évaluation de prendre conscience de cet instrument et a ainsi remis en mouvement, une nouvelle fois, le concept.

Il peut sembler que l'espace des concepts structure moins l'espace des connaissances des ergonomes qu'il n'avait structuré celui des agronomes. L'espace de l'action semble en effet avoir un rôle prépondérant pour expliquer la façon dont cet espace des connaissances se structure. Néanmoins, beaucoup des questions que nous avons laissées en suspens dans le chapitre C pourraient se traduire dans une interrogation de l'espace des connaissances par l'espace du concept. Par exemple, la volonté d'introduire des données qualitatives dans le modèle, en mettant en avance l'expérience, oblige sans doute à mieux cerner comment se constitue l'expérience en situation, les traces conservées par les acteurs, les moyens que nous pourrions mettre en place pour équiper l'acteur, pour tracer son expérience etc… De même, nous pouvons nous interroger sur ce qu'impliquerait pour l'ergonome de travailler sur la notion de profil variétal. Que révèle une telle demande du point de vue de l'objet de l'activité et comment remet-elle en débat l'articulation entre stabilité d'une variété dans une diversité de milieux, et adaptation de la variété à un ensemble de contraintes données ? Avec une telle demande, les acteurs n'expriment-ils pas l'accroissement des critères à prendre en compte pour construire « une variété qui passe partout » alors que les agronomes ont en tête de rechercher des combinaisons « variété*milieu » ?

6. Conclusion sur l'inscription de notre travail d'ergonome dans le cadre C/K/A

Il faut rappeler que l'ergonomie centrée sur l'étude de l'activité construit ses connaissances à partir de l'action, à partir de cas, d'exemples, d'études situées. Par exemple, les ergonomes de l'activité ont beaucoup produit à partir de l'observation des situations industrielles. Inversement, la communauté du CATDWR a éprouvé ses modèles et ses concepts sur des activités de santé ou d'éducation. Les connaissances qui y sont produites sont donc marquées par ces situations. De ce fait, les interactions entre situation d'action et connaissances sont complexes et nous situer dans le cadre C/K/A nous a aidée à comprendre comment nous avons évolué dans les différents espaces car il peut permettre une traçabilité de ce qui se produit et une réflexivité sur l'adhérence de la connaissance à la situation d'action et de mise à l'épreuve. Comme ce que nous avions vu dans le champ de l'agronomie, l'espace A nous conduit à remettre en mouvement l'espace K, surtout dans les dimensions méthodologiques de cet espace : nos méthodes sont spécifiées et affinées. Nous retrouvons également le fait que l'espace du concept (espace C) interagit également avec les deux autres espaces. Ce que nous n'avions pas vu dans le champ de l'agronomie, c'est le retour vers la situation d'action. Par les apprentissages, les changements que nous avons initiés, la situation de l'activité d'évaluation est elle aussi mise en mouvement.

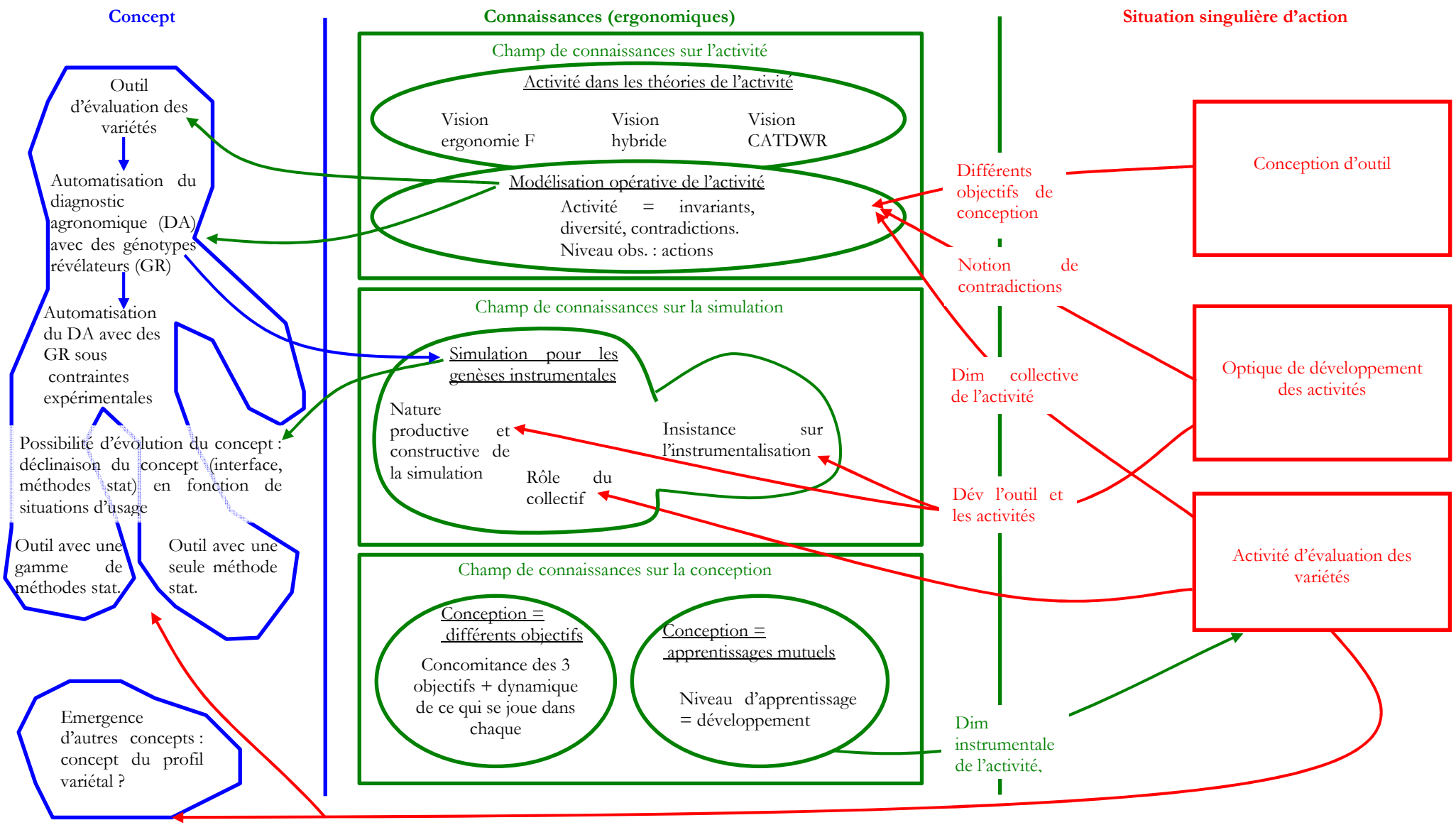


Figure D-11 : représentation de la production de connaissances ergonomiques dans le travail de la thèse

Pour continuer le parallèle avec le travail réalisé à propos des résultats produits en agronomie, nous avons repris le formalisme de présentation de nos résultats en termes de production de connaissances (par souci de lisibilité, toutes les productions n'ont pas été représentées) en illustrant comment la situation d'action, connaissances et concept interagissent (figure D-11). Rappelons les conventions graphiques que nous avons retenues :

- chaque espace (concept, connaissances, action) est représenté par une couleur
- les formes présentes dans ces champs visent à représenter comment s'imbriquent et se développent les éléments dans ces espaces.
- les flèches symbolisent la façon dont les champs s'influencent entre eux. Nous avons fait apparaître le retour vers la transformation dans le champ de l'action par une flèche allant des apprentissages mutuels vers la situation d'activité d'évaluation.

E. Discussion générale et conclusion

I. Principaux acquis méthodologiques de la thèse

Nous souhaitons récapituler dans cette première partie les principaux acquis méthodologiques mis en évidence dans notre travail. Nous les avons structurés autour de quatre items. Nous nous situons dans un processus de conception et, comme le décrit Béguin (2004a), concevoir, c'est poursuivre un dessein, envisager un changement à opérer : c'est donc définir un but, un **projet**. Mais concevoir, c'est aussi transformer, conduire et réaliser ce changement, c'est **conduire le projet**. Nous allons donc exposer : 1) notre projet de conception, 2) les éléments théoriques et méthodologiques qui nous ont outillée par rapport à ce projet, 3) la conduite de projet que nous avons adoptée pour y parvenir, ainsi que 4) le regard que nous portons dans notre démarche sur cette conduite de projet du point de vue de la production des connaissances et des changements initiés par la conduite de projet.

1. Enjeu : notre projet de conception

Notre position a été d'envisager le processus de conception comme l'occasion, le moyen de faire évoluer conjointement outil et activités, des utilisateurs potentiels comme des concepteurs. Nous avons donc posé un quadruple objectif :

- soumettre les idées des concepteurs à un processus de questionnement. Les concepteurs ont proposé un modèle d'analyse des interactions génotype-environnement, basé sur un diagnostic, à l'échelle d'un réseau d'essais variétés, des facteurs limitants du rendement, puis d'une interprétation du comportement des variétés cultivées dans ce réseau en réaction aux facteurs limitants caractérisés. Ce modèle véhiculait des choix de fonctionnalités et de formalismes que nous avons souhaité remettre en question par des interactions avec les acteurs potentiellement intéressés par ce modèle,
- étudier dans quelle mesure ces idées et les discussions qui les ont mises en débat ont conduit les utilisateurs potentiels à changer leurs actions. Dans quelle mesure le modèle proposé par les agronomes peut-il avoir du sens dans l'activité des personnes s'intéressant à l'évaluation des variétés et dans quelle mesure le fait de débattre du modèle peut-il permettre à ces personnes de s'interroger sur leur façon de conduire l'évaluation des variétés ?
- mettre à plat la façon dont la mise en mouvement de ces idées et les interactions construites avec les utilisateurs ont interrogé agronomes et ergonomes. Que tirent les agronomes de ce travail par rapport à leurs objets de recherche et à leur façon de mener et de produire de la recherche ? De façon symétrique, quels sont les objets de recherche des ergonomes questionnés par ce travail et qu'apprennent les ergonomes par rapport à leurs méthodologies de travail ?
- proposer, sur la base de ces éléments une nouvelle version de l'outil pour qu'il soit utilisable et utilisé. La remise en question du modèle proposé par les concepteurs, comme la compréhension de la façon dont les acteurs de l'évaluation envisagent les transformations de leur activité, doit fournir des pistes pour mettre au point un outil qui puisse être adapté au travail d'évaluation des variétés des acteurs (utilisable) et qui prenne un sens dans cette activité (utilisé).

Nous avons donc essayé de maintenir notre attention et notre travail sur l'outil en cours de conception et les activités en ne considérant aucun de ces éléments comme arrêté ou stable.

2. Outils conceptuels et méthodologiques

Pour renouveler les démarches de modélisation en agronomie, nous avons construit une démarche combinant aux outils classiques de modélisation des agronomes (par exemple le recours à l'expérimentation et aux outils des statistiques) des ressources théoriques et méthodologiques dans les travaux des ergonomes français s'intéressant aux questions de conception et de développement, et des chercheurs du CATDWR s'intéressant prioritairement à la thématique du développement, du changement et de l'apprentissage dans des organisations. Nous avons emprunté aux chercheurs du CATDWR une conceptualisation de l'activité construite dans un contexte culturel et historique, fonctionnant comme un système dont les différents éléments interagissent les uns avec les autres et se façonnent mutuellement. Concevoir un outil pour aider au travail d'un acteur, c'est donc proposer de perturber un système existant, dans un contexte donné. Nous avons emprunté aux ergonomes français une approche de la conception vue comme une occasion de développement. Pour initier le développement, nous avons hybridé les outils conceptuels et méthodologiques de nos deux champs de références. Nous avons tout d'abord mis en avant la nécessité de faire participer les utilisateurs potentiels au processus de conception. Nous avons ensuite admis que le recours à la simulation, c'est-à-dire la mise en scène de l'outil en cours de conception et de ses potentialités, permettait de valoriser l'activité constructive des acteurs engagés dans la simulation. Nous avons alors proposé de construire cette mise en scène en éclairant les contradictions au sein de la dimension instrumentale de l'activité des utilisateurs potentiels. Nous faisions l'hypothèse que cette mise en scène favoriserait l'occurrence de genèses instrumentales c'est-à-dire à la fois le développement de l'outil (instrumentalisation) et le développement de l'activité de ceux qui l'utilisent (instrumentation). Notons également que notre façon de combiner ces outils conceptuels et méthodologiques est spécifique et a été guidée par notre souci de nous adapter à la situation singulière de conception qui était la nôtre.

3. Conduite du projet

Mettre en scène des contradictions nécessite de les avoir appréhendées, susciter le développement de l'activité suppose d'en avoir identifié les caractéristiques, procéder à une simulation implique de disposer au moins d'un prototype. Notre premier travail (phase 1) a donc consisté à repérer les contradictions de l'activité d'évaluation variétale, à analyser l'activité et à concevoir un prototype sur la base des ces analyses. Pour ce faire, nous avons exploré l'activité d'évaluation grâce à des entretiens en proposant d'en extraire trois composantes que nous avons jugées opératives dans notre situation de conception : les invariants de l'activité, la diversité des actions composant cette activité et les contradictions que nous étions susceptibles de traiter avec notre proposition d'outil, à savoir des contradictions renvoyant à la dimension instrumentale de l'activité d'évaluation. Cette modélisation opérative de l'activité nous a notamment permis de construire notre partenariat de travail. Elle a également été confrontée au modèle d'analyse des interactions génotype-environnement imaginé par les concepteurs, ce qui a permis d'inscrire les idées des concepteurs dans un prototype informatique manipulable.

Ayant repéré des contradictions susceptibles d'être discutées grâce à notre outil, nous avons ensuite construit un processus de simulation permettant de les rendre perceptibles aux utilisateurs, en leur faisant manipuler des jeux de données différents, de façon individuelle (phase 2). Nous avons ensuite discuté des problèmes rencontrés par les utilisateurs lors de ces tests au sein de collectifs comprenant d'autres acteurs de l'évaluation et des concepteurs. Nous avons veillé, en tant que responsable de la conduite de projet, à questionner les acteurs sur les choix effectués, leurs réactions, leurs attentes de façon à sortir de l'action de simulation proprement dite et de provoquer une réflexivité.

En tant qu'agronome, et en partenariat avec d'autres agronomes, nous avons analysé les échanges ayant eu lieu entre les participants pendant la simulation pour remettre en cause le modèle d'analyse des interactions génotype-environnement inscrit dans le prototype (phase 3). Cela a abouti à établir une liste de questions scientifiques pertinentes dans le champ de l'agronomie. Deux questions ont alors été traitées : la première a émergé du décalage existant entre les données nécessaires dans l'outil et les pratiques expérimentales des acteurs (question repérée dès la phase 1 de notre démarche), la seconde provient du constat d'instabilité des résultats du prototype lorsqu'il est manipulé sur des jeux de données comportant de faibles variations.

Enfin, prenant cette fois davantage une position d'ergonome, nous sommes retournée enquêter auprès de nos partenaires de travail en explorant avec eux les changements dans leur travail d'évaluation qu'ils reliaient à notre travail en commun (phase 4). Nous avons proposé de repartir d'un résumé de l'ensemble du processus pour discuter de leur ressenti vis-à-vis de la conduite de projet que nous avions mise en place et de ses effets dans leur activité.

4. Réflexivité dans et sur la conduite de projet

4.1 La réflexivité : un élément clé dans notre conduite de projet

Nous avons donné un grand rôle à la réflexivité dans notre conduite de projet. Concepteurs et utilisateurs ont été en effet constamment poussés à réfléchir sur ce qu'ils étaient en train de faire, et comment cela les interrogeait sur leurs façons de travailler. Ainsi la phase 2, telle qu'elle a été construite, a poussé les acteurs de l'évaluation variétale à réfléchir à leurs actions, leurs outils, leurs méthodes d'analyse. La phase 3 a, en quelque sorte, obligé les agronomes à remettre en cause le modèle qu'ils avaient imaginé, en les mettant en face des remarques des acteurs et en leur demandant de les interpréter par rapport à leurs propres concepts. La phase 4 a conduit les acteurs de l'évaluation à revivre l'ensemble du processus pour réfléchir aux questions que le projet avait fait naître par rapport à leur travail d'évaluation et la façon dont ils s'en étaient saisis pour initier des changements. Dans les discussions partielles des chapitres de résultats notamment, nous avons souligné le fait que la réflexivité aurait pu être plus symétrique à chaque étape. La production des agronomes issue de la phase 3 aurait pu être débattue avec les acteurs de l'évaluation, leur fournissant une occasion d'être réflexifs par rapport à ce qu'ils avaient exprimé en phase 2 et de préciser ce qu'ils attendaient de l'outil. Le travail effectué en phase 4 aurait pu être mené de façon symétrique avec les chercheurs du projet, aussi bien ergonomes qu'agronomes, pour capter leur propre questionnement et changements, ce qui a été partiellement fait via une démarche individuelle. La réflexivité a donc été présente dans tout le projet comme un élément clé, moteur de développement et de changement.

4.2 Réflexivité par rapport à la production de connaissances

Dans une démarche de recherche finalisée, se pose la question des connaissances scientifiques produites. Dans notre cas particulier, où l'enjeu était d'articuler projet de production d'outil, ingénierique, et un projet de production de connaissances, elle se pose de façon encore plus aigue. Ces deux projets peuvent sembler opposés en première lecture : les connaissances produites pour concevoir un outil utilisable et utilisé ont-elles du sens dans la science ? *A contrario*, les connaissances scientifiques sont-elles directement pertinentes pour l'action ? Pour dépasser les débats (éternels) entre connaissances opérationnelles et connaissances génériques et spécifier la dynamique qui s'instaure entre les deux, nous avons eu recours à un cadre conceptuel librement inspiré de celui proposé par Hatchuel et Weil (e.g. 2002, 2003). Notre cadre vise à formaliser les espaces dans lesquels nous circulons dans un projet de conception : il distingue l'espace du concept-C (l'idée qui mène le projet de conception), l'espace des connaissances produites et mises en jeu dans le projet (espace K) et l'espace de l'action qui est concerné par le projet de conception (espace A). Au cours de la conception, des circulations s'établissent entre les espaces. L'espace d'action notamment, par sa singularité, remet en mouvement les connaissances établies et utilisées. Elles doivent être spécifiées, détaillées voire enrichies et repensées pour être pertinentes par rapport à la situation singulière d'action dans lesquelles elles sont utilisées. Elles seront plus ou moins utilisables dans la situation selon que la mise en mouvement créée par la situation implique un travail scientifique complètement original ou implique plutôt d'affiner les connaissances existantes. Dans le cas du travail sur l'indicateur azote, la spécification par l'action a conduit à poser de façon différente la question des indicateurs, en la situant dans une temporalité d'action et pas seulement dans une temporalité des processus biologiques. Dans le travail sur la stabilité des méthodes statistiques, nous avons dû monter en généricité pour commencer à résoudre le problème posé par les acteurs. Il y aura donc un travail complémentaire à faire ensuite pour spécifier les connaissances produites dans la situation d'action. Cependant, c'est la situation qui a permis de formuler cette question et nous a donné des moyens (des jeux de données par exemple) pour l'explorer. Tracer et visualiser ces circulations entre espaces nous a ainsi permis de mieux réfléchir à la nature de notre production de connaissances.

4.3 Réflexivité sur la conduite en lien avec les enjeux

Penser notre démarche comme une combinaison d'objectifs de cristallisation, de plasticité et de développement nous a fourni un autre angle de réflexivité sur la conduite de notre projet de conception. En retraçant a posteriori la façon dont ces trois objectifs avaient évolué au cours du travail, nous avons mis à jour des boucles successives qui se mettent en place au cours du processus et qui amènent à repenser, après la phase de simulation et la phase de retour sur l'outil par les agronomes, ce qui peut être cristallisé dans le prototype, ce qui doit être plastique, et les possibilités de développement crées dans le fil d'un tel processus. Ce cadre nous a donc permis de réfléchir sur notre conduite en la reliant aux enjeux qui fondaient le projet de conception et en nous aidant à la penser dans son évolution, sa dynamique propre.

Démarche classique

Dans le chapitre problématique nous avions identifié, une démarche de conception « type », construite autour de plusieurs étapes (pas forcément toutes apparentes dans la littérature des concepteurs mais facilement identifiable dans l'ensemble des travaux de modélisation publiés et analysés).
1. Définition du problème à modéliser et des objectifs du modèle
2. Définition de la forme globale du modèle (dynamique, statistique, d'optimisation, d'aide à la décision…)
3. Définition des variables d'entrées et de sorties
4. Définition des hypothèses de fonctionnement permettant d'établir les relations liant les variables. C'est ce que nous avons appelé la définition des formalismes du modèle
5. Choix et détermination des valeurs des paramètres, calibration
6. Evaluation du modèle par une gamme large de méthodes même si la confrontation des résultats du modèle aux données expérimentales domine.

Cadre E-1 : rappel des éléments de la démarche "classique" établie en problématique

Le projet FARMSCAPE (Carberry et al., 2002 ; McCown, 2002a)

FARMSCAPE est un projet de chercheurs agronomes du CSIRO (Australie, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). Ces travaux revendiquent une approche de recherche action participative (PAR-Participatory Action Research) autour du modèle agronomique APSIM dans le projet FARMSCAPE (Farmers', Advisers', Researchers', Monitoring, Simulation, Communication And Performance Evaluation).

L'objectif initial de ce projet était double : étudier si les agriculteurs pouvaient valoriser un outil de simulation comme aide à la gestion de leur système de culture et si oui, faire en sorte de rendre cet outil « cost-effective ». Lorsque le projet FARMSCAPE a débuté, trois objectifs ont été redéfinis : 1) développer des réseaux de groupes d'agriculteurs, assistés de consultants, conseillers ou agents de développement pour s'engager dans un suivi dans les fermes de l'eau du sol et de l'azote, et entraîner des animateurs à l'usage d'APSIM pour valoriser ces données et aider à la discussion, 2) trouver des moyens « cost-effective » pour les agriculteurs, les conseillers et les chercheurs qui ne seraient pas dans des groupes actifs de bénéficier des sorties de l'objectif 1, 3) évaluer l'impact sur les participants en terme de co-apprentissage et de communication. A travers ces objectifs, les auteurs affirment leur volonté d'amener la recherche dans les exploitations agricoles et de participer avec les agriculteurs à explorer les problèmes du « monde réel » (c'est ainsi que les acteurs le décrivent : « real-world issues »).

Leur objet d'étude principal est de montrer que les outils de simulation des chercheurs peuvent avoir un vrai intérêt pour les agriculteurs « *discover a role for computer simulators of agricultural systems* ». FARMSCAPE s'étale sur un temps long (début en 1991) et a impliqué un très grand nombre d'acteurs (plusieurs centaines d'agriculteurs, de conseillers, de nombreux conseillers agricoles, différents chercheurs également).

Le processus s'est structuré en plusieurs boucles, plusieurs itérations construites au cours du temps : après un premier projet entre 1991 et 1995, le projet FARMSCAPE s'est mis en place et les auteurs y distinguent deux phases : l'une de mise en place de la méthodologie de travail avec les acteurs, la seconde commençant à s'intéresser aux modalités de commercialisation et de diffusion à grande échelle. Les auteurs relatent, dans l'article Carberry et al. (2002), comment ont été remis régulièrement en question leurs objectifs et leur façon de faire, chaque remise en question les poussant à redéfinir et relancer leur travail.

L'outil méthodologique principal de ce travail est la mise en œuvre du logiciel APSIM, logiciel de simulation qui permet d'explorer différentes options de l'itinéraire technique d'une culture, dans des réunions interactives avec des agriculteurs et leurs conseillers techniques, directement chez eux, avec l'assistance d'un chercheur du APSRU (Agricultural Production Systems Research Unit). Les auteurs appellent ces réunions des 'What-if ? Analyses and Discussions' (WifADs). Carberry et al. (2002) relatent en ces termes la première séance de ce genre : « *Then, it happened. Ross asked that first important question: ''I wonder what would have happened if I could have planted my cotton at a more preferred time (early October)?'' We did the run—the simulation showed a higher yield for earlier planting in that season. Ross then followed on by inquiring ''I wonder how often a late cotton planting would succeed?''. The WifAD was born with the response of ''Hey, let's use the model to explore that question—we can take the last 10 years of your rainfall record and run the model to see what would have happened with late planting over the past 10 years.'' From then the questions flowed: ''How would sorghum compare for December planting dates?''; ''At what date should I switch from cotton to sorghum?''; ''How would the result change if I had higher starting soil water?''; ''What if I had fallowed that paddock through to a winter crop?'' and so on for the next three hours*".

Cadre E-2 : quelques éléments de présentation de la démarche de travail suivie dans le projet FARMSCAPE

II. Positionnement de notre démarche dans le champ de l'agronomie

Nous avons en grande partie positionné notre travail dans le champ de la production méthodologique sur la conception de modèles en agronomie. Il s'agit maintenant de mettre en perspective la démarche que nous avons développée avec différentes démarches de modélisation en agronomie. Nous avons choisi de comparer notre propre démarche de travail à trois autres démarches, parce qu'elles illustrent trois manières différentes de traiter de la relation entre modèle et usage, relation qui structure notre travail : la démarche « type » de conception de modèles et deux démarches qui se posent la question de la place des utilisateurs au cours d'un processus de modélisation :

- Dans notre approche bibliométrique (chapitre A), nous avons identifié une démarche « type » utilisée par les agronomes pour concevoir des modèles. A travers les étapes de modélisation que citent les auteurs dans les articles de modélisation, nous avons reconstitué une démarche générale commune qui, si elle est peu décrite dans sa globalité dans la littérature, semble néanmoins structurer la conception de la plupart des modélisateurs (nous en avons rappelé les étapes dans le cadre E-1 ci-contre). Dans le rapport entre modélisation et usage, cette démarche classique traite principalement de la modélisation sans investir réellement le problème de l'usage, comme nous l'avons montré (chapitre A).
- La démarche développée par les auteurs du projet FARMSCAPE (e.g.Carberry et al., 2002) étudie la pertinence d'utiliser la simulation à partir du modèle de culture APSIM comme outil pour les agriculteurs. Cette démarche, inversement à la démarche classique, traite quasiment uniquement de l'usage, et peu de la modélisation : l'enjeu n'est pas tant le modèle en lui-même, que l'utilisation de ce modèle dans un processus de simulation outillant les agriculteurs. Nous avons détaillé le contenu de cette démarche dans le cadre ci-contre (cadre E-2).
- La démarche établie par le collectif ComMod (e.g. ComMod, 2005) vise à utiliser la modélisation comme outil d'accompagnement dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables et de l'environnement. Cette démarche se rapproche de la nôtre, dans le sens où il y a un équilibre recherché entre modélisation et usage. Nous avons détaillé le contenu de cette démarche dans le cadre ci-contre (cadre E-3).

Les points saillants de comparaison que nous avons choisi de développer sont le poids joué par nos objectifs dans la construction de la démarche, l'importance des itérations dans le processus de modélisation, le statut du modèle dans la démarche, le rôle du travail collectif avec les utilisateurs et la façon dont notre démarche nous a amenée à revoir notre position d'agronome par rapport au problème de la variabilité des situations et des données. Pour chacun de ses points, nous comparerons notre démarche avec celles qui nous semblent pertinentes : nous ne discuterons donc pas de toutes les démarches dans chacun des points.

La modélisation participative du collectif ComMod (Collectif ComMod, 2005).

La modélisation d'accompagnement pose la question de l'introduction de connaissances des acteurs dans la modélisation, avec un enjeu participatif et d'aide à la négociation. Elle repose sur l'utilisation de systèmes multi-agents. Un système multi-agents[22] est constitué d'un « *ensemble de processus informatiques se déroulant en même temps, donc de plusieurs agents vivant en même temps, partageant des ressources communes et communiquant entre eux. Le point clé de la théorie des univers multi-agents réside dans la formalisation de la nécessaire coordination entre agents* » (Bousquet et al., 1996). La modélisation d'accompagnement utilise ces systèmes multi-agents dans le cadre général de l'aide à la décision collective. Elle consiste en une confrontation itérative du modèle et du terrain, dans le but de se servir du modèle en cours de conception comme médiateur à la discussion dans des collectifs hétérogènes (d'Aquino et al., 2001). Initiée par un groupe de travail du CIRAD, la modélisation d'accompagnement a d'abord essentiellement été appliquée dans des problématiques de développement, par exemple celle menée par P. d'Aquino au Sénégal sur la gestion des espaces et des ressources par des communes rurales (Bousquet, 2001). La distinction est faite entre deux contextes d'usage spécifiques : la production de connaissances sur des systèmes complexes et l'accompagnement de processus collectifs de décision. Alors que la première orientation correspond à une problématique de recherche sur des systèmes via une forme particulière de relation au terrain, la seconde correspond à de la recherche sur des méthodes visant à faciliter la gestion concertée de ces systèmes

La démarche a été formalisée à travers un collectif, ComMod, et une charte qui définit un cadre éthique et le fondement de la posture, précisant dans quelles conditions un modèle peut devenir objet médiateur dans le dialogue social pour explorer un champ de possibles (http://cormas.cirad.fr/ComMod/fr/). Plusieurs étapes ont été identifiés dans cette démarche (Bousquet et al., 1996) :

« La première étape, classique pour un ou des chercheurs, est celle de l'acquisition de connaissances sur le domaine d'étude pour « construire un monde artificiel ». […]Il s'agit d'identifier les différents acteurs, les différentes perceptions et d'utiliser les univers multi-agents pour une modélisation.
La deuxième étape est une étape de […] validation du modèle cognitif. Il s'agit de tester le modèle proposé pour le processus de prise de décision. C'est la mise à plat des représentations et des processus d'interactions entre les agents. En effet il est difficile de faire comprendre ce qui « a été mis dans la machine ». Par contre il est possible de mettre l'acteur en situation de l'agent qui est dans la machine, avec les hypothèses de représentation, ses communications et les contrôles constitutifs du modèle. Pour mener cette opération à bien, la méthodologie du jeu de rôle est utilisée. On fait évaluer le monde artificiel en y plongeant les acteurs c'est à dire en créant un monde semblable au modèle. […] Cette étape permet de dresser une carte des différents types d'acteurs, des différentes perceptions et des interactions, et d'en faire un savoir partagé
Une troisième phase est celle de la simulation. La simulation montre comment la dynamique du système est issue des interactions entre des acteurs qui ont des poids et des représentations différentes. On peut ici distinguer deux sous-phases. Dans un premier temps la simulation peut être effectuée sous forme de jeu de rôle, ce qui permet aux acteurs de valider le fait que c'est bien dans les interactions entre représentations différentes que se trouve le moteur de la dynamique du système. Cette première sous-phase permet aussi de faire émerger les différents scénarios intéressants à tester. Puis, cette phase étant acquise on peut utiliser le modèle multi-agent pour faire des simulations sous différents scénarios. Les simulations, tant "in ludo" que "in silico", participent ainsi à une autre phase de la démarche patrimoniale qui consiste, après avoir défini des objectifs de long terme, à envisager les différents scénarios qui pourraient y mener, à les tester et à en discuter les résultats. »

Cadre E-3 : quelques éléments de présentation de la démarche ComMod

[22] un agent est un processus informatique

1. Les objectifs de la démarche

Nous avons vu, dans la partie récapitulative qui ouvre ce chapitre que notre objectif renvoyait aussi bien à la mise en mouvement du modèle pour parvenir à un outil utilisable et utilisé qu'à la mise en mouvement des activités des différents participants à la démarche (utilisateurs et chercheurs).

Si nous nous intéressons aux objectifs affichés dans la démarche de modélisation « type », nous avons montré, dans le chapitre A, que les modèles étaient principalement conçus pour la recherche. De fait, la définition du problème à modéliser et des objectifs du modèle est généralement posée par le chercheur en regard de ses propres connaissances et de sa propre appréciation de la situation. Dans certains cas, l'objectif du modèle est même avant tout de rendre compte le plus fidèlement possible d'un processus sans passer réellement par un diagnostic définissant un angle d'attaque dans la façon de représenter le processus. C'est alors principalement sur sa capacité à reproduire le réel que le modèle va être questionné. Par rapport à notre étude du lien modélisation / usage, la démarche classique définit donc ses objectifs du côté de la modélisation et non de l'usage.

Malgré des affichages de participation des utilisateurs *a priori* similaires aux nôtres, les démarches de FARMSCAPE et ComMod renvoient à des objectifs qui sont également différents des nôtres. Dans le cas de FARMSCAPE, la focalisation des auteurs porte sur l'utilisation des modèles. Leur démarche est d'abord une démarche d'implémentation chez des acteurs et non une démarche de modélisation. Leur objectif premier est donc de développer une démarche permettant que la simulation basée sur l'utilisation du modèle APSIM soit une aide pour penser le travail ou l'organisation de l'exploitation agricole. Cela n'empêche pas que le modèle soit de fait remis en question, mais ce n'est pas un but recherché *a priori*. Les auteurs évoquent par exemple le fait que les séances de travail avec agriculteurs et conseillers ont permis de décider de voies d'amélioration ("*Farmers were the ones who recognised the value of deep soil monitoring and encouraged us to develop systems for them to use for themselves*") (Carberry et al., 2002). Mais les accents sont mis sur des points différents des nôtres. La modification du modèle est vue comme secondaire : les auteurs n'ont pas réfléchi à adapter le modèle aux utilisateurs, ils ne présentent pas la révision du modèle comme un enjeu et, s'ils sont prêts à compléter le modèle, ils ne semblent pas prêts à en revoir les fondements.

Dans le cas de la démarche ComMod, les objectifs des chercheurs[23] nous semblent également différer. Même si ces chercheurs affichent un objectif de production de connaissances, la connaissance produite sur le modèle est en lien avec la nature de la décision à prendre, la gestion collective des problèmes, le partage de solutions : « *Selon les situations, la production de connaissances ou de points de vue sur un système donné pourra se traduire par :*
– une amélioration de la connaissance des acteurs décideurs,
– une facilitation de la concertation entre acteurs (expert compris), au moyen d'un cadre de discussion et de partage de l'information, un échange de points de vue, de connaissances, de croyances entre acteurs,

[23] nous parlerons de chercheurs dans la suite pour référer aux personnes qui dirigent la démarche dans la modélisation d'accompagnement. Cela nous permet de faire un parallèle entre le statut de ces acteurs dans ComMod et celui des chercheurs dans notre démarche

La démarche mise en œuvre dans notre travail	Equivalents dans la démarche classique
Phase 1 : analyse de l'activité et prototypage	Diagnostic du problème à modéliser (étape 1, voir cadre E-1) Mise au point des formalismes (étapes 2, 3, 4) Paramétrisation (étape 5) Première validation du prototype : confrontation de ses résultats à ceux obtenus par la méthode de C. Lecomte) (étape 6)
Phase 2 : première utilisation de l'outil	Paramétrisation (étape 5) Evaluation par confrontation aux expérimentations et à l'expertise (étape 6)
Phase 3 : retour sur l'outil et le modèle	Evaluation du modèle en ramenant dans le champ de l'agronomie les discussions de la phase 2 (étape 6) Nouvelle phase de diagnostic, de réflexion sur les entrées/sorties et formalisation (étapes 1 et 3, 4)
Phase 4 : réflexivité sur le processus	

Tableau E-1 : comparaison de la structure de notre démarche à celle de la démarche "type" des agronomes

– *une aide à la négociation, visant ici un rapprochement de points de vue divergents dans une situation de conflit donnée.* » (collectif ComMod, 2005). Bousquet et al. (1996) présentent de fait leur objectif en ces termes : « *aider les acteurs à gouverner* ». La démarche ComMod est plutôt orientée vers la production de modèles « utiles » que de modèles « utilisables et utilisés » : les modèles doivent permettre le dialogue et la construction de solutions à des problèmes de gestion variés. La question de l'usage autonome du modèle, indépendamment des chercheurs qui participent à sa construction, n'est pas posée explicitement. Par ailleurs, les modèles biophysiques ou écologiques qui sont inscrits dans le simulateur ne sont pas questionnés en tant que tels. L'accord entre chercheurs et acteurs se fait finalement sur les processus (les agents informatiques) qui doivent être représentés dans le modèle autour d'un problème à résoudre, mais ne se fait pas nécessairement sur les connaissances scientifiques qui permettent d'en rendre compte et de les modéliser.

2. Une conduite de projet marquée par les itérations

La démarche « type » est souvent présentée comme un processus linéaire, enchaînant différentes étapes pour arriver à un modèle validé. Pourtant cette vision est simplificatrice ainsi que le soulignent des agronomes comme Watts et al. (1999) à propos de la conception du modèle RZWQM par exemple. Dans ce travail, les auteurs insistent sur les nombreux allers retours qu'ils ont effectués pour améliorer leur modèle. Celui-ci a été évalué sur une gamme large de situations et les ajustements faits en réponse à des problèmes dans une situation particulière ont été systématiquement évalués pour l'ensemble des autres situations testées. Le recours à des itérations est aussi très fréquente dans l'étape de paramétrisation de la conception classique : de nombreux auteurs évoquent la nécessité de faire des allers-retours entre la bibliographie, les données expérimentales, l'expertise pour établir la valeur des paramètres (e.g. Smith et al., 1996 ; Donatelli et al., 2003 ; Fukui, 2005). Notre façon de considérer l'existence de ces itérations est différente. Alors que, dans l'exemple de la paramétrisation que nous donnons, elles ont pour vocation de confronter des données diverses pour arriver à une valeur du paramètre que le modélisateur jugera fiable, nous travaillons avec l'idée que la valeur du paramètre pourra varier mais être fiable à chaque fois selon le moment de travail avec les utilisateurs, selon notre progression dans le projet de conception, selon les données testées dans le modèle.

De manière plus globale, si nous positionnons notre démarche par rapport aux étapes de la démarche « type », (tableau E-1), nous constatons que nous avons parcouru plusieurs fois les différentes étapes. Le choix que nous avons fait de travailler avec les acteurs de l'évaluation variétale pour concevoir un modèle d'aide à l'évaluation des variétés nous a amenée à considérer le premier modèle comme un modèle susceptible de changer et non comme un modèle définitif. Nous avons donc parcouru les étapes de la démarche une première fois pour mettre au point le prototype informatique. Dans ce cadre, nous avons réalisé une première mise au point des formalismes, paramétrisation et validation. Nous les avons parcourues une seconde fois pour revenir sur le modèle en fonction des remarques des acteurs. En réalité, l'étape de validation intervient même trois fois : une première fois pour valider le prototype par rapport à la méthode de C. Lecomte[24], une seconde fois lorsque le prototype est confronté aux acteurs et une troisième

[24] La première validation peut sembler se limiter à une validation du prototype informatique mais le fait d'interagir avec C.Lecomte dans cette étape a conduit à changer quelques formalismes, à revoir une première fois la gamme de

fois lorsque les agronomes reprennent le contenu des discussions qu'ils ont eues avec les acteurs pour remettre en question le modèle de DIAGVAR.

Ces répétitions d'étapes sont de fait des itérations dans le processus de conception. Si notre démarche peut être vue comme une unique boucle de conception (comme représentée sur les schémas du chapitre B), force est de considérer qu'au sein de cette méta-boucle, nous avons opéré trois boucles à l'échelle des interactions avec les acteurs: interaction avec les acteurs en phase 1, retour sur le modèle pour le programmer dans un prototype en fin de phase 1, nouvelle interaction avec les acteurs en phase 2, retour vers le modèle en phase 3, nouvelle interaction avec les acteurs en phase 4. En considérant une échelle plus fine, les boucles se multiplient encore : nous pouvons en distinguer une multitude, constituées d'enchaînements « diagnostic d'un problème / reprise des formalismes / évaluation des solutions ». Ces boucles ne résultent pas nécessairement d'un mauvais diagnostic de départ des problèmes : il n'est simplement pas possible d'anticiper les conséquences de l'usage car cet usage ne peut être complètement anticipé et apparaît au fur et à mesure du processus de conception dans la confrontation aux activités.

Réfléchir le processus de conception comme un processus itératif est donc renforcé lorsque modélisation et usage sont mis en rapport du fait de l'importance donnée à la situation dans laquelle le modèle sera mis en action. En témoignent les démarches de FARMSCAPE et de ComMod dans lesquelles il existe aussi des itérations. Les chercheurs développant la démarche ComMod en parlent comme d'une «*confrontation continue et itérative entre théories et terrains, au travers de constants va-et-vient* » (ComMod, 2005). Le chercheur débute avec un premier modèle, qui pose ses préconceptions théoriques et vis-à-vis du terrain. Puis, les confrontations à la réalité des acteurs lui font réviser ce modèle, pour mieux prendre en compte le terrain et les questions que se posent les acteurs. Les auteurs de FARMSCAPE décrivent des itérations à une échelle plus large, celle du projet. Après un premier projet entre 1991 et 1995, FARMSCAPE s'est mis en place et les auteurs y distinguent deux phases : l'une de mise en place de la méthodologie de travail avec les acteurs, l'autre s'intéressant aux modalités de commercialisation et de diffusion à grande échelle. Les auteurs relatent bien, dans l'article Carberry et al. (2002), la diversité des voies explorées, les errements parfois, les remises en question de leurs objectifs et de leur façon de faire, chaque remise en question les poussant à redéfinir et relancer leur travail. Même si les échelles décrites ne sont pas les mêmes, nous voyons que c'est la confrontation au terrain qui crée la nécessité de ces itérations. Les auteurs cherchent par celles-ci à se rapprocher de la réalité.

3. Le rôle conféré au modèle dans la démarche et notamment dans les simulations

La mise en scène de notre modèle *via* un prototype est centrale dans notre travail, par rapport à nos objectifs et nos attentes. Si ce processus est absent de la démarche « type », la mobilisation d'un prototype est présente dans les démarches FARMSCAPE et ComMod qui, de fait,

facteurs limitants, à retravailler parfois sur les seuils d'action des variables grâce aux nouvelles données expérimentales collectées, etc. D'autre part, nous avons expliqué dans le chapitre démarche (partie I, § 3.4) que nous avions dû modifier certains outils statistiques et fonctionnalités de l'outil pour programmer le prototype dans les délais. Si la première validation renvoie donc beaucoup à une validation liée au passage d'un modèle à un outil, elle a également contribué à retravailler le modèle.

construisent la participation des utilisateurs autour de l'utilisation de modèles agronomiques ou écologiques.

Dans le projet FARMSCAPE, le modèle APSIM est mis en œuvre pour explorer différentes options de l'itinéraire technique d'une culture, dans des réunions interactives avec des agriculteurs et leurs conseillers techniques, ou directement chez les agriculteurs, avec l'assistance d'un chercheur du APSRU (Agricultural Production Systems Research Unit). Les auteurs appellent ces réunions des 'What-if ? Analyses and Discussions' (WifADs) (voir cadre E-2). On retrouve dans ces réunions l'idée de créer des discussions autour des sorties d'un modèle utilisé sur des données réelles. Mais puisque l'objectif de la démarche est que les acteurs s'approprient l'outil « simulation » pour penser le changement et non pas de questionner le modèle et les activités, la simulation se déroule différemment. Là où notre simulation visait à confronter les résultats du modèle à l'expertise des acteurs, à mettre en évidence les contradictions au sein de la dimension instrumentale de l'activité, les simulations faites sur APSIM sont essentiellement prospectives : l'acteur y teste des combinaisons de techniques qu'il n'a pas mises en place en réalité. Il n'a donc pas les moyens de critiquer le modèle qui reste une boite noire. Ce n'est que lorsqu'il est spécifiquement interrogé sur une sortie que le chercheur explique le fonctionnement du modèle pour arriver à ce résultat alors que nous avons de notre côté essayé de rendre le modèle explicite lors de la phase de simulation, dès le premier temps de découverte du prototype. Là où notre simulation visait à développer l'activité de façon systémique en encourageant les discussions des collectifs pour que les acteurs construisent une compréhension plus large de ce qui était discuté, les simulations de FARMSCAPE ne se focalisent pas sur la façon dont les changements techniques s'insèrent globalement dans l'activité de l'agriculteur. Sur ce point, il faut peut-être nuancer, du fait de la présence du conseiller technique pendant les simulations. A notre sens, le conseiller a été inclus dans les séances de simulation pour être intéressé à l'utilisation de la simulation comme outil de conseil. Mais il est possible que le conseiller ait pu avoir un regard critique sur le test de certaines solutions techniques, aidant ainsi l'agriculteur à se poser la question de la faisabilité, de l'organisation, etc. Néanmoins, le fait que nous n'ayons pas d'indications des auteurs sur ce point montre qu'ils n'avaient pas réfléchi leur façon de construire les simulations par rapport à cette idée. Cette mise en scène du modèle différente de la nôtre résulte donc directement des objectifs que les chercheurs ont par rapport au modèle.

Dans le cas de ComMod, le modèle est également mis en discussion et testé dans des collectifs d'acteurs pour produire une solution de compromis entre acteurs. Le modèle prend alors un rôle de médiateur dans des collectifs d'acteurs hétérogènes aux prises avec une situation complexe : il permet d'éclairer des positions, des représentations, des points de vue différents. De ce fait, le modèle va être rendu visible et questionné jusqu'à ce que les différents participants soient d'accord sur les processus représentés dans le modèle. Il y a donc bien un enjeu sur le modèle en tant que tel dans la démarche ComMod comme dans notre propre approche. Cependant, alors que, dans notre cas, le modèle est rendu visible pour savoir si les connaissances scientifiques qu'il intègre représentent une situation de façon opérative, dans la démarche ComMod, ce processus est orienté par l'objectif de faire interagir les acteurs du collectif et de les faire construire une solution au problème de gestion traité. C'est le chercheur qui manipule le modèle, produit les résultats des simulations et les communique – en temps réel ou non – aux acteurs. Ceux-ci valident ou non les sorties du modèle en les confrontant leur représentation de la situation

modélisée (ou réagissent aux sorties du modèle en adaptant leur position). S'il n'y a pas d'accord, le modèle est retravaillé par le chercheur pour permettre in fine d'arriver à un consensus sur la représentation fournie pour modéliser la situation. Si les deux démarches reposent sur l'idée de mettre en scène le modèle dans des collectifs d'acteurs, elles diffèrent par la place que cette modalité de travail avec les acteurs occupe dans la démarche. Dans notre démarche, cette dynamique collective créée autour de l'outil est associée à des moments où chaque participant peut s'approprier l'outil. Plus fondamentalement, la dynamique collective autour de l'outil vise à rendre perceptible aux différents participants leur activité respective et la façon dont elle est mise en mouvement par l'outil. Dans la démarche ComMod, le débat s'organise d'abord autour du problème, de la façon de le représenter, et de la façon de le dépasser. Nous sommes donc en présence de trois démarches participatives qui utilisent la mise en scène d'un modèle agronomique ou écologique mais la conçoivent et la mettent en œuvre de façon différente. Dans la perspective qui est la nôtre, le prototype, mais aussi le modèle qui le sous-tend, peuvent être totalement remis en question par ce qu'en disent et en font les utilisateurs.

Notons que construire un processus de conception autour d'un prototype avec l'idée qu'il peut être complètement remis en question est ingrat. La mise au point du prototype et sa programmation constituent un travail long, complexe, coûteux puisqu'il nécessite souvent d'avoir recours à des compétences extérieures. La mise au point d'un prototype arrive donc généralement comme un aboutissement d'un travail de recherche autour d'un modèle : le chercheur considère que le modèle est terminé et qu'il faut en assurer son développement vers ses utilisateurs potentiels. Ici, l'étape de programmation est une étape de la conception elle-même et c'est un travail qui est amené à être détruit. Dans notre cas, le prototype, initialement programmé en C++, est en train d'être reprogrammé entièrement, par au moins un de nos trois groupes d'acteurs et par des chercheurs agronomes, dans un langage qui permettra davantage d'interactivité et qui n'utilisera plus aucun logiciel payant (ce qui devrait faciliter son adoption). L'option de passer par un prototype est donc frustrante. Pour autant, elle est pour nous incontournable. Il existe certainement des façons de mieux gérer la création du prototype pour qu'elle soit moins coûteuse, c'est en les trouvant que les agronomes pourront être totalement réceptifs à ce genre de démarche. Les chercheurs de ComMod semblent avoir trouvé, dans l'utilisation des SMA, un moyen plus souple de programmer leurs prototypes. La question se pose de trouver un équivalent pour notre modèle qui est largement basé sur des outils statistiques.

Outre l'exploration de solutions informatiques plus flexibles que le langage que nous avons retenu, il nous semble important de réfléchir au niveau d'aboutissement que doit atteindre le prototype. Si l'étape de mise en scène et en action du prototype est essentielle pour produire des interrogations sur le modèle, elle ne repose cependant pas uniquement sur le prototype. La capacité du prototype à produire ce type de résultat dépend de fait de la démarche de mise en scène qui est adoptée et de la place qu'y occupe l'usage effectif du prototype. La manipulation du prototype semble essentielle, mais elle ne nécessite pas un degré d'informatisation nécessairement très poussé. Dans notre cas, le fait d'avoir un modèle repose sur un traitement statistique qui rendait l'informatisation du prototype incontournable pour que les acteurs acceptent de « jouer » avec le modèle sur leurs propres bases de données. Mais ceci n'est pas toujours nécessaire. Ce qui est clé pour nous dans une démarche de conception d'outil permettant le développement conjoint de l'outil et des activités n'est donc pas l'existence d'un prototype informatisé, mais la

mise au point d'une simulation qui permette de travailler avec les acteurs sur la dimension instrumentale de leur activité. Nous avons fait des propositions qui peuvent être réutilisées pour concevoir une telle simulation : analyse de l'activité, place de la dimension instrumentale dans l'activité, identification des contradictions qui peuvent s'y exprimer. De tels éléments nous semblent importants à mettre en œuvre dans un projet ingénierique de conception d'outils.

4. L'importance du travail collectif avec les utilisateurs

Un autre aspect fort de notre démarche réside dans le fait de travailler avec des utilisateurs hétérogènes, appartenant à des entreprises et structures différentes mais fortement en interaction les uns avec les autres. Les trois structures auxquelles appartiennent nos acteurs font système : les acteurs des trois structures travaillent en très forte collaboration les uns avec les autres, partagent des ressources expérimentales, se retrouvent dans de nombreuses instances de concertation, etc. De ce fait, travailler avec plusieurs groupes d'acteurs d'un même système a aidé à motiver le travail autour de l'outil et à créer une émulation intéressante. Mais outre cet aspect d'efficacité, nous pensons qu'il y avait également une vraie nécessité à travailler de concert, puisque l'activité des acteurs pouvait être remise en mouvement par notre travail et que cette activité les relie fortement les uns aux autres. Ainsi travailler avec des acteurs hétérogènes est une conséquence d'avoir voulu impliquer les différents tenants d'un système d'activité plus large et cohérent. Parler d'hétérogénéité dans notre cas nécessite quelques nuances. Les utilisateurs présents partageaient une même activité, l'évaluation variétale, qui est également un objet de recherche des chercheurs. Utilisateurs et chercheurs possédaient un niveau relativement homogène de connaissances sur les phénomènes modélisés par l'outil. Tous partageaient des façons de travailler par le fait qu'ils étaient amenés à travailler ensemble régulièrement. Nous sommes donc dans une hétérogénéité « relative ». L'hétérogénéité touche davantage aux objectifs au sein de l'activité d'évaluation (et de cette activité par rapport à l'activité de recherche), à la diversité des outils utilisés par les différents acteurs, chacun ayant développé sa propre expertise et ses propres formes de raisonnement par rapport à ses actions.

Cette attention à la structuration de l'activité dans sa dimension collective n'apparaît pas dans la démarche FARMSCAPE. Si les auteurs expliquent avoir travaillé avec plus de 230 agriculteurs, répartis en 28 groupes et avec des conseillers techniques, ils n'insistent pas dans leur description sur les aspects collectifs du travail. Leur description des réunions WifAd (voir cadre E-2) reprend d'ailleurs un exemple de réunion où un seul agriculteur est présent, avec un seul conseiller. Les relations des agriculteurs entre eux et les réseaux établis par les conseillers techniques ne sont pas présentés comme structurants dans la façon d'organiser le travail de simulation. Seul un élément nous montre que les auteurs ont été amenés à réfléchir sur leurs choix par rapport à la participation. Ils relatent avoir dû se justifier par rapport à des critiques les accusant de ne travailler qu'avec un type d'agriculteurs, en l'occurrence les agriculteurs les plus importants et les plus innovants. Leur réponse consiste à dire qu'ils ont travaillé avec les personnes les plus ouvertes au travail qu'ils proposaient. Cet argument, tout à fait recevable, montre qu'ils ont structuré la participation en fonction de critères d'ouverture et de disponibilité, et qu'ils n'ont pas retenu des critères liés aux dynamiques collectives présentes parmi les acteurs potentiels. Quant au choix d'impliquer les conseillers dans la participation, il nous semble avoir été guidé principalement par la volonté de transférer l'outil « simulation » aux structures de conseil

(l'objectif était en effet que ce soit les conseillers qui effectuent par la suite le travail de simulation fait sur APSIM par les chercheurs) afin que la démarche soit relayée et diffusée largement.

Le cas de ComMod est un peu différent dans le sens où la nature du collectif qui participe est décisive, étant donné l'enjeu de la démarche. Le point de départ de constitution du collectif est fixé par le problème de gestion qui est en débat dans la démarche. L'idée principale est de constituer ces collectifs en représentant l'ensemble des acteurs prenant des décisions qui influent sur le problème à traiter. Par exemple, dans un problème de colonisation par les pins d'un espace naturel protégé et utilisé par différents métiers (exemple du Méjanjeu , Etienne et al. (2003), ont été impliqués des forestiers, des agriculteurs, des naturalistes et des représentants de l'état. L'hétérogénéité du collectif est recherchée et le modèle constitue justement une façon de dépasser l'hétérogénéité. Mais là encore, nous avons peu d'informations sur l'attention particulière qui est portée ou non à la structuration de l'activité et aux relations qui se nouent entre les acteurs pour des configurations particulières du problème ,dans l'espace considéré par exemple. Désigner de façon globale des usages de l'espace, est-ce suffisant pour identifier comment ces usages et ceux qui les mettent en œuvre se coordonnent ? Dans une démarche proche de la notre, une première étape serait donc de repérer des configurations d'usages et d'acteurs avant même de constituer les collectifs.

Cependant, on peut penser que la constitution de collectifs hétérogènes, dans ComMod comme dans notre démarche, rend possible un développement horizontal (voir chapitre D). En revanche, les collectifs construits dans FARMSCAPE visent avant tout un développement vertical des agriculteurs (développement de leurs connaissances techniques par exemple). Arriver à produire un développement horizontal est une réelle source de richesse de notre point de vue dans une démarche de conception d'outils. C'est en croisant les remarques des différents groupes d'acteurs sur le prototype, son interface et le modèle sous-jacent, que nous avons pu cibler les problèmes posés par le prototype. C'est en croisant les impressions des différents acteurs et des différents groupes d'acteurs que nous avons réussi à prendre suffisamment de recul par rapport à leurs questions pour en tirer des problèmes scientifiques. C'est en confrontant les retours qu'ils nous ont faits en phase 4 que nous avons réussi à tirer les dimensions invariantes des changements les ayant affectés et nous permettant ainsi de mieux identifier ce qui pouvait être pris en charge par les acteurs et ce qui devrait évoluer dans l'outil. Il n'est pas si fréquent pour les agronomes modélisateurs de réaliser un travail de conception impliquant différents groupes d'acteurs en même temps. Certes, la négociation des formes de partenariat et de travail s'en trouve compliquée. Certes, refaire un même travail avec différents groupes d'acteurs peut entraîner une lassitude et une tendance à imaginer ce que les acteurs vont dire puisqu'on a déjà vu réagir d'autres groupes sur le même thème (on est alors moins à l'écoute de ce que l'acteur peut dire de différent). Mais, *in fine,* nous avons montré que l'agronome peut valoriser ce processus de travail pour développer l'outil et sa propre activité.

5. La conceptualisation de la variabilité liée au modèle que nous travaillons

Ce paragraphe vise à discuter de la façon dont les conceptualisations de nos objets de recherche d'agronome ont été mises en mouvement dans ce travail. En tant qu'agronome, nous avons

régulièrement été perturbée par la complexité de la variabilité des situations qui se présentaient à nous : variabilité des acteurs et de leurs attentes bien sûr ; variabilité aussi des données qu'ils recueillaient sur les essais, de la nature de leurs réseaux d'essais et de leurs façons d'analyser ces informations ; variabilité enfin des facteurs limitants, à choisir parmi une gamme très importante de facteurs potentiellement limitants, corrélés les uns aux autres et dont l'effet ne peut être validé a posteriori[25]. En avançant dans le processus, nous avons d'autant plus ressenti cet inconfort lorsque nous avons dû résoudre le problème de l'instabilité des résultats de DIAGVAR en fonction de la variabilité des combinaisons d'essais introduites dans l'outil sans savoir définir un bon fonctionnement de l'outil. En choisissant d'emblée d'appréhender cette variabilité dans toute sa complexité, nous avons évolué sur la façon de l'intégrer dans nos démarches et nos objets de recherche. Au début du travail, face à une variabilité de situations, nous cherchions le modèle qui les inclut toutes. Face à une variabilité de résultats, nous cherchions le résultat « juste », sans avoir vraiment de critères pour en juger. Face à une variabilité dans la façon de concevoir les réseaux, nous cherchions les invariants de ce qu'est un réseau. Or, ce travail nous a fait évoluer sur ce point, même si le changement reste à investiguer et à mieux formaliser. Le recours à la méthode BMA nous paraît éclairant à ce sujet. Plutôt que de chercher le bon et « unique » modèle reliant les indicateurs de facteurs limitants aux pertes de rendement, nous avons proposé de considérer un modèle fondé sur une moyenne pondérée de l'ensemble des modèles possibles. Nous avons ainsi traité différemment le problème de la variabilité en l'intégrant dans notre travail plutôt qu'en cherchant à la réduire.

Cette remise en question de notre façon de traiter la variabilité est à relier au type de modèle sur lequel nous avons travaillé et à la complexité des formes de variabilité qu'il engendre. Notre modèle est un modèle d'analyse des données existantes, qui n'est pas fixé a priori mais qui dépend des données sur lesquelles il est appliqué. Cela induit un rapport aux données différent de celui créé par un modèle prédictif puisque nous sommes soumise à la nécessité de produire un modèle qui s'adapte à des jeux de données potentiellement variables. Par opposition, la plupart des modèles prédictifs sont souvent produits pour des situations restreintes (et nécessitent d'ailleurs souvent des adaptations pour pouvoir s'adapter à de nouvelles situations, d'où le nombre important d'articles recensés dans la bibliométrie qui portent sur la paramétrisation de modèles dans des nouvelles situations) ou inversement, les modèles sont conçus et fixés pour couvrir d'emblée une très large gamme de situations. Ils incluent alors généralement de très nombreux formalismes pour en rendre compte, nécessitent de nombreux paramètres et peuvent perdent en qualité prédictive à cause des incertitudes liées à chacun de ces paramètres (e.g. Jeuffroy et al., 2006). D'autre part, notre modèle prend en compte l'ensemble des facteurs limitants possibles du rendement, là où les modèles agronomiques traitent peu des effets climatiques par exemple. C'est donc un modèle intégrant par nature une variabilité supplémentaire. C'est donc à la fois le type de modèles que nous travaillons et notre façon de mener le projet de conception qui nous a conduite à repenser notre rapport à la variabilité.

[25] Il n'est pas possible de valider un diagnostic du rendement a posteriori à moins d'avoir fait un suivi extrêmement précis de toutes les conditions de production et de toutes les composantes du rendement

La démarche « cooperative prototyping » (Bodker et Gronbaek, 1991, 1996)

Cette démarche s'appuie sur la manipulation d'un prototype de l'objet en cours de conception par les utilisateurs pour mieux tenir compte de leurs attentes et leurs contraintes. Cette méthode, proposée par Bødker et Grønbæk (1991) repose sur l'idée d'utiliser des outils de conception, informatiques et flexibles, qui soient manipulables directement et qui simulent les fonctionnalités de l'objet en cours de conception. Une telle démarche va de ce fait plus loin dans l'implication des utilisateurs que les méthodes de prototyping classiques où l'implication de l'utilisateur reste souvent limitée à une évaluation passive basée sur des démonstrations ou à des tests visant à établir si les programmes respectent leurs spécifications (Grønbæk, 1989). Trigg et al. (1991) définissent la méthode de la façon suivante : "*The goal of cooperative prototyping is to establish a design process where users and designers participate actively and creatively based on their respective qualifications".* Le statut du prototype est défini comme support d'apprentissage mutuel et il est remis en question dans le cours du travail avec les acteurs: *« Initial prototypes support a mutual learning process where the participants' visions are made concrete with respect to core tasks in the users' work domain. Prototypes are modified, thrown out, or built anew in an iterative process that increases all participants' understanding of both the relevant technological possibilities and the users' work practice. Activity around the prototype generally involves either exploration of design ideas and users' work practice or work-like evaluation of prototypes. […] When possible, breakdowns involving the prototype's design lead to in-session modifications in cooperation with the users. Deeper breakdowns lead to new versions of the prototype developed by the designers between prototyping sessions. Ideally, cooperative prototyping should be performed by a small group of designers and users with access to flexible computer-based tools for rapid prototype development and modification*." (Trigg et al., 1991)

Cadre E-4 : quelques éléments de présentation du "Cooperative Prototyping"

III. Positionnement de notre démarche par rapport à d'autres formes de conduite ergonomique de projet de conception

Parallèlement à la partie précédente, nous souhaitons mettre notre démarche en perspective de travaux d'ergonomie ayant développé des démarches de conduite de projet pour la conception d'un outil. Notre outil étant un logiciel, nous avons trouvé intéressant d'intégrer à cette comparaison des travaux publiés dans le champ des interactions homme machine. L'Interaction Homme-Machine (IHM) se réfère à l'ensemble des phénomènes cognitifs, matériels, logiciels et sociaux mis en jeu dans l'accomplissement de tâches sur support matériel (machine, système). L'IHM est reconnue en France comme domaine de recherche depuis une vingtaine d'années. Tandis que ses débuts étaient consacrés à une maîtrise méthodologique et technique de son ingénierie, les progrès technologiques ouvrent aujourd'hui de nouvelles voies : une large variété d'utilisateurs, de plates-formes, d'environnements et d'applications confèrent désormais davantage d'importance aux situations d'usage (Calvary, 2002). Le développement de systèmes interactifs pose toujours un certain nombre de problèmes en dépit des progrès considérables réalisés ces dernières années : problèmes de planification, de coût, d'expression des besoins. La recherche sur les IHM a produit des méthodes de conception explicites (elles ont des objectifs, des procédés et des formalismes précis), structurées (en dissociant la spécification de l'implémentation) et d'aide à la planification des tâches (elles indiquent quelles décisions prendre et à quel moment). Elles ont pour but d'accroître l'efficacité des systèmes construits en aidant à gérer la complexité, en augmentant la communication entre les équipes, en aidant à la prise de décision et en intégrant une assurance qualité. Des exemples de telles méthodes sont : MERISE[26], JSD ou UML. Mais ces méthodes restent à dominante fonctionnelle plutôt qu'opérationnelle et considèrent peu les ressources nécessaires pour que les utilisateurs reconfigurent leur activité en mobilisant le nouveau logiciel. Calvary (2002) évoque, à la décharge des personnes concevant et utilisant ces méthodes, le fait qu' « *aucun modèle unique et complet n'émerge des Sciences Humaines pour une appréhension scientifique et globale des caractéristiques cognitives, physiologiques, physiques, sociologiques de l'utilisateur* ». La question est donc posée de la façon d'intégrer les sciences humaines au champ des IHM. C'est une problématique largement explorée et qui a donné naissance à d'autres méthodes de conception tenant davantage compte des utilisateurs et intégrant les facteurs humains. Calvary (ibid.) en parle comme de « méthodes centrées utilisateur ». Néanmoins, là encore, il existe une grande diversité. Les approches centrées utilisateurs ne font pas systématiquement intervenir l'utilisateur comme un acteur à part entière de la conception : beaucoup s'appuient sur des représentations de l'utilisateur (Darses et Reuzeau, 2004). Nous avons donc choisi de nous intéresser plus particulièrement à deux formes de conduite de projet de conception. La première est la démarche de «cooperative prototyping» (cadre E-4) qui reprend l'idée de la simulation sur un prototype. Pour préfigurer l'impact des futurs dispositifs sur les pratiques de travail, le travail futur est simulé à l'aide de prototypes dans l'objectif de

[26] A titre d'exemple, MERISE est une méthode de conception, de développement et de réalisation de projets informatiques dont le but est d'arriver à concevoir un système d'information. Elle est basée sur la séparation des données et des traitements à effectuer en plusieurs modèles conceptuels et physiques, ce qui assure une longévité au modèle. En effet, l'agencement des données n'a pas à être souvent remanié, tandis que les traitements le sont plus fréquemment.

La méthode MUSE (Method fur Usability Engineering) (Lim et Long, 1994)

Les auteurs de cette méthode visaient la production d'une méthode de conception logicielle générique intégrant des éléments de l'ergonomie des facteurs humains en ne se contentant pas d'une confrontation tardive entre produit informatique et utilisateurs pour améliorer l'efficacité de la conception et l'intérêt du produit conçu. L'application de MUSE s'étend de l'analyse des besoins à la conception de l'interface, elle pose la nécessité d'intégrer le champ des facteurs humains dans la spécification et l'évaluation de la conception. Elle spécifie des procédures, des notations, des documents à considérer. Elle permet ainsi d'intégrer l'ergonomie dans des méthodes structurées de spécification informatique qui restent pertinentes pour l'automatisation de tâches procédurales, c'est-à-dire pour des tâches pour lesquelles il est possible de décrire les différents chemins permettant d'atteindre le but. Les auteurs insistent beaucoup sur le caractère structural de la démarche, visant à fournir au concepteur un plan efficace de conception. Pour autant, leur démarche d'analyse structurée n'exclue pas les itérations ou les allers-retours : l'analyse vise en fait à faire produire aux concepteurs la « meilleure première solution possible », qui sera alors remise en mouvement dans les itérations propres à toute démarche de conception. La structuration sert en fait l'efficacité du processus mais aussi sa généricité. Lim et Long (1994) présentent ses caractéristiques de la façon suivante :

- Le support procédural fourni est complet par rapport au cycle de conception du système.
- Le développement du système est décliné en phases qui sont définies explicitement par rapport à leur objectif, leur procédure et leur évaluation. En conséquence, le développement du système induit la production de produits intermédiaires de la conception.
- Les problèmes indépendants de la conception sont traités séparément. Ainsi, l'analyse de la conception est entreprise avant la mise au point de spécifications puis l'implémentation.

La méthode est définie en trois phases principales qui doivent chacune aboutir à des productions bien définies. Nous en avons reproduit ci-dessous des détails pour montrer la forme de la méthode, fortement liée au projet informatique de conception :

- Phase d'analyse et de recueil des informations : Cette phase fournit une conception préliminaire à partir de l'analyse des systèmes existants et des modèles de tâche généralisés :

(1) analyse des systèmes existants : le terme système existant recouvre la notion de systèmes déjà réalisés lors d'une précédente conception et l'ensemble des systèmes déjà réalisés dans des domaines proches de celui analysé. Il s'agit de déterminer les informations de base pour la conception en recueillant les caractéristiques du système actuel et établir les caractéristiques du système actuel à porter dans le système futur ;

(2) modèle de tâche généralisé : cette étape permet de synthétiser les informations de l'étape précédente. Elle produit un modèle de tâche généralisé du système existant et du futur système. Cette étape utilise les procédés de décomposition, abstraction et généricité. Elle fournit des diagrammes structurés ainsi que des tables de description.

- Phase de synthèse de la conception : elle fait le lien entre l'explicitation des besoins de l'utilisateur et les modèles de tâche de l'utilisateur et du système. Elle produit des spécifications conceptuelles du système :

(1) explicitation des besoins de l'utilisateur : Cette étape synthétise les conclusions établies à partir de l'analyse des systèmes existants avec les besoins de l'utilisateur tels qu'explicités par l'ergonome ;

(2) modèle de tâche composite : Cette étape met à plat les tâches conceptuelles en faisant une distinction stricte entre les composants de tâches interactives et manuelles ;

(3) modèle de tâche du système et de l'utilisateur : Cette étape utilise des procédés permettant de décomposer et de détailler les produits des étapes précédentes. Elle produit des diagrammes structurés et des tables de descriptions.

- Phase de spécification : Cette phase produit la spécification détaillée du système cible, c'est-à-dire de l'interface utilisateur. Cette interface intègre toutes les caractéristiques de l'utilisateur et des modèles de tâche établis lors des étapes précédentes :

(1) modèle d'interaction : cette étape spécifie comment les entrées vont être effectuées pour les tâches interactives.

(2) modèle de l'interface : cette étape spécifie le comportement des objets à l'écran en fonction des entrées de l'utilisateur et des changements d'états des attributs des entités représentant le monde réel.

(3) modèle des écrans : cette étape regroupe les modèles des étapes précédentes ainsi que les sous-systèmes d'entrée et les sorties d'informations pour déterminer la composition et la présentation des écrans, ainsi que le contenu et la localisation des messages d'erreur, d'aide et de retour d'information

Cadre E-5 : quelques éléments de présentation de la méthode MUSE

permettre aux utilisateurs et aux concepteurs d'explorer ensemble les formes et les fonctionnalités des applications, et leur adéquation au travail visé (Darses et Reuzeau, 2004). C'est dans ce sens que le prototypage est défini comme coopératif. La deuxième forme de conduite d'un projet de conception est la méthode MUSE de Long et Lim (cadre E-5). Cette méthode propose une façon d'intégrer des considérations d'ergonomie dans les démarches classiques de conception d'interface. Elle se distingue par sa position de partir des démarches de conception d'IHM classiques pour y intégrer de l'ergonomie (et non pas de partir d'une vision d'ergonome ou de sciences sociales qui définirait la démarche à suivre et qui serait ensuite adaptée au cas des IHM).

1. Construire la place de l'ergonomie dans une démarche de conception existante

Le premier aspect qui nous semble intéressant à discuter réside dans la façon d'intégrer une préoccupation ergonomique dans une démarche de conception pré-existante. Comparer notre démarche à la méthode MUSE nous semble particulièrement intéressant car MUSE pose explicitement cette question d'introduire l'ergonomie dans les démarches de conception de logiciel. De fait, les auteurs ont cherché à concevoir une méthodologie qui puisse s'inclure facilement dans les procédures habituelles des entreprises concevant des IHM. La méthode propose des actions clés pour enrichir les étapes classiques de la conception de logiciel : elle respecte les étapes de la conception informatique en proposant à chaque étape une façon d'introduire l'ergonomie. Cette « introduction » se fait essentiellement à partir d'une formalisation de la tâche et des besoins des utilisateurs, sans qu'une analyse de l'activité soit particulièrement mise en avant.

Notre façon d'articuler approche ergonomique et démarche de conception agronomique n'a pas visé à respecter la démarche « type » de conception de modèles en agronomie. Nous n'avons pas proposé de reprendre chaque étape du processus et d'y intégrer des préoccupations relevant de l'usage. Si, comme nous l'avons montré précédemment, nous pouvons repérer dans nos phases les étapes de la démarche classique, nous ne cherchons pas pour autant à nous y conformer. Pourquoi avoir fait le choix dans MUSE de se baser sur les démarches existantes et réfléchir à la façon d'y introduire de l'ergonomie ? Nous pensons que cela relève d'un problème d'efficacité et de configurabilité chez les concepteurs, utilisateurs potentiels de la démarche MUSE. Il s'agit d'une forme de réalisme : plutôt que de prétendre révolutionner d'emblée les méthodes de conception logicielles, il peut être moins perturbant et plus accessible pour les concepteurs de leur proposer de compléter leur travail existant pour y intégrer des éléments de l'ergonomie. De ce fait, la structuration de la démarche sert en fait l'efficacité du processus mais aussi sa généricité. Cet argument nous semble important car il pose le problème de la configurabilité des méthodes de conception : la démarche de conception que nous proposons peut-elle effectivement être implémentée par les agronomes ? J.Long (Com. Pers) signale tout de même que si sa méthode a été largement testée, approfondie, transférée aussi à des entreprises, il a constaté souvent que les acteurs l'avaient « cannibalisée », modifiée en l'intégrant à leurs propres méthodes de conception. Malgré sa généricité, la méthode doit donc aussi être adaptée aux méthodes de conception à l'œuvre dans un contexte organisationnel donné. C'est ce que nous avons appelé la « configurabilité ».

En réalité, il nous semble que notre proposition d'ergonome fait plus que proposer des outils méthodologiques innovants visant à dépasser une approche de la tâche et des besoins des utilisateurs pour permettre d'intégrer une approche de l'activité et de son développement. Ainsi, la démarche que nous proposons vise à intégrer dans la conception agronomique des questions relatives à la cristallisation d'un modèle d'activité, à la plasticité liée à la diversité des usages et des utilisateurs, et au développement des activités. Ce faisant, nous adoptons une position constituant l'ergonome comme un acteur de la conception au même titre que les autres concepteurs. Nous nous situons dans le cadre d'une ergonomie *pour* la conception telle que la définissent Béguin et Cerf (2004). Dans un tel cadre, il nous semble important que l'ergonome contribue à inscrire dans le processus de conception les questions relatives à la cristallisation, à la plasticité et au développement. Il doit également s'attacher à faire des propositions opératoires de conception en sachant faire évoluer les questions relatives aux trois objectifs pour intégrer au processus une prise en compte de l'activité et de son développement. Pour ce faire, nous nous sommes fondée sur la théorie des activités instrumentées et la théorie de l'activité historique et culturelle, ce qui nous a conduite à proposer de repérer des contradictions de l'activité et de les mettre en scène dans la simulation. Formuler ainsi les apports de l'ergonome contribue-t-il à répondre à la question de la configurabilité de la méthode ? En partie puisque la position de l'ergonome va se décliner selon la situation particulière de conception dans laquelle est engagé l'agronome. Cependant, les éléments méthodologiques ainsi constitués sont-ils facilement appropriables par un agronome ? Nous pensons avoir établi l'intérêt de deux outils, alors disponibles et utilisables sans la présence spécifique d'un ergonome : un modèle pour analyser l'activité et une façon d'organiser des simulations autour d'un prototype. Néanmoins, nous avons insisté sur la nécessité d'avoir une position réflexive constante par rapport à ces outils : c'est sans doute là que la participation d'un ergonome peut être nécessaire à l'agronome. Nous souhaitons aussi souligner que le fait d'avoir eu le souci de faire évoluer l'activité de l'agronome nous a conduite à proposer quelques outils méthodologiques (analyse des débats collectifs selon trois catégories, mise en discussion sur cette catégorisation avec des agronomes et recherche de questions scientifiques traitables) que des ergonomes peuvent aussi mobiliser dès lors qu'ils souhaitent accompagner le développement de l'activité future des utilisateurs, prendre en compte cette activité dans la conception, mais aussi accompagner aussi des ingénieurs dans une réflexion sur leurs modèles des processus pilotés par exemple.

2. Mise en scène du prototype dans la simulation

Dans notre démarche, la mise en scène d'un prototype de l'outil occupe une place méthodologique importante pour construire une instance de collaboration entre concepteurs et utilisateurs. Si c'est un élément de méthode qu'on ne retrouve pas dans MUSE, il est en revanche très présent dans la démarche de « cooperative prototyping ». Le logiciel informatique est défini comme médiateur de l'activité (Bødker, 1997) à partager entre les concepteurs et les utilisateurs. La manipulation concrète du logiciel autour d'une tâche est utilisée pour projeter les utilisateurs dans leur situation d'utilisation future. En retour, le logiciel est modifié par les concepteurs en fonction des réactions des utilisateurs et des discussions qui ont suivi ces réactions : la modification du prototype se fait donc en grande majorité dans le temps de la séance de travail en commun. La description des étapes de la démarche, faite dans l'article Bødker et Grønbæk

(1991), recoupe les étapes que nous avons pu suivre dans notre phase de simulation, avec le prototype au centre du processus. Les auteurs décrivent une première phase d'entretiens avec les futurs utilisateurs pour avoir une meilleure compréhension de leur travail, puis la tenue d'un premier atelier visant à identifier des problèmes à résoudre, puis la tenue d'ateliers successifs dans lesquels le prototype est mis en débat dans le cadre de discussions non pré-structurées, modifié, re-discuté puis utilisé pour essayer de réaliser des tâches existantes qui posent problème.

Une première différence dans nos mises en scène du prototype réside donc dans la préparation de la simulation. Nous ne retrouvons pas, dans le « cooperative prototyping », une phase d'analyse de l'activité à proprement parler, phase qui nous avait servi à préparer la phase de simulation notamment au travers du repérage de contradictions. Pourtant, Bødker et Grønbæk (1991) se posent explicitement la question de savoir comment préparer une séance de « cooperative prototyping » et accordent beaucoup d'importance à la façon de concevoir les scénarios de simulation qui vont être utilisés autour de problèmes de l'activité des utilisateurs. Cette réflexion sur les scénarios peut donc constituer un parallèle au travail que nous avons réalisé sur l'activité en préalable à la simulation, même si nous n'y retrouvons pas explicitement la volonté de caractériser les contradictions de l'activité des acteurs. Une deuxième différence renvoie au fait que les changements à amener au prototype sont implémentés en temps réel dans les séances. Dans notre cas, le prototype a été questionné, interrogé mais il est rare que nous ayons eu une proposition de solution à implémenter immédiatement dans l'outil. La phase de simulation n'était de toute façon pas le lieu pour nous de réaliser ces changements. Nous ne cherchions pas à accompagner jusqu'au bout l'appropriation de l'outil par les acteurs mais plutôt à utiliser cette appropriation dans sa dimension constructive pour mettre en discussion le modèle DIAGVAR. Pour cela, nous avions choisi de mettre en scène les contradictions repérées lors de la phase précédente dans l'activité des utilisateurs à l'aide d'un prototype et d'observer comment cette mise en scène permettait aux acteurs de questionner le modèle et leurs activités. Il y a donc une différence essentielle dans nos finalités qui justifient le recours aux contradictions. Ces contradictions ne sont pas absentes du processus de « cooperative prototyping ». Pour Bødker et Grønbæk (ibid.), elles apparaissent en fait au cours des séances, lors des ruptures (breakdowns) ou des changements de sujet (focus shifts) auxquelles les chercheurs sont particulièrement attentifs. Mais nous n'avons pas d'éléments pour savoir comment ces contradictions sont traitées par rapport au projet de conception. Il semble que les auteurs les considèrent soit comme dépassées grâce à des modifications réalisées par les concepteurs sur le prototype au cours de la séance, soit assez graves pour devenir bloquantes dans le processus. Les auteurs relatent ainsi des situations où les ruptures observées n'ont pu être résolues et où les concepteurs ont refusé (ou n'ont pas pu) continuer le projet. Etant donné que nous n'implémentions pas les changements dans l'outil en réel, nous n'avons pas été confrontée à ce genre de blocage. Les agronomes ont pu revenir sur les modifications ou problèmes cités par les acteurs et prendre le temps de construire ce que ces problèmes signifiaient pour eux, ce que leur résolution impliquait comme connaissances à produire, etc. En ne se donnant pas les moyens de repérer *a priori* les points de rupture (ce que le repérage des contradictions permet en partie), le « cooperative prototyping » est donc soumis aux aléas de leur apparition dans les séances : il faut alors pouvoir être capable de les résoudre en temps réel, au risque de voir le processus prendre fin.

3. Une démarche qui déclenche des apprentissages mutuels

Nous avons insisté dans le chapitre D sur le fait que la conception avait été pour nous un lieu d'apprentissage mutuel, apprentissage que nous avons qualifié de développement. Nous avons de fait défendu l'idée que l'apprentissage mutuel qui apparaît dans la conception dépasse la « simple » compréhension des positions respectives des participants. Il y a développement de l'activité dans sa dimension systémique, et donc pour nous un niveau d'apprentissage « supérieur ». Derrière ces apprentissages, se trouve notre volonté d'investiguer la façon dont se transforment les activités des participants à la conception, avec la spécificité de s'intéresser à la transformation des activités aussi bien des utilisateurs que des concepteurs-agronomes.

Cette attention aux processus d'apprentissages mutuels est peu apparente dans la méthode MUSE mais est fortement présente dans la démarche de « cooperative prototyping », du moins du côté de l'activité des utilisateurs. Comme nous l'avons fait apparaître dans le cadre E-4, le statut du prototype dans le « cooperative prototyping » est avant tout défini comme support d'apprentissage mutuel et de partage de points de vue dans la conception. De fait, notons que les fondements théoriques du « cooperative prototyping » sont ceux de l'analyse historique et culturelle de l'activité qui nous ont également aidée à penser le développement des activités. Il nous semble d'ailleurs retrouver l'idée de mirroring du Change Laboratory® dans la volonté de Bødker et Grønbæk (1996) de rendre concrète et visible les « visions » des participants à travers l'utilisation d'un prototype pour permettre les apprentissages. Mais, dans notre cas, la simulation ne représente pour nous qu'une étape du projet de conception. Les apprentissages qu'elle initie continuent de se construire dans la façon dont ses résultats sont ensuite mis en patrimoine et débattus. C'est ce que nous avons réalisé en phase 3 du côté des agronomes et en phase 4 du côté des utilisateurs en leur demandant de se rappeler ce qui s'était déroulé au cours de notre travail et de formaliser cela en termes de changements dans leur activité. Cette suite donnée à la simulation est pour nous un moteur du développement. Ici, Bødker et Grønbæk (ibid.) ne traitent pas de la façon de tracer ce qui s'est déroulé dans la simulation, de la façon dont ces éléments seront mis en patrimoine et remettront en mouvement l'objet en cours de conception. Nous voyons que le prototype est transformé, remanié au cours des séances de prototyping mais nous ne savons pas comment il évolue ensuite, comment les concepteurs se trouvent interrogés plus fondamentalement par les discussions des séances. Même si les auteurs affirment que les apprentissages sont mutuels, ils sont de fait principalement explicités du côté des utilisateurs. Du côté des concepteurs, il est surtout dit qu'ils apprennent à mieux connaître l'activité des utilisateurs. La façon dont leurs connaissances et leurs conceptualisations sont questionnées par le travail avec les utilisateurs n'apparaît pas clairement. Nous pourrions finalement rapprocher cette démarche de celle de ComMod, discutée dans la partie précédente : l'objet d'analyse qui est au cœur du travail des auteurs renvoie d'abord aux apprentissages et au partage mutuel des points de vue avant de renvoyer au projet de conception en lui-même. Ce faisant, la conceptualisation que font les auteurs de la démarche porte moins sur ce qui se passe pour le prototype : dans lesquelles de ses dimensions il est remis en cause, qu'est-ce que cela provoque chez les concepteurs, comment ceux-ci en tiennent compte pour repenser la conception.

4. Quelle conceptualisation de l'expertise ?

De façon un peu parallèle à la réflexion que nous avons initiée dans le § 2.5 de ce chapitre, nous souhaitons discuter ici de la façon dont certains objets de recherche de l'ergonome ont pu être mis en mouvement dans ce travail.

Nous avons expliqué, dans le chapitre D, que notre processus de travail nous avait conduite à changer de regard sur l'activité au cours du processus. Ce faisant, nous avons notamment interrogé notre façon de considérer l'expertise dans l'activité et d'en rendre compte dans la conception. En phase 1, nous avions défini une activité d'évaluation marquée par une expertise forte des acteurs à l'échelle de l'essai d'expérimentation ou du duel d'essais. La façon dont nous avons mis en scène DIAGVAR dans la simulation a mis les acteurs en face de la notion de réseau, notion à l'échelle de laquelle leur expertise n'est plus complètement efficiente. Par le changement initié dans le processus et à travers ce que DIAGVAR porte, nous avons donc en partie déconstruit l'expertise des acteurs, nous l'avons fragmentée. Pour autant, lorsqu'ils sont confrontés à cette idée de réseau, les acteurs de l'évaluation variétale ne sont pas démunis. Les fragments d'expertise issus de cette déconstruction partielle ont permis aux acteurs de remettre en question les sorties du modèle de DIAGVAR et le modèle dans son entier. Ces fragments nous ont aussi permis d'interagir avec les acteurs autour des résultats proposés par l'outil. Ainsi, ce qui nous interroge en tant qu'ergonomes, c'est de savoir comment donner la possibilité dans la conception de reconstruire l'expertise en utilisant ces morceaux d'expertise qui se fondent sur les expériences des acteurs. L'expérience n'est pas intégrée dans des concepts opératoires, c'est-à-dire pour agir. Elle n'est pas intégrée non plus dans la conceptualisation à l'échelle du réseau de ce qu'est l'évaluation pour les acteurs qui la pratiquent. Mais elle contient ce qui va permettre aux acteurs de rebâtir leur expertise dans leurs nouvelles actions, voire leur nouvelle activité.

Cette différence entre expertise et expérience nous semble donc intéressante à instruire plus avant dans un projet de conception. Comment s'appuyer sur l'expertise existante ? Comment la déconstruire ? Comment permettre qu'elle se reconfigure à partir de l'expérience des acteurs ? Comment mieux appréhender l'expérience qui n'est pas construite comme une expertise ?

Notre démarche se différencie d'abord d'autres démarches, du champ de l'agronomie comme de l'ergonomie, par les objectifs qui lui sont assignés, et notamment l'objectif de développement, ainsi que par la façon d'envisager le rôle du prototype dans la démarche. Elle montre en effet l'importance de savoir organiser des processus dialogiques autour d'un prototype pour créer des dynamiques d'instrumentation et d'instrumentalisation Les dynamiques d'instrumentation permettent aux futurs utilisateurs de reconfigurer leur activité. Les dynamiques d'instrumentalisation permettent aux concepteurs de repenser l'outil pour mieux adhérer à la situation singulière d'action, mais également de dégager des questions scientifiques plus génériques. Notre démarche de conduite d'un projet repose sur la combinaison de trois éléments clés, combinaison que nous n'avons retrouvée dans aucune des démarches explorées : une volonté d'articuler des objectifs de cristallisation, plasticité et développement, un prototype dont les caractéristiques doivent permettre de réaliser une simulation opérative, une mise en scène de ce prototype qui stimule l'activité constructive des futurs utilisateurs et des concepteurs.

IV. Produire de la connaissance dans un cadre ingénierique

L'ensemble du travail que nous avons effectué repose sur un certain nombre de positions qui peuvent paraître antinomiques en première lecture : (i) la volonté de produire à la fois un outil opérationnel et des connaissances scientifiques, (ii) la volonté de dégager une certaine généricité de la méthodologie proposée pour la conception de modèles agronomiques utilisables et la volonté de s'attacher à l'activité de l'évaluation variétale de façon spécifique, (iii) la volonté d'explorer de façon disciplinaire les productions d'un tel processus et la volonté d'avoir une vision globale de l'ensemble des thématiques issues du processus.

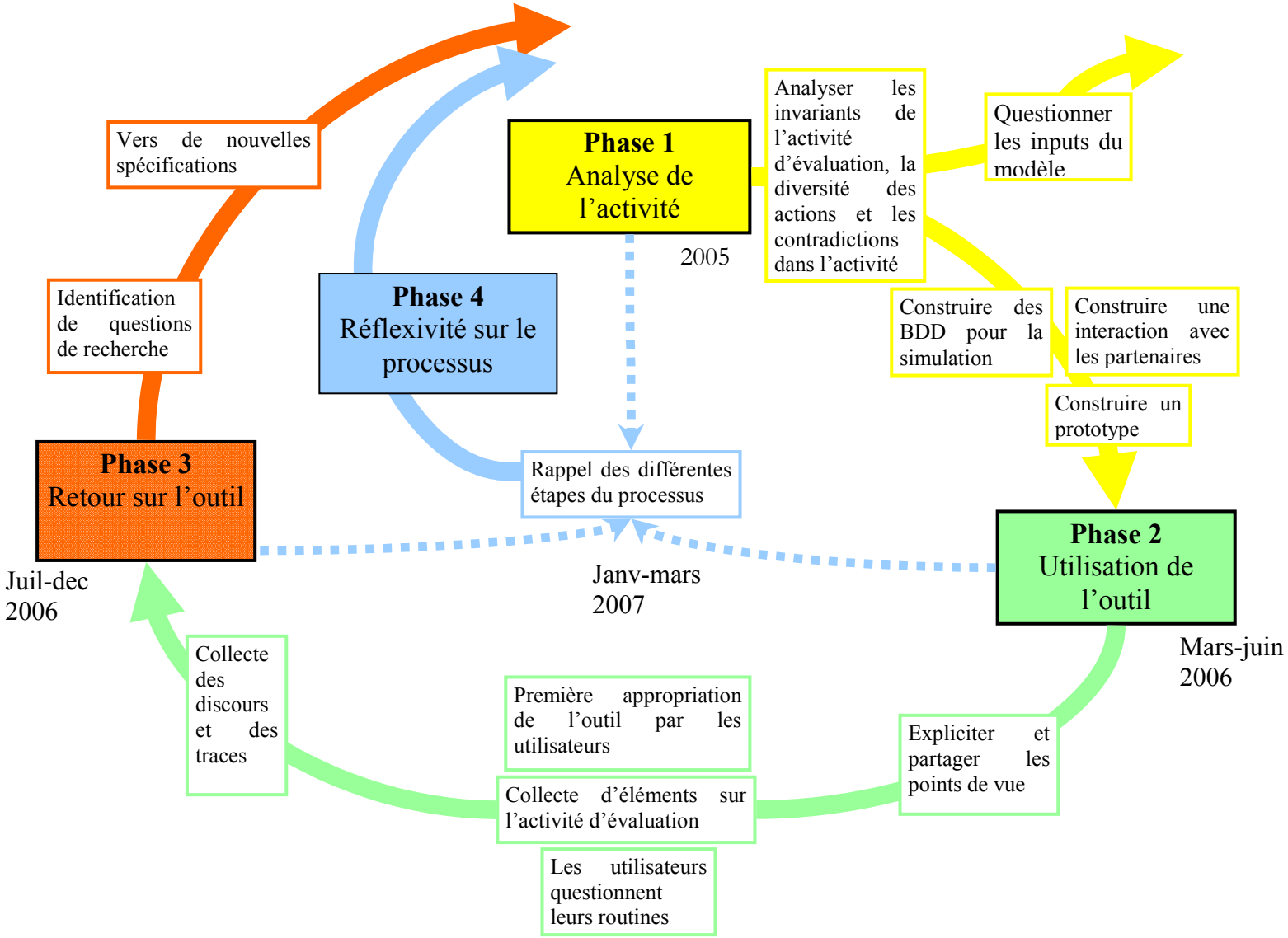
Le recours à la théorie C-K de Hatchuel (e.g. Le Masson et al., 2006, pp. 275-305), utilisée surtout sur un mode opérationnel et transformée en C-K-A par l'ajout de l'espace des situations singulières d'action, nous a permis de penser différemment ces paradoxes et de les travailler dans le cadre de notre projet, marqué par l'enjeu d'articuler production ingénierique et production scientifique. Ce cadre permet d'établir que, dans un projet de conception à vocation ingénierique, le concept du processus (appartenant à l'espace C) et les connaissances utilisées pour le concevoir (dans l'espace K) sont mis en mouvement par des situations singulières d'action (espace A) qui conduisent soit à spécifier concept et connaissances, soit à les décaler par rapport à ce qu'ils étaient initialement, pour proposer de nouveaux concepts et explorer d'autres voies de connaissances que celles établies à l'origine. L'identification de la façon dont s'opère la mise en mouvement des connaissances permet aussi de repérer pourquoi certaines des connaissances produites dans le processus sont plus actionnables (ou opérationnelles) que d'autres. Lorsque le processus conduit à explorer des champs de connaissances originaux et décalés, il est d'abord nécessaire de les « défricher » en retournant éventuellement à un investissement disciplinaire. Il s'agit en fait d'élargir un champ de connaissances existant, voire d'en créer un nouveau. Ces nouvelles connaissances produites vont ensuite devoir être confrontées de nouveau aux situations d'action pour en tirer des éléments actionnables.

L'espace de l'action (espace A) peut aussi être mis en mouvement par les espaces C et K. Si les connaissances sont mises en mouvement par l'espace A, certaines d'entre elles peuvent être, à un moment, suffisamment établies, pertinentes et validées pour que le décalage ressenti entre espace des connaissances et espace de l'action soit renvoyé à l'espace de l'action. C'est alors l'espace de l'action et les situations singulières qui sont amenées à changer. Il ne s'agit pas de voir ce renvoi comme la tenue d'une position normative et autoritaire du scientifique vers les utilisateurs mais comme un ajustement des espaces l'un à l'autre. Reste à creuser en revanche ce qui peut permettre de dire qu'une connaissance est suffisamment établie pour renvoyer à l'espace de l'action, ce qui ramène en partie à la question de la preuve en science, question largement débattue. Et inversement, il est parfois plus facile de résoudre un problème en agissant dans l'espace de l'action qu'en produisant une connaissance valide si elle n'est pas disponible. L'espace A peut donc être mis en mouvement par l'espace K lorsqu'il est trop difficile de produire rapidement une nouvelle connaissance.

Lorsque l'espace des connaissances est mis en mouvement, il est difficile d'anticiper dans quels champs de connaissances s'opéreront les mises en mouvement engendrées par les situations singulières d'action des utilisateurs. Ainsi, l'espace des connaissances explorées peut devenir extrêmement large. Dans notre cas, les agronomes ont par exemple été renvoyés à des questions

relevant de l'écophysiologie, de la phytopathologie ou des statistiques. Cela permet de poser que la conception nécessite des explorations multiples et n'est pas réductible à une agrégation de connaissances variées déjà existantes. Nous pensons que ce dernier point peut intéresser les agronomes abordant un projet de conception. Malgré la nature intégratrice de la discipline agronomique qui dispose de ce fait d'un stock de connaissances multidisciplinaires, les agronomes doivent être conscients du fait que la conception peut déclencher l'exploration de champs où les connaissances de la discipline ne seront pas suffisantes et où il sera donc nécessaire d'aller chercher des compétences extérieures. Cela peut aboutir à une reconfiguration de l'équipe de travail au cours du processus de conception pour aller chercher des compétences disciplinaires complémentaires. C'est ce que nous avons fait en intégrant un statisticien dans notre travail sur la stabilité des méthodes statistiques. Cet exercice de positionnement dans un champ de connaissances oblige aussi à se demander comment ce champ K est structuré initialement, ce qui n'est pas forcément aisé comme nous l'avons vu aussi bien dans notre approche agronomique des résultats que dans notre approche ergonomique. Cet effort de clarification des champs des connaissances qui sont en mouvement ou stabilisés dans une discipline, et de la contribution qu'on apporte à un de ces champs, est un exercice qui nous semble pouvoir être particulièrement éclairant. Du fait de la complexité de l'espace des connaissances, le recours aux espaces C-K-A peut s'avérer intéressant pour mettre en perspective et en patrimoine les connaissances produites dans le cadre d'un projet ingénierique. De fait, c'est un outil de traçabilité qui permet de faire apparaître les questions laissées en suspens, les explorations envisagées et celles qui ont été entamées. Le cadre C-K-A peut par exemple permettre de garder la mémoire du fait que l'on n'a pas réussi à mobiliser une compétence dans le projet et d'aller chercher cette compétence a posteriori. Ce cadre est également un outil de réflexivité des chercheurs sur la conduite du projet de conception d'une part et sur l'évolution des façons de penser leurs objets d'étude d'autre part. Cet outil vient alors compléter les autres moyens que nous avons mis en œuvre tout au long de notre travail pour construire la réflexivité : le travail de la phase 3 pour les agronomes par exemple, mais aussi la confrontation à d'autres projets de conception d'outils mettant aux prises les chercheurs et d'autres acteurs dans le cadre de l'animation construite au sein du projet DISCOTECH.

Il nous semble enfin que le recours aux espaces C-K-A nous permet de dépasser le problème d'une réflexion sur la généricité de notre démarche, démarche que nous avons explorée et développée au contact d'une situation d'action singulière. En effet, ce que montre ce cadre, c'est que, dans un projet de conception d'outils, la production de connaissances se fait en réaction ou en ajustement aux situations singulières dans lesquelles l'outil est susceptible d'être mis en action. Nous pensons que la principale généricité dans notre travail réside dans cette démonstration. C'est en effet ce constat des circulations entre espaces qui justifie de construire une méthodologie intégrant les situations singulières d'action dans le projet de conception. Les outils méthodologiques que nous proposons ensuite, le recours à un prototype, la mise en scène de ce prototype dans des conditions particulières, relèvent alors de la nature de l'objet que nous avons cherché à concevoir ainsi que de nos finalités marquées par le développement. Mais un de nos apports consiste à avoir démontré et formalisé la façon dont connaissances et situations d'action se rencontraient dans un projet de conception.


Phase 1
Analyse de l'activité
2005
Analyser les invariants de l'activité d'évaluation, la diversité des actions et les contradictions dans l'activité
Questionner les inputs du modèle
Construire des BDD pour la simulation
Construire une interaction avec les partenaires
Construire un prototype
Phase 2
Utilisation de l'outil
Mars-juin 2006
Expliciter et partager les points de vue
Collecte d'éléments sur l'activité d'évaluation
Première appropriation de l'outil par les utilisateurs
Les utilisateurs questionnent leurs routines
Collecte des discours et des traces
Phase 3
Retour sur l'outil
Juil-dec 2006
Identification de questions de recherche
Vers de nouvelles spécifications
Phase 4
Réflexivité sur le processus
Rappel des différentes étapes du processus
Janv-mars 2007

V. Perspectives

Pour conclure, nous souhaitons rappeler les différentes pistes évoquées tout au long de cette thèse pour améliorer ou approfondir le travail que nous avons réalisé.

1. Des perspectives pour faire évoluer la démarche

Chacune des phases de notre démarche, que nous avons reproduite ci-contre, a fait l'objet de propositions d'améliorations et de remarques qui nous semblent importantes par rapport à nos finalités. Nous avons réorganisé ces remarques ci-dessous pour rappeler l'importance du cadrage de la démarche puis faire émerger des pistes pour améliorer notre capacité à déclencher des processus d'instrumentalisation et d'instrumentation et à aider à la réflexivité du chercheur dans une telle démarche.

1.1 Perspectives par rapport au cadrage de la démarche

Nous avons insisté sur le fait que la démarche mise au point dans ce travail s'était construite par rapport à un cadrage particulier, dépendant des acteurs avec lesquels nous avons travaillé, de leurs enjeux, des contrats formalisés dans les différents projets qui ont entouré et supporté ce travail, etc. Il est alors parfois difficile de savoir ce qui, dans nos résultats (aussi bien les réussites que les échecs), découle à proprement parler de notre démarche et ce qui est à relier à ce cadrage particulier. Le cadrage est pour autant un élément dont il paraît difficile de s'abstraire tant il reprend certains éléments des situations singulières d'action qui structurent notre projet. Nous avons en effet montré que notre projet de conception était fortement marqué par les situations d'action qui interagissent avec l'objet en cours de conception et les connaissances qui sont mises en jeu. Néanmoins, une perspective intéressante serait de trouver des outils ou des façons de construire la démarche qui, s'ils restent dépendants du cadrage, pourraient aider à construire ce cadrage d'une façon favorable au projet de conception. Être particulièrement clair sur les finalités que l'on poursuit dans un projet de conception peut être l'un de ces outils. En effet, c'est l'importance accordée à l'enjeu de développement qui a fortement structuré notre démarche. Or certaines des contractualisations passées avec les acteurs ont été négociées avant la formulation claire de cet objectif. C'est le cas du contrat négocié avec le FSOV par exemple. Une fois les objectifs de la thèse définis, le partenariat a dû être renégocié, précisé pour répondre à ces objectifs. Mais nous avons vu que cela avait quand même pu laisser des traces, visibles dans l'attente exprimée par certains acteurs d'un outil opérationnel et utilisable directement. C'est une première réponse au problème spécifique du cadrage, il en existe certainement d'autres, à relier par exemple à la façon de prendre contact avec des utilisateurs potentiellement intéressés, de construire la proposition d'interaction, ou de définir les engagements que doivent prendre les chercheurs par rapport aux utilisateurs pour les intéresser au projet.

1.2 Améliorer notre capacité à impliquer les utilisateurs dans le processus d'instrumentalisation

Dans le processus d'instrumentalisation, c'est l'outil (l'artefact) qui est mis en mouvement et développé. Nous avons vu que ce processus était essentiel dans notre projet de conception : comment aurions-nous pu améliorer notre capacité à déclencher ce processus ?

Une première voie d'amélioration pourrait renvoyer au problème de la non-observation des acteurs en situation de travail lors de notre phase 1. Si nous continuons à penser que l'observation des acteurs de l'évaluation variétale n'était pas forcément un bon moyen d'accéder à une formalisation opérative de cette activité dans un projet de conception, nous pensons qu'il aurait été intéressant de construire quelques moments d'observation une fois le modèle opératif de l'activité établi et les temps forts de l'activité repérés. Nous pensons par exemple que ces observations nous auraient permis d'imaginer d'autres situations d'action de DIAGVAR et nous auraient conduite à construire nos questionnements différemment en phase de simulation. Par exemple au GEVES, nous avons repéré la réunion de choix des essais comme une réunion importante pour l'évaluation. Il aurait donc pu être intéressant de questionner les acteurs GEVES à ce sujet pendant la phase de simulation, pour leur permettre d'envisager l'usage de DIAGVAR dans une telle situation et de voir ce que cela pouvait induire pour le modèle et dans leur activité. Cette observation des acteurs lors de moments-clés aurait donc pu nous donner les moyens d'observer des situations dans lesquelles les fonctionnalités de l'outil pouvaient être mobilisées.

Une deuxième façon d'améliorer notre capacité à déclencher l'instrumentalisation peut se penser en lien avec le suivi des simulations individuelles en phase 2. Ce suivi aurait pu nous permettre de sélectionner certaines des réactions des acteurs pour en débattre lors des réunions collectives de débriefing, à la fois dans l'idée de mieux animer les réunions collectives et de commencer à réfléchir à ce qui était vraiment questionné dans le modèle. Ce suivi nous aurait peut-être permis également d'aller plus loin dans nos questionnements aux acteurs pendant les réunions collectives si nous avions eu l'occasion de découvrir leurs réactions et leurs questions un peu avant les réunions. Aurait-il fallu pour autant observer le moment d'utilisation individuelle de l'outil ? Observer une personne manipulant un logiciel n'était pas forcément éclairant par rapport à nos finalités. C'était davantage le raisonnement des acteurs utilisant l'outil que leur navigation dans le prototype qui nous intéressait. Notre présence au moment des simulations individuelles aurait donc été bénéfique si nous l'avions utilisée pour faire verbaliser aux utilisateurs leur raisonnement. Or, les fiches d'utilisation avaient été conçues pour collecter ces éléments et auraient donc pu suffire à pallier le manque d'observation si elles avaient été remplies et nous avaient été envoyées avant les débriefings comme convenu à l'origine. Il aurait peut-être fallu que nous soyons plus ferme sur l'utilisation de ces fiches mais il faut reconnaître que leur remplissage était très répétitif. Nous gardons donc l'idée que des fiches peuvent aider à suivre le processus de conception, notamment les processus d'instrumentalisation, mais leur conception doit être repensée.

Enfin, retourner vers les acteurs au sujet des questions agronomiques formulées par les agronomes peut également s'interpréter comme un moyen d'intensifier les processus d'instrumentalisation. Nous avons expliqué en discussion du chapitre B que nous ne voyions pas ce retour comme une contestation de la façon dont les agronomes ont construit des questions d'intérêt scientifiques. Il aurait pu s'agir en revanche de discuter autour de la façon dont les questions avaient été formulées, valider la hiérarchie des questions à traiter et discuter ensuite des résultats produits sur les questions traitées. Les deux questions que nous avons traitées, sur l'indicateur azote et la stabilité des méthodes statistiques, nous ont en effet conduite à proposer des éléments de réponse qui auraient pu être mis en débat avec les acteurs. Par exemple, lorsque nous avons proposé de considérer les conduites traitées des essais variétaux comme des

conduites sur lesquelles établir les références variétales de l'outil SPAD, il aurait pu être intéressant de le valider en détail avec les acteurs. Dans le cas du travail sur la stabilité des méthodes statistiques, nous avons proposé de réduire la gamme des indicateurs de facteurs limitants. Etant donné que les acteurs avaient suggéré cette réduction, il aurait été intéressant de valider la nouvelle gamme auprès d'eux. Lorsque nous l'avons fait (auprès d'un groupe d'acteurs uniquement), nous avons en effet été conduite à remodifier la gamme (voir chapitre C, IV.1.1). Par ces discussions, nous aurions pu accéder à une meilleure compréhension des processus d'instrumentalisation engagés, et favoriser également de nouvelles instrumentalisations autour des réponses apportées aux questions scientifiques. Ce retour aux acteurs était donc important à faire, d'autant qu'il aurait constitué un moment d'interaction supplémentaire avec les acteurs, lorsque ceux-ci ont justement insisté en phase 4 sur la nécessité de multiplier ces interactions et d'être proactifs dans un processus tel que le nôtre.

1.3 Arriver à mieux tracer les processus d'instrumentation

Dans cette démarche, l'ergonome se trouve face à l'enjeu de comprendre comment les acteurs repensent leur système d'activité suite au travail effectué sur l'outil. Il doit donc se donner des moyens de tracer les processus d'instrumentation qui se déclenchent. Nous avons proposé dans notre démarche de les tracer principalement par le biais des discours des acteurs. Ont été ainsi relevés les moments de la phase de simulation où les acteurs se projetaient dans une activité un peu différente, et les entretiens effectués en phase 4, qui étaient spécialement dédiés à capter ces processus d'instrumentation. Passer par le discours comporte des inconvénients bien connus. Leur contenu nous permet d'accéder à la façon dont les acteurs parlent de ce qui a changé, mais ne permet pas d'appréhender ce qui a réellement changé dans l'activité. Il serait donc pertinent d'imaginer d'autres moyens pour identifier les processus d'instrumentation et les retracer, *via* l'observation par exemple. Nous avons expliqué plus haut que l'analyse de l'activité nous avait permis de repérer des moments-clés de l'évaluation dans lesquels DIAGVAR serait susceptible d'être utilisé. Les acteurs ayant largement exploré DIAGVAR (et en grande partie admis l'idée de son utilisation, même s'ils sont en attente d'améliorations par rapport aux remarques et questions formulées dans ce travail), il est possible d'imaginer observer l'utilisation de DIAGVAR dans ces situations réelles pour y relever de nouvelles traces des processus d'instrumentation.

Une autre façon d'améliorer notre suivi des processus d'instrumentation pourrait être d'affiner notre traitement du matériau collecté, celui des débriefings de la phase 2 et celui de la phase 4. Dans les débriefings, il serait intéressant de relever ce qui révèle l'initiation de l'instrumentation : par exemple, quels indicateurs, quelles informations les acteurs ont-ils intégré et comment les mettent-ils en écho à leur propre activité ? Concernant les entretiens de la phase 4, notre analyse s'est pour l'instant concentrée sur la mise en évidence d'un changement systémique de l'activité en montrant que des changements avaient été initiés dans les différents pôles du système d'activité. Il pourrait être intéressant de reprendre ces entretiens pour mieux comprendre ce qu'ils révèlent sur les processus de développement de l'activité. Nous pourrions par exemple essayer de retracer, chez chaque acteur, comment les différents pôles de l'activité sont mis en relation, c'est à dire comment, à partir du travail que nous avons effectué, l'ensemble des dimensions de l'activité sont mises en mouvement. Cette étude pourrait permettre d'élucider la façon dont chaque acteur

met en cohérence les éléments de son activité, peut-être notamment en anticipant l'apparition de contradictions.

1.4 Accroître la capacité à accompagner la réflexivité des chercheurs dans le processus et à formaliser les évolutions

Nous avons évoqué au début de ce chapitre notre attention à créer de la réflexivité tout au long de notre travail. Nous avons également évoqué en chapitre B notre difficulté à y parvenir, notamment dans la phase 4. Nous avons émis l'idée que la phase 4 aurait été intéressante à mener également parmi les chercheurs du projet, notamment avec les agronomes pour nous permettre d'aller plus loin dans la compréhension des évolutions initiées par le projet dans leurs démarches et dans leurs objets de recherche. Nous avons évoqué plus haut la façon dont la conceptualisation des agronomes nous semblait avoir évolué, par rapport à la prise en compte de la variabilité par exemple. Il aurait été intéressant de l'investiguer plus avant. Les ergonomes auraient également pu être questionnés de la même façon, pour affiner par exemple l'analyse que nous avons proposée sur les notions d'expertise et d'expérience. La difficulté consiste à trouver la bonne personne pour mener la phase 4 auprès des chercheurs, nous l'avons expliqué en discussion du chapitre B. Cela renvoie beaucoup à la position particulière que j'ai pu occuper dans cette thèse, d'agronome, de concepteur de la démarche mais aussi de l'outil, et d'ergonome. J'y reviendrai dans le dernier paragraphe.

Les deux cadres que nous avons utilisés dans notre analyse du travail (le cadre C/P/D et le cadre C/K/A) auraient pu être mobilisés au cours de la démarche comme outils pour aider à cette réflexivité. Par exemple, nous aurions pu imaginer utiliser le cadre C/K/A dès l'analyse des agronomes en phase 3 pour compléter la catégorisation des discours que nous avions effectuée, formaliser les connaissances qui étaient mises en jeu dans ces discours et aider au choix parmi les questions scientifiques identifiées. De même, tracer au cours du processus les évolutions de notre position sur ce qui doit être cristallisé, ce qui doit être plastique et ce qui se développe aurait pu fournir une base de travail pour fonder notre réflexivité.

2. Des perspectives pour travailler les questions scientifiques laissées en suspens

Nous avons insisté, dans le chapitre C, sur le fait que beaucoup de questions scientifiques intéressantes pour les agronomes étaient sorties du processus. Nous avons relié cette abondance au travail fait avec les acteurs, notamment au cours de la phase de simulation et avons formulé l'idée que cette abondance était constitutive de la forme de notre démarche. Cependant, nous n'avons traité que deux de ces questions dans le cadre de cette thèse. Or à partir du moment où ces questions ont été identifiées comme ayant un intérêt scientifique, comment justifier de n'en traiter qu'une partie ? Comment les hiérarchiser ? Comment répondre à cette abondance de questions ? Une forme de réponse se trouve dans l'externalisation du traitement de certaines questions. Par exemple, le problème des maladies a été pris en charge par le GEVES qui finance le post-doctorat qu'effectue M.Carof sur cette question. Si faire participer les utilisateurs dans la conception expose à l'émergence de beaucoup de questions scientifiques, il y a donc une forme de retour puisque ces utilisateurs peuvent se re-saisir personnellement de ces questions. Cela contribue de plus à valider l'intérêt de la question par rapport aux acteurs. Une autre question

issue du processus va être traitée de façon un peu externe au projet. Il s'agit de l'utilisation de la régression quantile pour caractériser l'effet écophysiologique de certains facteurs limitants du rendement. Plusieurs chercheurs de l'UMR Agronomie ainsi que C. Lecomte s'intéressent désormais à l'utilisation de cet outil statistique sur des problématiques de diagnostic agronomique. Si la question n'est donc pas traitée directement avec DIAGVAR (c'est pour cela que nous parlions de traitement un peu externe à notre projet), elle sera certainement investie de toutes façons. Nous avons également évoqué le fait que certaines de nos questions, sur l'ajout de nouveaux indicateurs correspondant à de nouveaux facteurs limitants allaient être éclairées par des travaux d'autres thèses. C'est notamment le cas de la thèse de M.Casagrande, menée en collaboration entre l'ISARA et l'UMR Agronomie, qui s'intéresse aux indicateurs de l'infestation de mauvaises herbes représentatifs de leurs effets sur le rendement dans le cas de blés cultivés selon des conduites biologiques. L'effet de nouveaux facteurs limitants continue donc d'être investigué dans la discipline.

Malgré ces réponses, cette question de la gestion des questions issues du processus reste pour nous une question fortement en suspens puisque les champs d'investigation ouverts par le processus restent largement à explorer. C'est par exemple ce qui apparaît dans notre travail sur la stabilité des méthodes statistiques. Maintenant que nous avons « défriché » cette question d'un point de vue méthodologique avec le recours au bootstrap et aux méthodes de mélange de modèles, il reste un travail conséquent pour adapter la question à nos thématiques, sur la notion de réseau, sur la possibilité de faire des recommandations de méthodes en fonction de critères de configuration du réseau expérimental à définir. A cette question, ainsi qu'à toutes les questions que nous n'avons pas encore saisies ni externalisées, la traçabilité offerte par le cadre C-K-A est alors la seule réponse que nous pouvons apporter pour l'instant.

3. Des perspectives de travail sur l'outil

Dans nos objectifs, nous avons clairement indiqué que nous souhaitions tirer de notre travail une proposition d'outil qui soit utilisable et utilisé. Nous souhaitions que la remise en question du modèle proposé par les concepteurs fournisse des pistes pour mettre au point un outil qui puisse être adapté au travail d'évaluation des variétés des acteurs (utilisable) et qui prenne un sens dans cette activité (utilisé). Qu'en est-il à la fin de ce travail de thèse ?

Si nous nous en tenons à notre travail de thèse proprement dit, l'outil DIAGVAR est un outil en chantier, dans toutes ses étapes. Dans l'étape de préparation des données, nous avons proposé de remplacer l'indicateur INN du statut azoté par un nouvel indicateur basé sur un index SPAD, nous avons également proposé une relation permettant d'estimer l'apparition d'un stade de culture à partir d'un autre, réduisant encore le nombre de données qui sont obligatoires au fonctionnement de l'outil mais cette relation reste en débat actuellement. Nous avons enfin plus fondamentalement remis en cause la gamme des indicateurs de facteurs limitants en proposant de réduire fortement la gamme des 82 indicateurs de FL qui existe actuellement et nous avons exploré la possibilité de ne plus passer par une transformation de ces indicateurs sur une échelle commune pour contourner l'incertitude qui entoure la détermination des seuils d'action des FL servant à caler cette échelle. Dans l'étape diagnostic agronomique, nous avons proposé d'utiliser des outils statistiques alternatifs à l'outil de régression linéaire multiple stepwise amélioré par C.

Lecomte. Beaucoup de choses restent à traiter avant d'être en mesure de trancher sur cet outil puisque celui que nous avons testé dans notre travail ne reprenait pas des éléments très importants de la méthode de C. Lecomte, notamment ses ajustements agronomiques visant à éliminer une variable dont l'effet était estimé positif sur le rendement. Si nous suivons nos propres conclusions d'introduire davantage d'expertise dans les modèles de perte de rendement que nous testons pour en augmenter la stabilité, c'est un élément d'expertise qu'il serait intéressant de tester. Quant à la partie de caractérisation des variétés, elle s'est avérée beaucoup moins performante : nous avons été obligée de simplifier le modèle la concernant pendant la programmation. Nous ne sommes donc pas en mesure aujourd'hui de savoir si les réactions, plutôt négatives, des acteurs à cette partie découlent de nos choix ou du modèle plus fondamentalement. Cela n'a pas handicapé notre travail dans le sens où l'étape de diagnostic agronomique était suffisamment intéressante pour les acteurs pour justifier que nous nous concentrions dessus. Néanmoins, cette étape reste en suspens actuellement.

Outre ces remarques portant sur le modèle de DIAGVAR, toutes les remarques des acteurs au sujet de l'interface restent à reprendre. Des remarques simples comme le fait de mieux identifier les variétés par des codes couleurs que l'on retrouve à chaque étape de l'outil, mais aussi des remarques engageant beaucoup plus de refonte du logiciel. Nous avons par exemple régulièrement insisté sur la nécessité d'aménager plus de possibilités à l'utilisateur pour faire des choix pour introduire davantage d'expertise dans l'outil (choix des génotypes révélateurs, choix des conduites à intégrer dans l'analyse lorsqu'un lieu comporte plusieurs itinéraires techniques, choix des variétés à conserver pour l'étape de caractérisation des variétés, choix des facteurs limitants dont on souhaiterait forcer l'introduction, etc). Ces éléments restent entièrement à faire, nous n'avons quasiment pas touché à l'interface du prototype depuis la phase de simulation car nous étions concentrée sur l'évolution du modèle qui le sous-tend.

En présentant les choses sous cet angle, il semble donc que nous soyons encore loin de notre objectif d'outil utilisable et utilisé. C'est un point dont nous sommes consciente depuis la phase de retour aux agronomes (phase 3), phase qui s'est avérée importante en temps et en charge de travail et à l'issue de laquelle il est apparu que nous n'aurions pas assez de temps pour reconstruire l'outil. Or, de notre point de vue, c'est un problème. En nous engageant dans un travail avec des groupes d'acteurs, et même si nous avions acté le fait que notre objectif premier n'était pas de parvenir à un outil opérationnel, nous nous sentons une obligation morale ou éthique de ne pas mettre fin à ces interactions sans l'outil ni même sans accompagnement supplémentaire. Nous avons en effet dit, dans notre chapitre D, que la vision systémique que nous adoptons de l'activité conduit à réfléchir l'introduction d'un nouvel outil dans tout ce qu'il impacte dans l'activité. Cette introduction peut demander des efforts potentiellement considérables d'ajustement aux acteurs. Cela peut provoquer des inconforts voire des contradictions intenables dans l'activité (les double bind du cycle d'expansion d'Engeström, voir chapitre A). Nous pensons donc que les démarches de conception comme celle que nous avons proposée ici, parce qu'elles ont un objectif de développement des activités, entraînent un accord éthique entre le chercheur et le partenaire autour de la reconstruction d'un système cohérent, accord dont il faut être conscient. Dans le cas de l'outil DIAGVAR, le cadre de la thèse ne nous permet pas d'accompagner réellement ce changement. Mais une dynamique globale s'est mise en mouvement autour de DIAGVAR, nous rassurant sur cet accompagnement à court et moyen

terme. Un nouveau projet entre l'UMR Agronomie et les obtenteurs du GIE Club des 5 est par exemple en cours, financé de nouveau par le FSOV, et ce projet vise notamment à poursuivre le travail de développement de DIAGVAR. Des données expérimentales supplémentaires vont notamment être collectées pendant trois ans et pourront venir alimenter l'amélioration de l'outil. L'UMR Agronomie a intégré la poursuite du travail sur DIAGVAR aux problématiques d'un ingénieur de recherche récemment recruté. Cet ingénieur reprend donc les aspects de collecte des données expérimentales et de mise en forme pour le logiciel mais reprend également la programmation que nous avons dû abandonner. Il a notamment commencé à reprogrammer l'outil avec le langage scientifique R (R Development Core team, 2005), langage open source évitant le recours à Borland que nous avions choisi et qui nous empêchait de rendre nos sources accessibles. Le passage à R vise donc à rendre l'outil plus accessible aux acteurs et va être une opportunité de reprendre l'interface de l'outil. Il a également l'avantage de nous permettre de ré-accéder à certaines sorties que nous avions perdues (arbres de classification des milieux expérimentaux par exemple). D'autre part, C. Lecomte assure actuellement le développement de l'outil DIAGVAR sur une autre espèce, le pois. Les questions qui sont apparues dans notre processus l'intéressent donc particulièrement. Le GEVES a également lancé le développement d'un outil DIAGVAR sur l'espèce maïs et interagit pour cela avec C. Lecomte et des chercheurs de l'UMR d'agronomie. Un autre projet en cours concerne le développement par l'ITB (Institut Technique de la Betterave) d'un outil DIAGVAR sur l'espèce betterave. Là encore, le projet implique C. Lecomte et des chercheurs de l'UMR Agronomie. L'investissement important que le GEVES réalise sur DIAGVAR se manifeste aussi dans un travail fait actuellement pour relier directement l'outil aux bases de données formatées du GEVES. Le GEVES ambitionne en fait de mettre au point un logiciel du type « logiciel de gestion de base de données » qui sera capable de calculer des facteurs limitants à partir de bases de données variées et de faire interface avec les outils statistiques programmés dans R. Ce logiciel serait *a priori* mis à disposition gratuitement par le GEVES pour l'ensemble des personnes intéressées par DIAGVAR.

4. Retour sur ma position

J'ai exprimé dès le début de ce travail la volonté de maintenir dans cette thèse un équilibre entre les disciplines agronomique et ergonomique. A travers cette volonté, il s'agissait de ne pas faire de l'ergonomie une simple boite à outils pour l'agronome et de produire des connaissances dans le champ de l'ergonomie, ou au moins d'avoir une réflexion sur les connaissances mises en œuvre dans le champ de l'ergonomie. Mon propre statut a donc été assez complexe dans ce travail : j'ai essayé d'y tenir une position d'agronome dans laquelle j'inscrirais mon rôle de concepteur de DIAGVAR et une position d'ergonome dans laquelle j'inclurais mon rôle de concepteur de la conduite de projet, c'est-à-dire de la démarche de travail mise en point. Etant donné l'importance accordée à la réflexivité dans notre projet de conception, il a parfois été difficile de m'inscrire dans une de ces deux positions pour construire de la réflexivité par rapport à l'autre position. C'est le problème que nous avons évoqué au sujet d'un retour vers les chercheurs du projet en phase 4: si je cherche à prendre une position réflexive d'une part en tant qu'agronome, et d'autre part en tant qu'ergonome, comment démêler la façon dont les deux positions ont influé l'une sur l'autre ? De plus, n'était-il pas ambitieux de chercher à être réflexif dans une discipline découverte récemment ?

Ce statut particulier pose un certain nombre de questions auxquelles il m'est difficile de répondre : ce statut pluridisiplinaire est-il tenable ? est-il réel ? est-il souhaitable ? faut-il avoir dans un processus de conception une personne qui cumule plusieurs positions et en quoi est-ce différent de convoquer et faire travailler ensemble des chercheurs de disciplines différentes ? Je n'ai pas assez de recul actuellement pour discuter de ces différents points, d'autant qu'il m'est difficile de raisonner par rapport à ma position uniquement. Si j'ai personnellement essayé de cumuler plusieurs positions, j'étais néanmoins encadrée par des chercheurs des deux disciplines, agronomique (MH. Jeuffroy) et ergonomique (M. Cerf). Et M. Cerf est une ergonome « hybride » puisqu'elle a une formation initiale d'agronome. Elle a donc largement joué les traductrices entre les deux disciplines. Pour autant, il y a quelque chose à comprendre dans ce double statut. Je me souviens notamment de discussions avec M. Cerf et P.Béguin où nous discutions du fait que les ergonomes avaient parfois des difficultés à comprendre pourquoi, dans un processus mettant en présence utilisateurs et concepteurs, les concepteurs se trouvaient parfois face à de telles remises en cause de leur travail qu'ils ne pouvaient plus proposer de solutions. Ma position m'a permis de traduire ce point de rupture en termes de concepts remis en cause chez l'agronome. Cette notion de traduction est finalement une notion que j'apprécie pour caractériser mon propre travail. Plus qu'un statut pluridisciplinaire, il me semble que j'ai essayé de traduire dans le champ de l'agronomie les idées de l'ergonomie, ou, pour reprendre l'image de P.Béguin, de faire office de « passeur de mondes » entre les deux disciplines.

Références bibliographiques

Adamsen, F. J., P. J. Pinter, Jr., E. M. Barnes, R. L. LaMorte, G. W. Wall, S. W. Leavitt and B. A. Kimball (1999). "Measuring wheat senescence with a digital camera." Crop Science **39**(3): 719-724.

Affholder, F., E. Scopel, J. Madeira Neto and A. Capillon (2003). "Diagnosis of the productivity gap using a crop model. Methodology and case study of small-scale maize production in central Brazil." Agronomie **23**: 305-325.

Ahonen, H., Y. Engeström and J. Virkkunen (2000). Knowledge Management - the Second Generation: Creating Competencies Within and Between Work Communities in the Competence Laboratory. Knowledge Management and Virtual Organizations. Y. MALHOTRA. Hershey PA, Idea Group Publishing**:** 282-305.

Akrich, M. (1990). "De la sociologie des techniques à une sociologie des Usages." Techniques et Culture **16**: 83-110.

Akrich, M. (1993). "Les objets techniques et leurs utilisateurs, de la conception à l'action." Raisons Pratiques **4**: 35-57.

Amir, I. and F. M. Fisher (1999). "Analyzing agricultural demand for water with an optimizing model." Agricultural Systems **61**(1): 45-56.

Analla, M. (1998). "Model validation through the linear regression fit to actual versus predicted values." Agricultural Systems **57**(1): 115-119.

Anjana, S. Umar and M. Iqbal (2007). "Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implication." Agronomy for Sustainable Development **27**: 45-57.

Arora, V. K. and P. R. Gajri (1998). "Evaluation of a crop growth-water balance model for analysing wheat responses to climate- and water-limited environments." Field Crops Research **59**(3): 213-224.

Arvalis and Semence de France (2007). Mémento des semences.

Aubry, C., F. Papy and A. Capillon (1998). "Modelling decision-making processes for annual crop management." Agricultural Systems **56**(1): 45.

Aubry, C., J. M. Paillat and F. Guerrin (2006). "A conceptual representation of animal waste management at the farm scale: the case of the Reunion Island." Agricultural Systems **88**(2/3): 294-315.

Audsley, E., A. Milne and N. Paveley (2005). "A foliar disease model for use in wheat disease management decision support systems." Annals of Applied Biology **147**(2): 161-172.

Bamire, A. S., Y. L. Fabiyi and V. M. Manyong (2002). "Adoption pattern of fertiliser technology among farmers in the ecological zones of South-Western Nigeria: a Tobit analysis." Australian Journal of Agricultural Research **53**(8): 901-910.

Bannayan, M. and G. Hoogenboom (2007). Using Pattern Recognition for Estimating Cultivar Coefficients of Crop Simulation Model. ASA, CSSA, SSSA, New Orleans.

Barbottin, A. (2004). Utilisation d'un modèle de culture pour évaluer le comportement des génotypes: Pertinence de l'utilisation d'Azodyn pour analyser la variabilité du rendement et de la teneur en protéines du blé tendre. UMR Agronomie INRA/AgroParisTech. Paris, AgroParisTech. **Thèse de doctorat**.

Barbottin, A., C. Lecomte, C. Bouchard and M. H. Jeuffroy (2005). "Nitrogen Remobilization during Grain Filling in Wheat: Genotypic and Environmental Effects." Crop Science **45**: 1141-1150.

Bateson, G. (1972). Steps to an ecology of mind. New York, Ballantine Books.

Bavec, F. and M. Bavec (2001). "Chlorophyll meter readings of winter wheat cultivars and grain yield prediction." Communications In Soil Science And Plant Analysis **32**(17-18): 2709-2719.

Bedny, G. Z. and W. Karkowski (2004). "Activity theory as a basis for the study of work." Ergonomics **47**(2): 134-153.

Béguin, P. and A. Weill-Fassina (1997). De la simulation des situations de travail à la situation de simulation. la simulation en ergonolue: connaître, agir, interagir. P. Béguin and A. Weill-Fassina. Toulouse, Octarès**:** 5-28.

Béguin, P. (1998). Simulation et participation. Journées de la pratique, Bordeaux.

Béguin, P. and P. Rabardel (2000). "Concevoir pour les activités instrumentées." La Revue d'Intelligence Artificielle **14/2000**: 35-54.

Béguin, P. (2003). "Design as a mutual learning process between users and designers." INTERACTING WITH COMPUTERS **15**(5): 709-730.

Béguin, P. (2004a). L'ergonome, acteur de la conception. Ergonomie. P. Falzon. Paris, PUF**:** 375-390.

Béguin, P. (2004b). L'ergonomie en conception: cristallisation, plasticité, développement. Les nouveaux régimes de la conception, Cerisy la Salle.

Béguin, P. and M. Cerf (2004). "Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception des systèmes de travail." Activités **1**(1).

Béguin, P. (2005). La simulation entre experts: double jeu dans la zone de proche développement et construction du monde commun. Apprendre par la simulation, De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels. P. PASTRE. Toulouse, Octarès**:** 375.

Béguin, P. (2006). "Une approche opérative de la simulation." Education Permanente **166**(1): 59-74.

Béguin, P. (2007). L'ergonomie en conception: cristallisation, plasticité et développement. les nouveaux régimes de la Conception. A. Hatchuel and B. Weil. Paris, Vuibert.

Bergez, J. E., P. Debaeke, J. M. Deumier, B. Lacroix, D. Leenhardt, P. Leroy and D. Wallach (2001). "MODERATO: an object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules." Ecological Modelling **137**(1): 43.

Bergez, J. E., J. M. Deumier, B. Lacroix, P. Leroy and D. Wallach (2002). "Improving irrigation schedules by using a biophysical and a decisional model." European Journal of Agronomy **16**(2): 123-135.

Bindraban, P. S., J. J. Stoorvogel, D. M. Jansen, J. Vlaming and J. J. R. Groot (2000). "Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance." Agriculture Ecosystems & Environment **81**(2): 103.

Bjerknes, G. and T. Bratteteig (1995). "User participation and democracy: A discussion of Scandinavian research on system development." Scandinavian Journal of informationsystems **7**(1): 25-45.

Blackmer, T. M. and J. S. Schepers (1995). "Use Of A Chlorophyll Meter To Monitor Nitrogen Status And Schedule Fertigation For Corn." Journal Of Production Agriculture **8**(1): 56-60.

Blanchet, A. and A. Gotman (1992). L'enquête et ses méthodes: l'entretien. Paris, Nathan Université Sociologie (Collection 128).

Bodker, S. and A. Gronbaek (1991). "Cooperative Prototyping - Users and designers in mutual activity." International Journal of Man-Machine Studies **34**(special issue on CSCW): 456-478.

Bodker, S. and A. Gronbaek (1996). Users and designers in mutual activity: an analysis of cooperative activities in systems design. Cognition and communication at work. Y. Engeström. Cambridge, Cambridge University Press**:** 130-158.

Bodker, S. (1997). "Computers in Mediated Human Activity." Mind, Culture and Activity **4**(3): 149-158.

Boiffin, J., J. Caneill, J. M. Meynard and M. Sebillotte (1981). "Élaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d hiver en Champagne crayeuse. I Protocole et méthode d étude d un problème technique régional." Agronomie **1**(7): 549-558.

Bonhomme, R. (1997). Modélisation du fonctionnement d'une culture: caractérisation de la contrainte hydrique et prise en compte de ses effets. L'eau dans l'espace rural. C. Riou, R. Bonhomme, P. Chassin, A. Neveu and F. Papy. Paris, INRA**:** 85-100.

Bonneuil, C., E. Demeulenaere, F. Thomas, P. B. Joly, G. Allaire and I. Goldringer (2006). Innover autrement? La recherche face à l'avènement d'un nouveau régime de production et de régulation des savoirs en génétique végétale. Quelles variétés et semences pour des agricultures paysannes durables? P. Gasselin and O. Clément. Paris, Dossiers de l'environnement de l'INRA. **30:** 29-51.

Boote, K., J. Jones and N. Pickering (1996). "Potential uses and limitations of crop models." AGRONOMY JOURNAL **88**(5): 704-716.

Bourdieu, P., L. Boltanski, R. Castel and J. C. Chamboredon (1965). Un art moyen: essai sur les usages sociaux de la photographie, Les Editions de Minuit.

Bousquet, F., O. Barreteau, C. Mullon and J. Weber (1996). Modélisation d'accompagnement: systèmes multi-agents et gestion des ressources renouvelables. Quel environnement au 21ème siècle? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie, Paris, GERMES.

Bousquet, F. (2001). Modélisation d'accompagnement: Simulations multi-agents et gestion des ressources naturelles et renouvelables. Lyon, Université Lyon 1. **Mémoire d'habilitation à diriger les recherches:** 71.

Brancourt-Hulmel, M., C. Lecomte and J. M. Meynard (1999). "A Diagnosis of Yield-Limiting Factors on Probe Genotypes for Characterizing Environments in Winter Wheat Trials." Crop Science **39**: 1798-1808.

Brancourt-Hulmel, M., J. B. Denis and C. Lecomte (2000). "Determining environmental covariates which explain genotype environment interaction in winter wheat through probe genotypes and biadditive factorial regression." Theoretical and Applied Genetics **100**: 285-298.

Brancourt-Hulmel, M., C. Lecomte and J. B. Denis (2001). "Choosing probe genotypes for the analysis of genotype-environment interaction in winter wheat trials." Theoretical and Applied Genetics **103**: 371-382.

Brancourt-Hulmel, M. and C. Lecomte (2003). "Effect of Environmental Variates on Genotype Environment Interaction of Winter Wheat: A Comparison of Biadditive Factorial Regression to AMMI." Crop Science **43**: 608-617.

Brancourt, M., V. Biarnès-Dumoulin and J.-B. Denis (1997). "Points de repère dans l'analyse de la stabilité et de l'interaction génotype-milieu en amélioration des plantes." AGRONOMIE **17**: 219-246

Brisson, N., F. Ruget, P. Gate, J. Lorgeou, B. Nicoullaud, X. Tayot, D. Plenet, M. H. Jeuffroy, A. Bouthier, D. Ripoche, B. Mary and E. Justes (2002). "STICS: a generic model for simulating crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and maize." Agronomie **22**(1): 69-92.

Brisson, N., J. Wéry and K. Boote (2006). Fundamental concepts of crop models illustrated by a comparative approach. Working with Dynamic Crop Models. D. Wallach, D. Makowski and J. W. Jones. Amsterdam, Elsevier**:** 257-279.

Bronckart, J. P. (1987). Les conduites simulées, Introduction. Psychologie, Encyclopédie de la Pléiade. J. Piaget, P. Mounoud and J. P. Bronckart. Paris, Gallimard**:** 1653-1662.

Buckland, S. T., K. P. Burnham and N. H. Augustin (1997). "Model selection: An integral part of inference." Biometrics **53**(2): 603.

Burnham, K. P. and D. R. Anderson (2002). Model selection and multimodel inference, Springer.

Cade, B. S., J. W. Terrell and R. L. Schroeder (1999). "Estimating effectsof limiting factors with regression quantiles." Ecology **80**(1): 311-323.

Cade, B. S. and B. R. Noon (2003). "A gentle introduction to quantile regression for ecologists." Frontiers in Ecology and the Environment **1**(8): 412-420.

Cain, J. D., K. Jinapala, I. W. Makin, P. G. Somaratna, B. R. Ariyaratna and L. R. Perera (2003). "Participatory decision support for agricultural management. A case study from Sri Lanka." Agricultural Systems **76**(2): 457-482.

Calvary, G. (2002). Ingénierie de l'interaction homme-machine: rétrospective et perspectives, interaction homme-machine et recher d'information. Traité des sciences et techniques de l'information. C. Paganelli. Paris, Hermès**:** 19-63.

Campariol, L. (1992). Blé tendre: le turn-over variétal en chiffres. Semences et Progrès. **71**.

Carberry, P. S., Z. Hochman, R. L. McCown, N. P. Dalguiesh, M. A. Foale, P. L. Poulton, J. N. G. Hargeaves, D. M. G. Hargreaves, S. Cawthray, N. Hillcoat and M. J. Robertson (2002). "The FARMSCAPE approach to deicsion support: farmers', advisers', researchers' monitoring, simulation, communication and performance evaluation." AGRICULTURAL SYSTEMS **74**: 141-177.

Card, S. K. (1995). Methods used in successfull user interface design. Human Computer Interface Design: success story, emerging methods and real-words contexts. C. Lewis, P. G. Polson and T. D. McKay. San Fransisco, Morgan-Kaufman.

Carroll, J. M. (1995). Scenarion Based Design, John Wiley & Sons.

Casanova, D., J. Goudriaan, J. Bouma and G. F. Epema (1999). "Yield gap analysis in relation to soil properties in direct-seeded flooded rice." Geoderma **91**(3-4): 191.

Cazenave, M. and M. Ferté (2003). Quelle est la place de la variété dans les activités de gestion de la qualité chez les acteurs de la filière blé tendre? Mémoire de fin d'études, AgroParisTech.

Ceccato, P., S. Flasse, S. Tarantola, S. Jacquemoud and J. M. Gregoire (2001). "Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain." Remote Sensing of Environment **77**(1): 22-33.

Cerf, M. and F. Hochereau (2004). Propositions de scénarios d'évolution des pratiques d'échange d'informations pour l'évaluation des variétés de blé tendre. Séminaire « Impact des innovations variétales » des 16 et 17 décembre 2004. ATS de l'INRA. Grignon.

Cerf, M. and J.-M. Meynard (2006). "Les outils de pilotage des cultures: diversité de leurs usages et enseignements pour leur conception." Natures Sciences Sociétés **14**: 19-29.

Chambers, R. (1994). "The Origins And Practice Of Participatory Rural Appraisal." World Development **22**(7): 953.

Chatfield, C. (1995). "Model uncertainty, data mining and statistical inference." Journal of the Royal Statistical Society **158**: 419-466.

Clermont Dauphin, C., J. M. Meynard and Y. M. Cabidoche (2003). "Devising fertiliser recommendations for diverse cropping systems in a region: the case of low-input bean/maize intercropping in a tropical highland of Haïti." Agronomie **23**: 673-681.

Clot, Y., D. Faïta, G. Fernandez and L. Scheller (2000). "Entretiens en autoconfrontation croisée: une méthode en clinique de l'activité." Pistes **2**(1).

Colbach, N., C. Clermont-Dauphin and J. M. Meynard (2001a). "GENESYS: a model of the influence of cropping system on gene escape from herbicide tolerant rapeseed crops to rape volunteers - I. Temporal evolution of a population of rapeseed volunteers in a field." Agriculture Ecosystems & Environment **83**(3): 235.

Colbach, N., C. Clermont-Dauphin and J. M. Meynard (2001b). "GENESYS: a model of the influence of cropping system on gene escape from herbicide tolerant rapeseed crops to rape volunteers - II. Genetic exchanges among volunteer and cropped populations in a small region." Agriculture Ecosystems & Environment **83**(3): 255.

ComMod, C. (2005). "la modélisation comme outil d'accompagnement." Natures Sciences Sociétés **13**: 165-168.

Cox, P. (1996). "Some issues in the design of agricultural decision support systems." AGRICULTURAL SYSTEMS **52**(2-3): 355-381.

d'Aquino, P., M. Etienne, O. Barreteau, C. Le Page and F. Bousquet (2001). Modélisation d'accompagnement: l'usage des simulations multi-agents dans des processus de décision sur la gestion de ressources naturelles. Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision. E. Malézieux, G. Trébuil and M. Jaegger, CIRAD / INRA**:** 373-390.

Daniellou, F. (2004). L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. Ergonomie. P. Falzon. Paris, PUF**:** 359-373.

Daniellou, F. and P. Béguin (2004). Méthodologie de l'action ergonomique: approches du travail réel. Ergonomie. P. Falzon. Paris, PUF**:** 335-358.

Daniellou, F. and P. Rabardel (2005). "Activity-oriented approaches to ergonomics: some traditions and communities." Theoretical Issues in Ergonomics Science **6**(5): 353-357.

Daniellou, F. (2007). "Des fonctions de la simulation des situations de travail en ergonomie." @ctivités **4**(2): 77-83, http://www.activites.org/v4n2/v4n2.pdf.

Darses, F., P. Falzon and C. Munduteguy (2004). Paradigmes et modèles pour l'analyse cognitive des activités finalisées. Ergonomie. P. Falzon, PUF**:** 191-212.

Darses, F. and F. Reuzeau (2004). Participation des utilisateurs à la conception des systèmes et dispositifs de travail. Ergonomie. P. Falzon, PUF**:** 405-420.

David, C., M. H. Jeuffroy, J. Henning and J. M. Meynard (2005). "Yield variation in organic winter wheat: a diagnostic study in the Southeast of France." Agronomy for Sustainable Development **25**(2).

de Bie, C. (2004). "The yield gap of mango in Phrao, Thailand, as investigated through comparative performance evaluation." Scientia Horticulturae **102**(1): 37.

de Vallavieille-Pope, C., J. Rouzet, M. Leconte, M. Delos and M. N. Mistou (2000). La rouille jaune du blé en France: des épidémies déclenchées par une nouvelle race, un hiver doux et un printemps humide. Phytoma - la Défense des Végétaux. **527:** 22-29.

de Wit, C. T. (1978). Introduction. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. C. T. de Wit. Wageningen, Centre for Agricultural Publishing and Documentation**:** 1-5.

Debaeke, P., P. Rouet and E. Justes (2006). "Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to Durum Wheat." Journal of Plant Nutrition **29**: 75-92.

Decoux, G. and J. B. Denis (1991). INTERA, logiciels pour l'interprétation statistique de l'interaction entre deux facteurs, Laboratoire de Biométrie, INRA, Versailles.

Denis, J. B. (1980). "Analyse de régression factorielle." Biométrie Praximétrie **20**: 1-34.

Donatelli, M., G. Bellocchi and F. Fontana (2003). "RadEst3.00: software to estimate daily radiation data from commonly available meteorological variables." European Journal of Agronomy **18**: 363-367.

Doré, T., M. Sebillotte and J.-M. Meynard (1997). "A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield." AGRICULTURAL SYSTEMS **54**(2): 169-188.

Doré, T., J. M. Meynard and M. Sebillotte (1998). "the role of grain number, nitrogen nutrition and stern nimber in limiting pea crop (Pisum sativum) yields under agricultural conditions." European Journal of Agronomy **8**: 29-37.

Doré, T., C. Clermont-Dauphin, Y. Crozat, C. David, M. H. Jeuffroy, C. Loyce, D. Makowski, E. Malézieux, J. M. Meynard and M. Valantin-Morison (2008). "Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review." Agronomy for Sustainable Development **28**: à paraître.

Draper, D. (1995). "Assessment and propagation of model uncertainty." Journal of the Royal Statistical Society **57**: 45-97.

Dwyer, L. M., A. M. Anderson, B. L. Ma, D. W. Stewart, M. Tollenaar and E. Gregorich (1995). "Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration." Canadian Journal of Plant Science **75**: 179-182.

Efron, B. and R. J. Tibshirani (1993). An introduction to the bootstrap. New York, Chapman & Hall.

Ehn, P. and M. Kyng (1987). The collective resource approach to system design. Computers and Democracy--a Scandinavian Challenge. G. Bjerknes, P. Ehn and M. Kyng. Avebury, Aldershot**:** 17-57.

Engeström, Y. (1987). Learning by expanding, an activity-theoretical approach to developmental research. Helsinki, Orienta-Konsultit Oy.

Engeström, Y., J. Virkkunen, M. Helle, J. Pihlaja and R. Poikela (1996). "The Change Laboratory As A Tool For Transforming Work." Lifelong Learning in Europe **1**(2): 10-17.

Engeström, Y., J. Virkkunen, M. Helle, J. Pihlaja and R. Poikela (2005). The Change Laboratory as a tool for transforming work. Developmental Work Research: Expanding Activity Theory in Practice. G. RÜCKRIEM and Y. ENGESTRÖM. Berlin, Lehmanns media**:** 291-306.

Etienne, M., C. Le Page and M. Cohen (2003). "A step-by-step approach to building land management scenarios based on multiple viewpoints on multi-agent system simulations." Journal of Artificial Societies & Social Simulations **6**(2).

Falzon, P. (2004). Ergonomie. Paris, PUF.

Falzon, P. (2005). Ergonomie, conception et développement. Conférence introductive, 40ème Congrès de la SELF, St Denis, La Réunion.

Farrington, J. (1997). "Farmers' participation in agricultural research and extension: Lessons from the last decade." Biotechnology And Development Monitor(30): 12.

Félix, I., C. Loyce, C. Bouchard, J. M. Meynard, B. Rolland, M. H. Bernicot and H. Haslé (2002). "Associer des variétés rustiques à des niveaux d'intrants réduits: intérêts économiques et perspectives agronomiques." Perspectives Agricoles **279**: 30-35.

Fox, R. H., W. P. Piekielek and K. M. Macneal (1994). "Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat." **25**(3&4): 171-181.

Fukui, K. (2005). "Modeling of mulberry shoot elongation and leaf appearance in field conditions." Plant Production Science **8**(2): 115.

Gabrielle, B., R. Roche, P. Angas, C. Cantero-Martinez, L. Cosentino, M. Mantineo, M. Langensiepen, C. Henault, P. Laville, B. Nicoullaud and G. Gosse (2002). "A priori parameterisation of the CERES soil-crop models and tests against several European data sets." Agronomie **22**(2): 119-132.

Gate, P. (1995). Ecophysiologie du Blé. Paris, Lavoisier, Tec & Doc.

Gauch, H. G., Jr., J. T. G. Hwang and G. W. Fick (2003). "Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values." Agronomy Journal **95**(6): 1442-1446.

Gaunt, J. L., J. Riley, A. Stein and F. deVries (1997). "Requirements for effective modelling strategies." Agricultural Systems **54**(2): 153.

Geoghegan, J., S. C. Villar, P. Klepeis, P. M. Mendoza, Y. Ogneva-Himmelberger, R. R. Chowdhury, B. L. Turner, II and C. Vance (2001). "Modeling tropical deforestation in the southern Yucatan peninsular region: comparing survey and satellite data." Agriculture, Ecosystems & Environment **85**(1/3): 25-46.

GEVES (2006a). Protocole d'Expérimentation Céréales à Paille. Essais de Valeur Agronomique et Technologique. Guyancourt, GEVES**:** 52.

GEVES (2006b). Répertoire des essais de variété, blé tendre d'hiver, récolte 2006. Guyancourt, GEVES.

Girard, N. and B. Hubert (1999). "Modelling expert knowledge with knowledge-based systems to design decision aids - The example of a knowledge-based model on grazing management." AGRICULTURAL SYSTEMS **59**(2): 123-144.

Godin, C. and J. Soyer (2006). Protocole d'expérimentation - Céréales à paille, essais de valeur agronomique et technologique. Annexe 7: échelle de notation visuelle. Guyancourt, France, GEVES**:** 29-30.

Greenbaum, J. M. and M. Kyng (1991). Design at work: cooperative design of computer systems, Lawrence Erlbaum.

Gronbaek, K. (1989). "Rapid prototyping with fourth generation systems - an empirical study." OFFICE: technology and people **5**(2): 105-125.

Groote, H. d. and O. Traore (2005). "The cost of accuracy in crop area estimation." Agricultural Systems **84**(1): 21-38.

Guisan, A. and N. E. Zimmermann (2000). "Predictive habitat distribution models in ecology." Ecological Modelling **135**: 147-186.

Hanks, R. J. and J. T. Ritchie (1991). Introduction. Modeling Plant and Soil Systems, Agronomy Monograph n°31. R. J. Hanks and J. T. Ritchie. Madison, WI, ASA, CSSA and SSSA**:** 1-3.

Harashina, K., K. Takeuchi, A. Tsunekawa and H. S. Arifin (2003). "Nitrogen flows due to human activities in the Cianjur-Cisokan watershed area in the middle Citarum drainage basin, West Java, Indonesia: a case study at hamlet scale." Agriculture, Ecosystems & Environment **100**(1): 75-90.

Hatchuel, A. (1994). "Apprentissages collectifs et activités de conception." Revue Française de Gestion **Juin, Juillet, Août**: 109-120.

Hatchuel, A. (1996). Coopération et conception collective: variété et crises des rapports de prescription. Coopération et Conception. G. de Terssac and E. Friedberg. Toulouse, Octarès**:** 101-121.

Hatchuel, A. and B. Weil (2002). La théorie C-K: fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. Sciences de la conception, Lyon, France.

Hatchuel, A. and B. Weil (2003). A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory. International Conference on Engineering Design, Stockholm.

Hatchuel, A., P. Le Masson and B. Weil (2004). C-K theory in practice: lessons from industrial applications. Internation Design Conference, Dubrovnik.

Hayman, P. T. and W. J. Easdown (2002). "An ecology of a DSS: reflections on managing wheat crops in the northeastern Australian grains region with WHEATMAN." Agricultural Systems **74**(1): 57-77.

Higgins, A. J., M. A. Haynes, R. C. Muchow and D. B. Prestwidge (2004). "Developing and implementing optimised sugarcane harvest schedules through participatory research." Australian Journal of Agricultural Research **55**(3): 297-306.

Hill, J. O., M. J. Robertson, B. C. Pengelly, A. M. Whitbread and C. A. Hall (2006). "Simulation modelling of lablab (Lablab purpureus) pastures in northern Australia." Australian Journal of Agricultural Research **57**(4): 389-401.

Hoeting, J. A., D. Madigan, A. E. Raftery and C. T. Volinsky (1999). "Bayesian Model Averaging: A Tutorial." Statistical Science **14**(4): 382-417.

Hubert, B., R. Ison and N. Röling (2000). The'problematique' with respect to industrialised-country agricultures. Cow up a tree, knowing and learning for change in agriculture. Case studies from industrialised countries. M. Cerf, D. Gibbon, B. Hubertet al. Paris, INRA**:** 13-29.

Iqbal, S. M. M., C. R. Ireland and V. H. L. Rodrigo (2006). "A logistic analysis of the factors determining the decision of smallholder farmers to intercrop: a case study involving rubber-tea intercropping in Sri Lanka." Agricultural Systems **87**(3): 296-312.

Jeuffroy, M. H. and J. M. Meynard (1997). Azote: production agricole et environnement. Assimilation de l'azote chez les plantes: aspects physiologique, biochimique et moléculaire. J. F. Morot-Gaudry, INRA "Mieux Comprendre"**:** 369-380.

Jeuffroy, M. H. and C. Bouchard (1999). "Intensity and Duration of Nitrogen Deficiency on Wheat Grain Number." Crop Science **39**: 1385-1393.

Jeuffroy, M. H., A. Barbottin, C. Barrier, C. Bouchard, M. Le Bail and D. Makowski (2006). Performances of five crop models simulating yield and grain protein content in farmers fields. IX congress of the European Society for Agronomy, Warsaw.

Jeuffroy, M. H., M. Brancourt, M. Cerf, A. Gauffreteau and L. Prost (2007). Evaluer les variétés de blé tendre d'hiver en vue de caractériser et de valoriser leur rusticité, INRA**:** 19.

Jones, J. W. and J. C. Luyten (1998). Simulation of Biological Processes. Agricultural Systems Modeling and Simulation. R. M. Peart and R. B. Curry. New York, Marcel Dekker**:** 19-62.

Jones, J. W., G. Hoogenboom, C. H. Porter, K. J. Boote, W. D. Batchelor, L. A. Hunt, P. W. Wilkens, U. Singh, A. J. Gijsman and J. T. Ritchie (2003). "The DSSAT cropping system model." European Journal Of Agronomy **18**(3-4): 235.

Justes, E., B. Mary, J.-M. Meynard, J. M. Machet and L. Thelier Huche (1994). "Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops." Annals of Botany **74**: 397-407.

Justes, E., M. H. Jeuffroy and B. Mary (1997). Wheat, Barley and Durum Wheat. Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops. G. Lemaire, Springer. **4:** 73-92.

Kang, M. S. and H. G. J. Gauch (1996). Genotype -by- Environment Interaction, CRC Press.

Kang, M. S. and R. Magari (1996). New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. Genotype -by- Environment Interaction. M. S. Kang and H. G. J. Gauch, CRC Press**:** 1-14.

Keating, B. A., P. S. Carberry, G. L. Hammer, M. E. Probert, M. J. Robertson, D. Holzworth, N. I. Huth, J. N. G. Hargreaves, H. Meinke, Z. Hochman, G. McLean, K. Verburg, V. Snow, J. P. Dimes, M. Silburn, E. Wang, S. Brown, K. L. Bristow, S. Asseng, S. Chapman, R. L. McCown, M. Freebairn and C. J. Smith (2003). "An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation." European Journal of Agronomy **18**(3-4): 267-288.

Kensing, F. and J. Blomberg (1998). "Participatory Design: Issues and Concerns." Computer Supported Cooperative Work **7**: 167-185.

Komatsu, Y., A. Tsunekawa and H. Ju (2005). "Evaluation of agricultural sustainability based on human carrying capacity in drylands - a case study in rural villages in Inner Mongolia, China." Agriculture, Ecosystems & Environment **108**(1): 29-43.

Kuutti, K. (1995). Activity Theory as a potential framework for human computer interaction research. Context and Consciousness: Activity Theory and Human Computer Interaction. B. A. NARDI. Cambridge, MIT Press**:** 17-44.

Kyng, M. ((1995)). Creating contexts for design. Scenario-based design. Envisionning

work and technology in system development. J. M. Carrol. New York, John Wiley & Sons**:** 85-108.

Landa, F. M., N. R. Fausey, S. E. Nokes and J. D. Hanson (1999). "Plant production model evaluation for the Root Zone Water Quality Model (RZWQM 3.2) in Ohio." Agronomy Journal **91**(2): 220-227.

Le Bail, M. and J. M. Meynard (2003). "Yield and protein concentration of spring malting barley: the effects of cropping systems in the Paris Basin (France)." Agronomie **23**: 13-27.

Le Masson, P., B. Weil and A. Hatchuel (2006). Les processus d'innovation, Hermès - Lavoisier.

Lecomte, C., A. Giraud and V. Aubert (2003). "Testing a predicting model for frost resistance of winter wheat in natural conditions." Agronomie **23**: 51-66.

Lecomte, C. (2005). L'évaluation expérimentale des innovations variétales. Proposition d'outils d'analyse de l'interaction génotype-milieu adaptés à la diversité des besoins et des contraintes des acteurs de la filière semences. UR LEG INRA. Paris, AgroParisTech. **Thèse de doctorat:** 262.

Leenhardt, D., J. L. Trouvat, G. Gonzales, V. Perarnaud, S. Prats and J. E. Bergez (2004a). "Estimating irrigation demand for water management on a regional scale I. ADEAUMIS, a simulation platform based on bio-decisional modelling and spatial information." Agricultural Water Management **68**(3): 207.

Leenhardt, D., J. L. Trouvat, G. Gonzales, V. Perarnaud, S. Prats and J. E. Bergez (2004b). "Estimating irrigation demand for water management on a regional scale II. Validation of ADEAUMIS." Agricultural Water Management **68**(3): 233.

Lemaire, D., O. Amand and H. Maraite (2003). Evolution of Proculture, a disase risk stimulation model for decision taking in Mycosphaerella graminicola control. Global insights into the Septoria and Stagonospora diseases of cereals - 6th International Symposium on Septoria and Stagonospora diseases of cereals, Tunis, Tunisia.

Lemaire, G. and F. Gastal (1997). N uptake and Distribution in Plant Canopies. Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops. G. Lemaire, Springer. **1:** 3-43.

Lemaire, G. and J. M. Meynard (1997). Use of the Nitrogen Nutrition Index for the Analysis of Agronomical Data. Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops. G. Lemaire, Springer. **2:** 45-55.

Leontiev, A. (1977). Activity and Consciousness. Philosophy in the USSR, Problems of Dialectical Materialism. Moscou, Progress**:** 180-197.

Lescourret, F., N. Blecher, R. Habib, J. Chadoeuf, D. Agostini, O. Pailly, B. Vaissiere and I. Poggi (1999). "Development of a simulation model for studying kiwi fruit orchard management." Agricultural Systems **59**(2): 215-239.

Letcher, R. A., B. F. W. Croke, W. S. Merritt and A. J. Jakeman (2006). "An integrated modelling toolbox for water resources assessment and management in highland catchments: sensitivity analysis and testing." Agricultural Systems **89**(1): 132-164.

Leterme, P., H. Manichon and J. Roger-Estrade (1994). "Analyse intégrée des rendements du blé tendre et de leurs causes de variation dans un réseau de parcelles d'agriculteurs du Thymerais." Agronomie **14**: 341-361.

Lim, K. Y. and J. Long (1994). The Muse Method for Usability Engineering, Cambridge University Press.

Loyce, C. (1998). Mise au point d'itinéraires techniques pour un cahier des charges multicritere: le cas de la production de blé éthanol en Champagne crayeuse. UMR Agronomie INRA/AgroParisTech. Paris, AgroParisTech. **Thèse de doctorat**.

Loyce, C. and J. Wéry (2006). Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception des systèmes de culture. Agronomie**:** 77-95.

Luciani, A. (2004). Etude du progrès génétique chez différentes espèces en grandes cultures, GEVES**:** 187.

Lynch, T., S. Gregor and D. Midmore (2000). "Intelligent support systems in agriculture: how can we do better?" Australian Journal of Agricultural Research **40**: 609-620.

Ma, L., G. Hoogenboom, L. R. Ahuja, J. C. Ascough and S. A. Saseendran (2006). "Evaluation of the RZWQM-CERES-Maize hybrid model for maize production." AGRICULTURAL SYSTEMS **87**(3): 274-295.

Machet, J. M., P. Dubrulle and P. Louis (1990). Azobil: A computer program for fertilizer N recommendations based on a predictive balance sheet method. First Congress of the European Society of Agronomy, Paris.

Makowski, D., C. Naud, M. H. Jeuffroy, A. Barbottin and H. Monod (2006). "Global sensitivity analysis for calculating the contribution of genetic parameters to the variance of crop model prediction." Reliability Engineering & System Safety **91**(10-11): 1142.

Makowski, D., T. Doré and H. Monod (2007). "A new method to analyse relationships between yield components with boundary lines." Agronomy for Sustainable Development **27**(119-128).

Maline, J. (1994). Simuler le travail, une aide à la conduite de projet, ANACT.

Martinez, D. E. and J. J. Guiamet (2004). "Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status." Agronomie **24**: 41-46.

Matsunaka, T., Y. Watanabe, T. Miyawaki and N. Ichikawa (1997). "Prediction of Grain Protein Content in Winter Wheat through Leaf Color Measurements Using a Chlorophyll Meter." Soil Sciences Plant Nutrition **43**(1): 127-134.

Mayer, D. G., J. A. Belward and K. Burrage (2001). "Robust parameter settings of evolutionary algorithms for the optimisation of agricultural systems models." Agricultural Systems **69**(3): 199-213.

McCown, R. (2002a). "Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects." AGRICULTURAL SYSTEMS **74**: 179-220.

McCown, R. (2002b). "Locating agricultural decision support systems in the troubled past and socio-technical complexity of 'models for management'." AGRICULTURAL SYSTEMS **74**: 11-25.

McCown, R. L., L. E. Brennan and K. A. Parton (2006). "Learrning from the historical failure of farm management models to aid management practices. Part 1. The rise and demise of theoretical models of farm economics." Australian Journal of Agricultural Research **57**: 143-156.

McCown, R. L. and K. A. Parton (2006). "Learning from the historical failure of farm management models to aid management practices. Part 2. Three systems approaches." Australian Journal of Agricultural Research **57**: 157-172.

Meynard, J. M. and M. Sebillotte (1982). Diagnostic sur les causes de variation du rendement du blé dans une petite région. 23ème colloque SFP: La fatigue des sols, Versailles, INRA Publ.

Meynard, J. M. and P. Girardin (1991). "Produire autrement." le Courrier de l'environnement de l'INRA **15**: 1-19.

Meynard, J. M., M. Cerf, L. Guichard, M. H. Jeuffroy and D. Makowski (2002). "Which decision support tools for the environmental management of nitrogen?" AGRONOMIE **22**: 817-829.

Meynard, J. M. and M. H. Jeuffroy (2006). Quel progrès génétique pour une agriculture durable? Quelles variétés et semences pour des agricultures paysannes durables? P. Gasselin and O. Clément. Paris, Dossiers de l'environnement de l'INRA. **30:** 15-25.

Midler, C. (1996). Modèles gestionnaires et régulation économiques de la conception. Coopération et conception. G. de Terssac and E. Friedberg. Toulouse, Octarès.

Miettinen, R. (2000). The problem of creativity in technology studies: invention as artifact construction and culturally distributed work. Helsinki, Center for Activity Theory and Developmental Work Research, University of Helsinki, Departement of Education**:** 34.

Miettinen, R. (2006). "The sources of novelty: a cultural and systemic view of distributed creativity." Creativity and Innovation Management **15**(2): 173-181.

Miller, A. (2002). Subset selection in regression. New-York, Chapman & Hall/CRC.

Mollo, V. and P. Falzon (2004). "Auto- and allo- confrontation as tools for reflective activities." Applied Ergonomics **35**: 531-540.

Monod, H., C. Naud and D. Makowski (2006). Uncertainty and sensitivity analysis for crop models. Working with dynamic crop models. D. Wallach, D. Makowski and J. W. Jones. Amsterdam, Elsevier**:** 55-99.

Monteith, J. (1996). "The quest for balance in crop modeling." AGRONOMY JOURNAL **88**(5): 695-697.

Muller, M. J. and S. Kuhn (1993). "Participatory Design." Communications of the ACM **36**(6): 24-28.

Mussgnug, F., M. Becker, T. T. Son, R. J. Buresh and P. L. G. Vlek (2006). "Yield gaps and nutrient balances in intensive, rice-based cropping systems on degraded soils in the Red River Delta of Vietnam." Field Crops Research **98**(2-3): 127.

Mutsaers, H. J. W. and Z. Q. Wang (1999). "Are simulation models ready for agricultural research in developing countries?" Agronomy Journal **91**(1): 1.

Naud, C., D. Makowski and M. H. Jeuffroy (2007). "Application of an interacting particle filter to improve nitrogen nutrition index predictions for winter wheat." Ecological Modelling **207**: 251-263.

Nesme, T., N. Brisson, F. Lescourret, S. Bellon, X. Crete, D. Plenet and R. Habib (2006). "Epistics: a dynamic model to generate nitrogen fertilisation and irrigation schedules in apple orchards, with special attention to qualitative evaluation of the model." Agricultural Systems **90**(1/3): 202-225.

Parisot-Baril, C. (1992). Etude de la stabilité du rendement chez le blé tendre d'hiver. Orsay, Université Paris Sud. **Thèse de doctorat**.

Parker, C. (1999). "Decision support systems: lessons from past failures." Farm Management **10**(5): 273-289.

Parker, C. G. (2004). "Decision Support Tools: Barriers to uptake and use." Aspects of Applied Biology **72**: 31-41.

Passioura, J. (1996). "Simulation models: Science; snake oil, education, or engineering?" AGRONOMY JOURNAL **88**(5): 690-694.

Pastré, P. (2005a). Apprendre par la résolution de problèmes: le rôle de la simulation. Apprendre par la simulation. De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels. P. Pastré. Toulouse, Octarès**:** 17-40.

Pastré, P. (2005b). Apprendre par la simulation. Toulouse, Octarès.

Pastré, P. (2006). "Apprendre par l'action, apprendre par la simulation." Education Permanente **168**(3): 205-216.

Peart, R. M. and R. B. Curry (1998). Preface. Agricultural Systems Modeling and Simulation. R. M. Peart and R. B. Curry. New York, Marcel Dekker**:** iii-viii.

Peng, S., F. V. Garcia, R. C. Laza and K. G. Cassman (1993). "Adjustement for Specific Leaf Weight Improves Chlorophyll Meter's Estimate of Rice Leaf Nitrogen Concentration." Agronomy Journal **85**: 987-990.

Penning de Vries, F. W. T., D. M. Jansen, H. F. M. ten Berge and A. Bakema (1989). Introduction to crop growth modelling. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. F. W. T. Penning de Vries, D. M. Jansen, H. F. M. ten Berge and A. Bakema. Wageningen, PUDOC**:** 1-25.

Perriault, J. (1990). "La logique de l'usage, analyse à rebours de l'innovation." La Recherche **218**.

Petersen, E. H., D. J. Pannell, T. L. Nordblom and F. Shomo (2002). "Potential benefits from alternative areas of agricultural research for dryland farming in northern Syria." Agricultural Systems **72**(2): 93-108.

Piara, S. and S. M. Virmani (1996). "Modeling growth and yield of chickpea (Cicer arietinum L.)." Field Crops Research **46**(1/3): 41-59.

Pretty, J. N. (1995). "Participatory Learning For Sustainable Agriculture." World Development **23**(8): 1247-1263.

Prost, L., A. Gauffreteau and D. Tristant (2003). Mais où s'en vont les nouvelles variétés de blé tendre? Rapport de projet d'ingénieur, AgroParisTech.

R Development Core Team (2005). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing**:** http://www.R-project.org.

Rabardel, P. (1995). Les Hommes et les Technologies, une approche cognitive des instruments contemporains. Paris, Armand Colin.

Rabardel, P. and P. Béguin (2005). "Instrument Mediated Activity: from Subject Development to Anthropocentric Design." Theoreticals issues Ergonomics Science **6**(5): 429-461.

Raftery, A. E., D. Madigan and J. A. Hoeting (1997). "Bayesian model averaging for linear regression models." Journal Of The American Statistical Association **92**(437): 179.

Raftery, A. E., T. Gneiting, F. Balabdaoui and M. Polakowski (2005). "Using Bayesian model averaging to calibrate forecast ensembles." Monthly Weather Review **133**(5): 1155.

Rapidel, B., C. Defeche, B. Traore, J. Lancon and J. Wery (2006). "In-field development of a conceptual crop functioning and management model: a case study on cotton in southern Mali." European Journal of Agronomy **24**(4): 304-315.

Reddy, K. R., S. Koti, G. H. Davidonis and V. R. Reddy (2004). "Interactive effects of carbon dioxide and nitrogen nutrition on cotton growth, development, yield, and fiber quality." Agronomy Journal **96**(4): 1148-1157.

Reeves, D. W., P. L. Mask, C. W. Wood and D. P. Delaney (1993). "Determination of wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices." Journal of Plant Nutrition **16**(5): 781-796.

Reijntes, C., B. Haverkort and A. Waters-Bayer (1992). Farling for the future, an introduction to low-external-input and sustainable agriculture, MacMillan.

Robert, C. P. (2001). "L'analyse statistique bayésienne." Courrier des statistiques **100**: 3-4.

Roche, R. and M. H. Jeuffroy (2000). "A model to calculate the vertical distribution of grain number in pea." Agronomy Journal **92**(4): 663-671.

Rossi, V., P. Racca, S. Giosue, D. Pancaldi and I. Alberti (1997). "A simulation model for the development of brown rust epidemics in winter wheat." European Journal of Plant Pathology **103**(5): 453-465.

Roygard, J. K. F., M. M. Alley and R. Khosla (2002). "No-till corn yields and water balance in the mid-Atlantic coastal plain." Agronomy Journal **94**(3): 612-623.

Samurcay, R. and P. Pastré (1995). "La conceptualisation des situations de travail dans la formation des compétences." Education Permanente **123**: 13-31.

Sands, G. R. and T. H. Podmore (2000). "A generalized environmental sustainability index for agricultural systems." Agriculture, Ecosystems & Environment **79**(1): 29-41.

SAS Institute Inc (1999). SAS OnlineDoc® Version 8, SAS Institute Cary, NC**:** available onr v8doc.sas.com.

Schepers, J. S., D. D. Francis, M. Vigil and F. E. Below (1992). "Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings." Communications In Soil Science And Plant Analysis **23**(17-20): 2173-2187.

Schepers, J. S., T. M. Blackmer, W. W. Wilhelm and M. Resende (1996). "Transmittance and Reflectance Measurements of Corn Leaves from Plants with Different Nitrogen and Water Supply." Journal of Plant Physiology **148**: 523-529.

Schmidt, M. and G. Bothma (2006). "Risk assessment for transgenic sorghum in Africa: crop-to-crop gene flow in Sorghum bicolor (L.) Moench." Crop Science **46**(2): 790-798.

Schuler, D. and A. Namioka (1993). Participatory design: principles and practices. Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates.

Schwartz, Y. (2007). "Un bref aperçu de l'histoire culturelle du concept d'activité." @ctivités **4**(2): 122-133.

Scott, J. M. and O. Cacho (2000). "Modelling the long-term effects on farm net worth of investments in pasture fertilizer under constraints of family expenditure." Agricultural Systems **63**(3): 195-209.

Sebillotte, M., J. Boiffin, J. Caneill and J. M. Meynard (1978). "Sécheresse et fertilisation azotée du blé d'hiver. Essai d'analyse de situations au champ par l'étude des composantes du rendement." Science du Sol **3**: 197-214.

Sebillotte, M. (1980). An analysis of yield elaboration in wheat. Wheat technical monograph. Basle, CIBA-Geigy**:** 25-32.

Seppänen, L. (2002). "Creating tools for farmers' learning: an application of developmental work research." Agricultural Systems **73**(1): 129-145.

Seppänen, L. (2004). Learning Challenges in organic Vegetable Farming. An Activity Theoretical Study of On-Farm Practices, University of Helsinki, Institute for Rural Research and Training.

Simon, H. (1973). "The structure of ill-defined problems." Artificial Intelligence **4**: 181-201.

Simon, H. (1996). The Sciences of the Artificial, MIT Press.

Sinclair, T. and N. Seligman (1996). "Crop modeling: From infancy to maturity." AGRONOMY JOURNAL **88**(5): 698-704.

Smith, J. U., N. J. Bradbury and T. M. Addiscott (1996). "SUNDIAL: a PC-based system for simulating nitrogen dynamics in arable land." Agronomy Journal **88**(1): 38-43.

Steyerberg, E. W., M. J. C. Eijkemans and J. D. F. Habbema (1999). "Stepwise selection in small data sets: a simulation study of bias in logistic regression analysis." Journal of Clinical Epidemiology **52**(10): 935-942.

Suchman, L. (1988). "Designing with the user." ACM transactions on office information systems **6**: 173-183.

Takebe, M. and T. Yoneyama (1989). "Measurement of Leaf Color Scores and Its Implication to Nitrogen Nutrition of Rice Plants." Japan Agricultural Research Quaterly **23**(2): 86-93.

Trigg, R. H., S. Bodker and A. Gronbaek (1991). "A video-based analysis of the cooperative prototyping process." Scandinavian Journal of Information Systems **3**: 63-86.

Tschakert, P. (2004). "The costs of soil carbon sequestration: an economic analysis for small-scale farming systems in Senegal." Agricultural Systems **81**(3): 227-253.

Tsoukias, A. (2006). De la théorie de la décision à l'aide à la décision. Concepts et méthodes pour l'aide à la décision 1: outils de modélisation. D. Bouyssou, D. Dubois, M. Pirlot and H. Prade. Paris, Hermès-Lavoisier.

van Eeuwijk, F. A. (1995). "Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: an inventory of models." Euphytica **84**: 1-7.

Van Veldhuizen, L., A. Waters-Bayer, R. Ramirez, D. A. Johnson and J. Thompson (1997). Farmers' Research in Practice: Lessons from the Field, ILEIA Readings in Sustainable Agriculture.

Varvel, G. E., J. S. Schepers and D. D. Francis (1997). "Ability for In-Season Correction of Nitrogen Deficiency in Corn Using Chlorophyll Meters." Soil Science Society of America Journal **61**: 1233-1239.

Verdoodt, A., E. Van Ranst and W. Van Averbeke (2003). "Modelling crop production potentials for yield gap analysis under semiarid conditions in Guquka, South Africa." Soil Use And Management **19**(4): 372.

Vermersch, P. (2004). "Aide à l'explicitation et retour réflexif." Education Permanente **160**(3): 71-80.

Vidal, I., L. Longeri and J. M. Hétier (1999). "Nitrogen uptake and chlorophyll meter measurements in spring wheat." Nutrient Cycling in Agroecosystems **55**: 1-6.

Virkkunen, J. (2004). Developmental Intervention in work activities - an activity theoretical interpretation. Development Intervention. Actor and activity perspectives. T. KONTINEN. Helsinki, Center for Activity Theory and Developmental Work Research and Institute for Development Studies.

Virkkunen, J. (2006). "Dilemmes dans la construction d'une capacité d'action partagée de transformation." @ctivités **3**(1): 19-42.

Voltas, J., H. Lopez-Corcoles and G. Borras (2005). "Use of biplot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multi-environmental trials." European Journal of Agronomy **22**(309-324).

von Hippel, E. (2005). Democratizing Innovation. Cambridge, MIT Press.

von Wricke, G. (1962). "Uber eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubeite in Feldversuchen." Pflanzenzücht **47**: 92-96.

Vouillot, M. O., P. Huet and P. Boissard (1998). "Early detection of N deficiency in a wheat crop using physiological and radiometric methods." Agronomie **18**: 117-130.

Vygotski, L. (1978). Mind in society: The development of higher psychological processes. Cambridge MA, Harvard University Press.

Wallach, D. and B. Goffinet (1987). "Mean squared error of prediction in models for studying ecological and agronomic systems." Biometrics **43**: 561-573.

Wallach, D., B. Goffinet, J. E. Bergez, P. Debaeke, D. Leenhardt and J. N. Aubertot (2002). "The effect of parameter uncertainty on a model with adjusted parameters." Agronomie **22**(2): 159.

Wallach, D. (2006). Evaluating crop models. Working with Dynamic Crop Models. D. Wallach, D. Makowski and J. Jones**:** 11-50.

Watts, D. G., N. R. Fausey and D. A. Bucks (1999). "Background of the MSEA-RZWQM Modeling Project." Agronomy Journal **91**(2): 169-171.

Whittingham, M. J., P. A. Stephens, R. B. Bradbury and R. P. Freckleton (2006). "Why do we still use stepwise modelling in ecology and behaviour?" Journal of Animal Ecology **75**: 1182-1189.

Wood, C. W., D. W. Reeves, R. R. Duffield and K. L. Edmisten (1992). "Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status." Journal of Plant Nutrition **15**(4): 487-500.

Yang, Y. H. (2003). "Regression with multiple candidate models: Selecting or mixing?" Statistica Sinica **13**(3): 783.

Yuan, Z. and Y. H. Yang (2005). "Combining linear regression models: When and how?" Journal Of The American Statistical Association **100**(472): 1202.

Zhang, X. (2005). Modélisation de la réponse des variétés de blé au niveau d'intensification. Influence de la pression de maladies foliaires. UMR Agronomie INRA/AgroParisTech. Paris, AgroParisTech. **Thèse de doctorat**.

Zhuang, J., K. Nakayama, G. Yu and T. Urushisaki (2001). "Estimation of root water uptake of maize: an ecophysiological perspective." Field Crops Research **69**(3): 201-213

Liste des annexes

- ***Documents distribués lors de la phase de simulation (phase 2)***
  - Fichier d'aide sur le logiciel DIAGVAR (pp.1-13)
  - Fiche d'utilisation (ex d'une fiche donnée aux acteurs du GIE Club des 5) (pp. 14-16)
  - Fiche de comparaison des tests (pp. 17-19)
  - Fiche de débriefing (pp.20-21)

- ***Guide des entretiens menés en phase 4*** (pp.22-24)

- ***Documents distribués lors de la phase 4***
  - Chronologie des rencontres – Arvalis (pp.25-26)
  - Chronologie des rencontres – GEVES (pp.27-29)
  - Chronologie des rencontres – GIE Club des 5 (pp.30-31)

Fichier d'aide

DESCRIPTION RAPIDE DU PROTOTYPE 1

LA METHODE 1
LE LOGICIEL 2
LA FENETRE PRINCIPALE 2
LES MENUS 2
A FAIRE AVANT LA PREMIERE UTILISATION 3

ETAPE PRELIMINAIRE : DONNEES D'ENTREE 4

ETAPE 1 : CALCUL DES INDICATEURS DE FACTEURS LIMITANTS 5

SORTIES DE L'ETAPE 1 5
CODE DES FACTEURS LIMITANTS 6
TABLES EXCEL APPARAISSANT APRES L'ETAPE 1 7

ETAPE 2 : DIAGNOSTIC DES MILIEUX 7

OPTIONS DE L'ETAPE DIAGNOSTIC 7
SORTIES DE L'ETAPE DIAGNOSTIC DES MILIEUX 8
GRAPHIQUES DE LA PARTIE « DIAGNOSTIC DES MILIEUX » 8
TABLES DU FICHIER EXCEL LIEES A LA PARTIE « DIAGNOSTIC DES MILIEUX » 10

ETAPE 3 : ESTIMATION DE LA TOLERANCE DES GENOTYPES 10

GRAPHIQUES DE LA PARTIE « ESTIMATION DE LA RESISTANCE DES GENOTYPES » 11
TABLES LIEES A LA PARTIE « ESTIMATION DE LA RESISTANCE DES GENOTYPES » 12

STOCKAGE DES SORTIES 13

Description rapide du prototype

La méthode

La méthode a été mise au point par Christophe Lecomte (INRA DGAP Dijon).
L'outil DiagVar est structuré en trois parties, correspondant aux trois boutons visibles dans le prototype du logiciel, en bas à gauche de la fenêtre. Il est alimenté par des fichiers d'entrée dont le format est standardisé : par essai (lieu*année), on doit disposer d'un fichier météo contenant les données du 1er août de l'année d'implantation jusqu'à la date de récolte, et d'un fichier récolte qui contient les données de rendement, de stades, de notations sur les variétés présentes dans les essais. Pour une aide concernant les fichiers d'entrée, voir le fichier ModeEmploixls.doc.

- La première partie (bouton « calcul des indicateurs de facteurs limitants ») consiste à préparer les données d'entrée qui vont être utilisées dans l'outil. L'outil va chercher les données contenues dans les couples de fichiers météo et récolte qui alimentent l'outil. Il transforme un certain nombre d'observations sur les variétés en indicateurs caractéristiques des différents facteurs limitants existants, tous sur une même échelle.
- La deuxième partie (bouton « Diagnostic des facteurs limitants ») réalise le diagnostic agronomique des facteurs limitants dans chaque milieu du réseau, et la quantification de leurs effets sur le rendement. Ce diagnostic se fait à partir d'observations sur un nombre limité de variétés appelées génotypes révélateurs ou témoins. Il fonctionne à partir d'une régression linéaire multiple. La variable à expliquer est l'« écart du rendement au rendement potentiel », le rendement potentiel correspondant à un rendement maximal que peut atteindre la variété : c'est une donnée que l'on possède a priori. Les variables explicatives sont les

indicateurs des facteurs limitants calculés dans la première phase de l'outil. L'étape de régression se fait pour chacun des génotypes révélateurs.

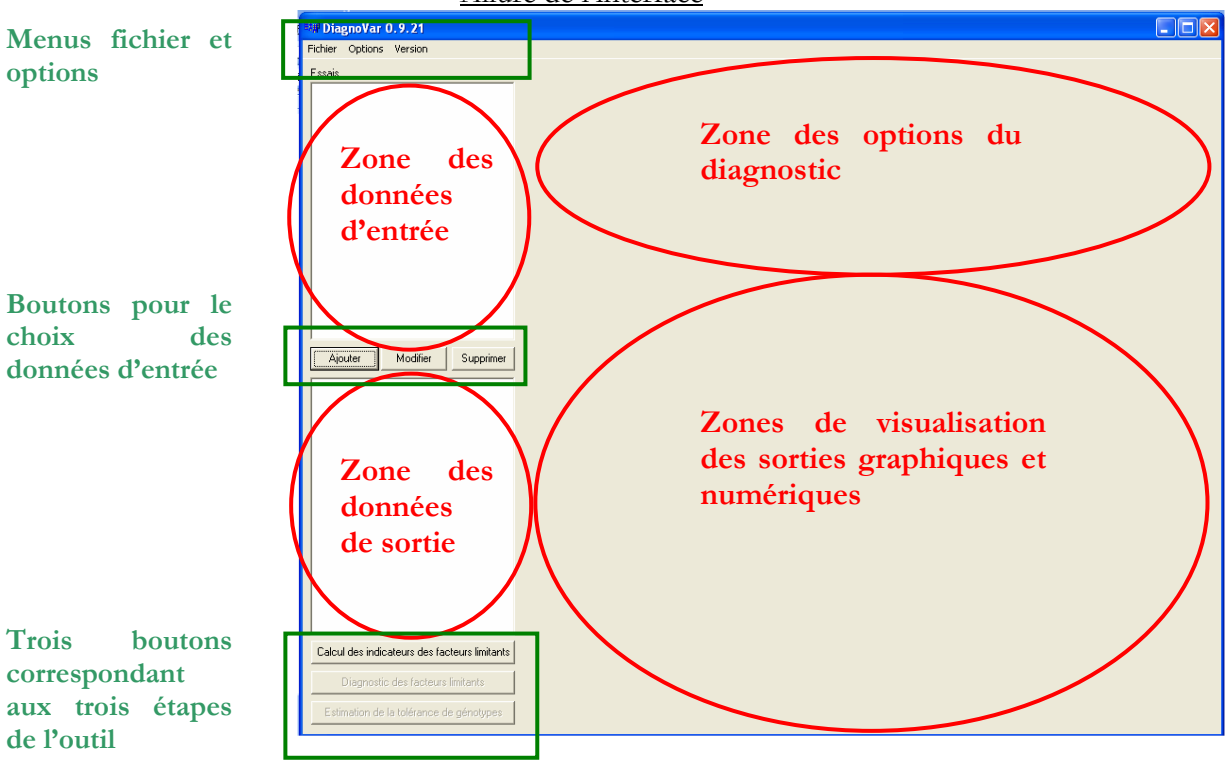
- La troisième partie (bouton « estimation de la tolérance des génotypes ») permet de caractériser la résistance de toutes les variétés présentes dans le réseau à ces facteurs limitants. (On s'intéresse donc dans cette étape à toutes les variétés du réseau et plus seulement aux témoins révélateurs utilisés pour le diagnostic agronomique.) Dans cette phase, on utilise une régression factorielle de l'interaction génotype milieu. Les variables explicatives de cette régression sont les facteurs limitants mis en évidence dans la partie Diagnostic agronomique.

Le logiciel

La fenêtre principale

Outre les trois boutons dont on a expliqué le rôle ci-dessus, voici quelques explications sur l'interface du logiciel. Graphiquement il se compose de 4 zones représentées en rouge ci-dessous.
On retrouve également des éléments de choix et d'options (représentés en vert sur l'impression écran).

Allure de l'interface

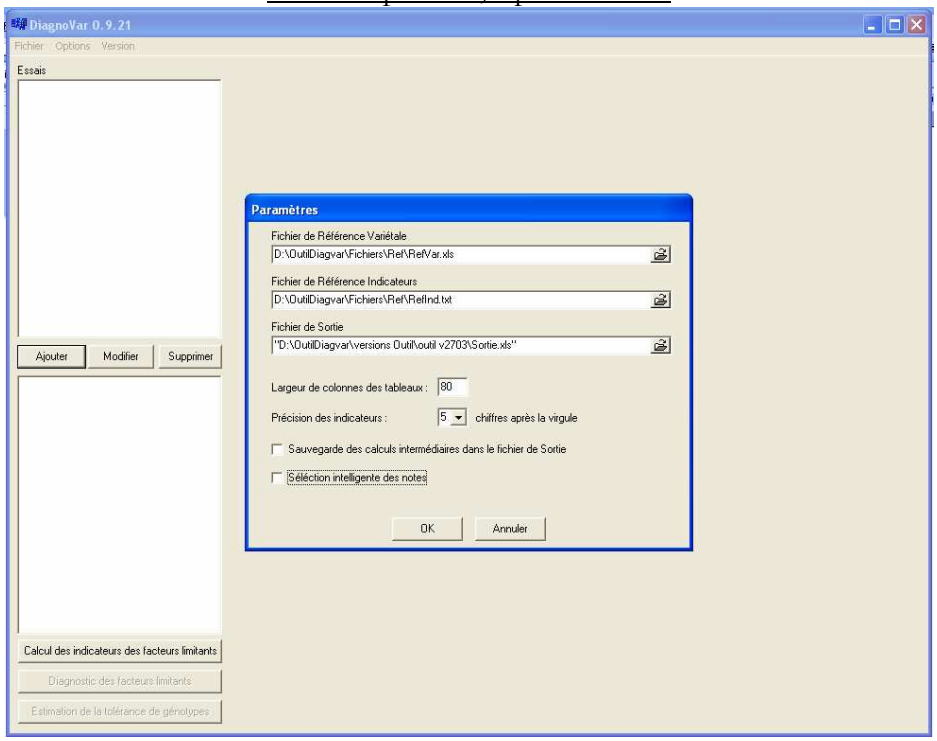


Les menus

Le menu fichier comporte 4 options : « Nouveau », « Ouvrir », « Enregistrer sous », « Quitter ». Ce menu permet principalement de sauvegarder ou rappeler une combinaison de fichiers d'entrées déjà introduite dans l'outil.
Le menu Options permet d'accéder aux paramètres (voir impression d'écran ci-dessous). On y trouve les renseignements suivants :

- Emplacements des fichiers de référence qui sont indispensables au fonctionnement de l'outil
- Emplacement du fichier Excel contenant l'ensemble des données de sortie
- Paramétrage de la taille des colonnes dans la fenêtre de visualisation du logiciel
- Précision des indicateurs de facteurs limitants
- Possibilité de sauvegarder les calculs journaliers qui aboutissent aux facteurs limitants (étape 1)
- Possibilité de choisir l'étape de sauvegarde des notes (étape 3) : on reviendra sur ce point.

Menu « options », « paramètres »



A faire avant la première utilisation

Il faut définir l'emplacement des fichiers de référence qui lui permettent de fonctionner :

- Le fichier RefVar.xls qui comporte les données de rendement potentiel des témoins révélateurs
- Le fichier RefInd.txt qui comporte quelques valeurs caractéristiques de la culture de blé (phyllochrone par exemple) et les valeurs mini et maxi observées pour les facteurs limitants sur les réseaux traités par Christophe Lecomte durant son travail sur l'outil.

Ces deux fichiers sont fournis avec l'outil.

Il faut également indiquer à l'outil où et sous quel nom mettre le fichier Excel de sortie dans lequel sera stocké l'ensemble des données numériques.

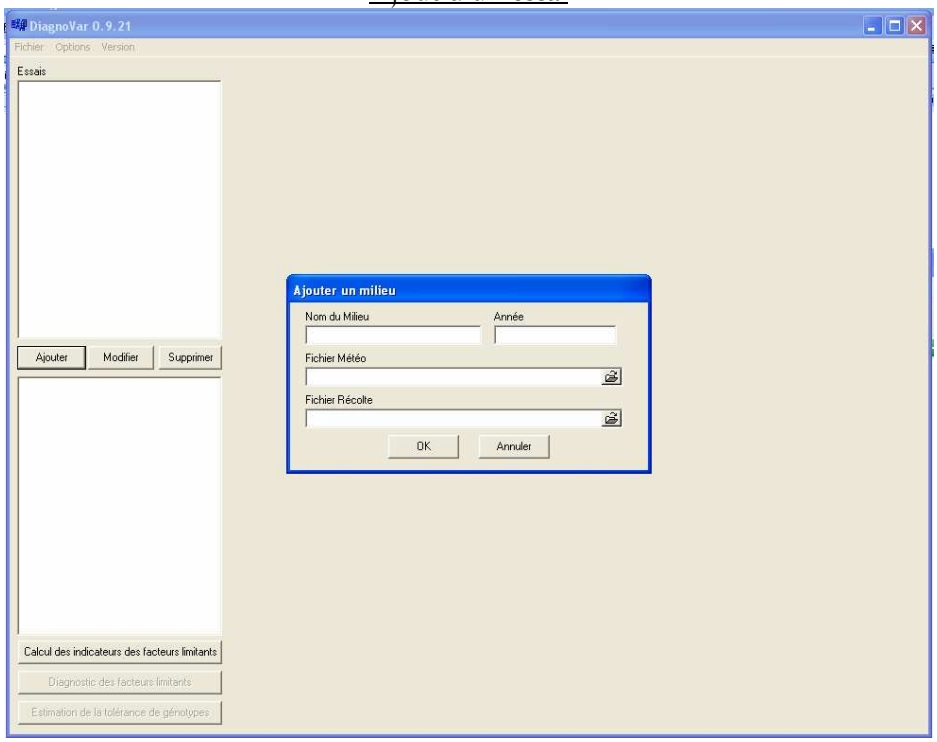
L'ensemble de ces opérations se fait dans le menu Options, Paramètres. A la première utilisation, lorsque vous cliquerez sur ce menu, l'outil va vous signaler que vous n'avez pas encore défini les fichiers définis ci-dessus. Cliquez sur OK, le menu « Options », « Paramètres » s'ouvre et vous permet de les définir.

Vérifiez également dans ce menu que la précision des indicateurs est bien à au moins 2 chiffres après la virgule (on peut perdre en précision si on choisit de trop arrondir les indicateurs de facteurs limitants).

ETAPE PRELIMINAIRE : données d'entrée

Les données d'entrée consistent en des couples, par combinaison lieu*année (essais), de fichiers météo / fichier récolte. Pour ajouter un essai, il faut cliquer sur le bouton « Ajouter ».

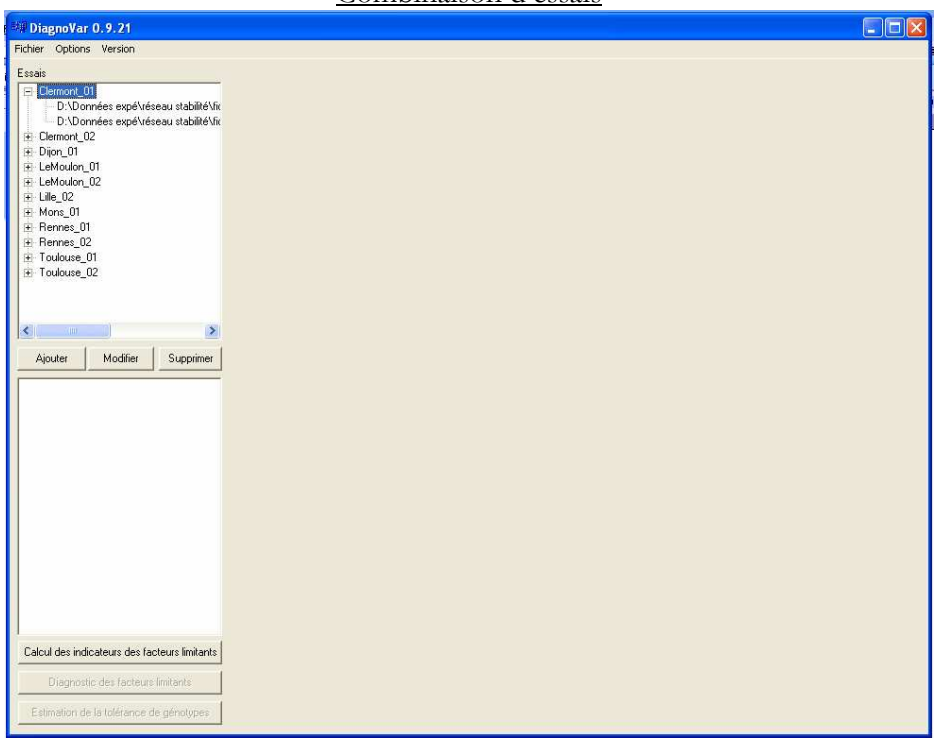
Ajout d'un essai



Vous devez indiquer un nom pour le lieu et préciser l'année, indiquer dans votre arborescence l'emplacement du fichier météo et du fichier récolte.

Ci-dessous un exemple de combinaisons d'essais :

Combinaison d'essais



Si vous cliquez sur un essai, vous voyez apparaître le fichier météo et le fichier récolte. Si vous cliquez sur un de ces deux fichiers, vous pouvez visualiser (mais pas modifier) les données qu'ils contiennent. Pour cela, vous voyez une série de tables « Data… » qui contiennent les données du fichier Excel d'origine.

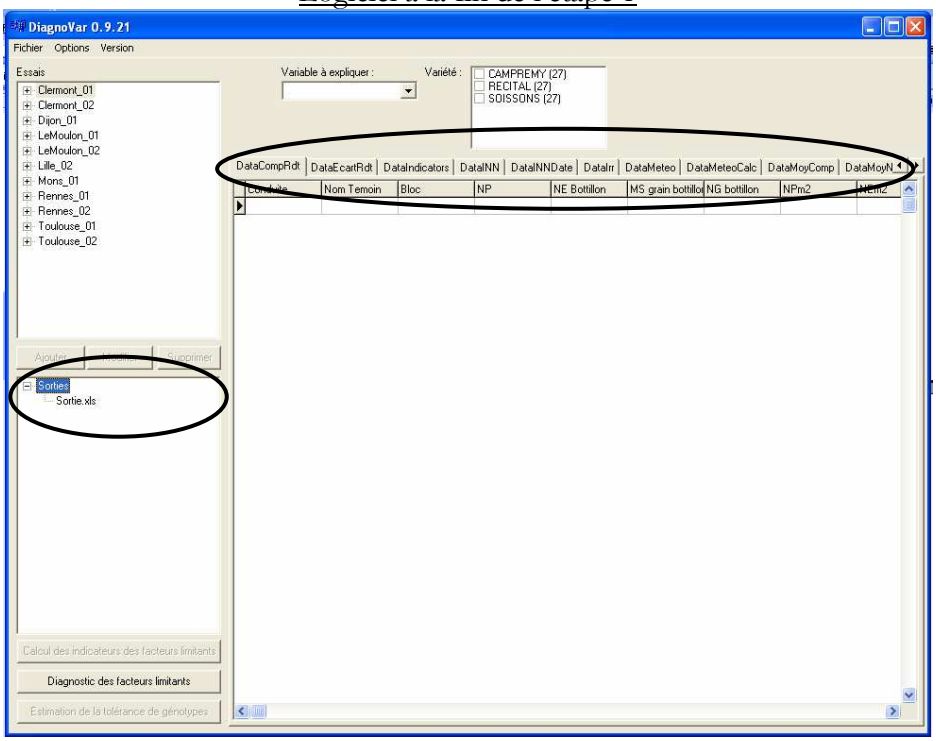
Vous avez la possibilité de modifier les emplacements des fichiers d'un essai ou de supprimer un essai en cliquant sur les boutons correspondants.
La saisie des essais peut être fastidieuse lorsque vous avez des combinaisons importantes. N'hésitez donc pas à sauvegarder les données d'une combinaison, en passant par le menu « fichier », « enregistrer sous » qui crée un « fichier.sav » que vous pourrez rappeler ensuite.

ETAPE 1 : calcul des indicateurs de facteurs limitants

Sorties de l'étape 1

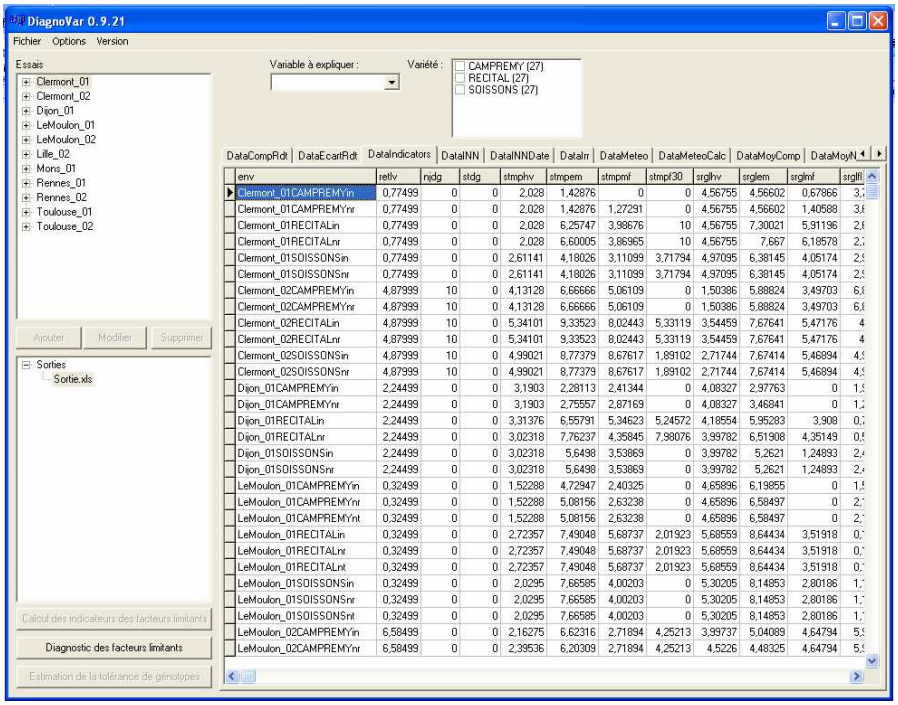
Une fois la combinaison des essais que vous voulez analyser entrée dans l'outil, cliquez sur le bouton « calcul des indicateurs de facteurs limitants ». L'outil va faire apparaître une barre de progression qui vous permet de suivre l'avancement des calculs.
A l'issue de cette étape, un fichier est apparu dans la zone des données de sortie : il s'agit du fichier Excel de sortie. Vous pouvez le visualiser dans le logiciel en cliquant sur le nom du fichier mais vous ne pouvez pas modifier des données dans ce fichier à partir du logiciel

Logiciel à la fin de l'étape 1



Les données calculées à l'étape 1 se trouvent dans la table « DataIndicators » (voir exemple ci-dessous). Cette table contient la valeur des indicateurs de facteurs limitants pour toutes les combinaisons lieu*année*témoin*conduite des données d'entrée. Les indicateurs sont tous sur une échelle de 0 à 10 : 0 signifie que le facteur limitant n'est pas apparu dans la combinaison lieu*année*témoin*conduite et 10 signifie que le facteur limitant s'est exprimé très fortement dans le milieu.

Table DataIndicators



env	retlv	njdg	stdg	stmphv	stmpem	stmpmf	stmpf30	srglhv	srglem	srglmf	srglfl
Clermont_01CAMPREMYin	0,77499	0	0	2,028	1,42876	0	0	4,56755	4,56602	0,67866	3,
Clermont_01CAMPREMYnr	0,77499	0	0	2,028	1,42876	1,27291	0	4,56755	4,56602	1,40588	3,
Clermont_01RECITALin	0,77499	0	0	2,028	6,25747	3,98676	10	4,56755	7,30021	5,91196	2,
Clermont_01RECITALnr	0,77499	0	0	2,028	6,60005	3,86965	10	4,56755	7,667	6,18578	2,
Clermont_01SOISSONSin	0,77499	0	0	2,61141	4,18026	3,11099	3,71794	4,97095	6,38145	4,05174	2,
Clermont_01SOISSONSnr	0,77499	0	0	2,61141	4,18026	3,11099	3,71794	4,97095	6,38145	4,05174	2,
Clermont_02CAMPREMYin	4,87999	10	0	4,13128	6,66666	5,06109	0	1,50386	5,88824	3,49703	6,
Clermont_02CAMPREMYnr	4,87999	10	0	4,13128	6,66666	5,06109	0	1,50386	5,88824	3,49703	6,
Clermont_02RECITALin	4,87999	10	0	5,34101	9,33523	8,02443	5,33119	3,54459	7,67641	5,47176	4
Clermont_02RECITALnr	4,87999	10	0	5,34101	9,33523	8,02443	5,33119	3,54459	7,67641	5,47176	4
Clermont_02SOISSONSin	4,87999	10	0	4,99021	8,77379	8,67617	1,89102	2,71744	7,67414	5,46894	4,
Clermont_02SOISSONSnr	4,87999	10	0	4,99021	8,77379	8,67617	1,89102	2,71744	7,67414	5,46894	4,
Dijon_01CAMPREMYin	2,24499	0	0	3,1903	2,28113	2,41344	0	4,08327	2,97763	0	1,
Dijon_01CAMPREMYnr	2,24499	0	0	3,1903	2,75557	2,87169	0	4,08327	3,46841	0	1,
Dijon_01RECITALin	2,24499	0	0	3,31376	6,55791	5,34623	5,24572	4,18554	5,95283	3,908	0,
Dijon_01RECITALnr	2,24499	0	0	3,02318	7,76237	4,35845	7,98076	3,99782	6,51908	4,35149	0,
Dijon_01SOISSONSin	2,24499	0	0	3,02318	5,6498	3,53869	0	3,99782	5,2621	1,24893	2,
Dijon_01SOISSONSnr	2,24499	0	0	3,02318	5,6498	3,53869	0	3,99782	5,2621	1,24893	2,
LeMoulon_01CAMPREMYin	0,32499	0	0	1,52288	4,72947	2,40325	0	4,65896	6,19855	0	1,
LeMoulon_01CAMPREMYnr	0,32499	0	0	1,52288	5,08156	2,63238	0	4,65896	6,58497	0	2,
LeMoulon_01CAMPREMYnt	0,32499	0	0	1,52288	5,08156	2,63238	0	4,65896	6,58497	0	2,
LeMoulon_01RECITALin	0,32499	0	0	2,72357	7,49048	5,68737	2,01923	5,68559	8,64434	3,51918	0,
LeMoulon_01RECITALnr	0,32499	0	0	2,72357	7,49048	5,68737	2,01923	5,68559	8,64434	3,51918	0,
LeMoulon_01RECITALnt	0,32499	0	0	2,72357	7,49048	5,68737	2,01923	5,68559	8,64434	3,51918	0,
LeMoulon_01SOISSONSin	0,32499	0	0	2,0295	7,66585	4,00203	0	5,30205	8,14853	2,80186	1,
LeMoulon_01SOISSONSnr	0,32499	0	0	2,0295	7,66585	4,00203	0	5,30205	8,14853	2,80186	1,
LeMoulon_01SOISSONSnt	0,32499	0	0	2,0295	7,66585	4,00203	0	5,30205	8,14853	2,80186	1,
LeMoulon_02CAMPREMYin	6,58499	0	0	2,16275	6,62316	2,71894	4,25213	3,99737	5,04089	4,64794	5,
LeMoulon_02CAMPREMYnr	6,58499	0	0	2,39536	6,20309	2,71894	4,25213	4,5226	4,48325	4,64794	5,

Code des facteurs limitants

Voici le tableau explicatif des codes utilisés pour les facteurs limitants. La première colonne contient la première partie du code. Il faut accoler à cette première partie le suffixe qui apparaît dans la deuxième colonne et qui précise la période de culture à laquelle le facteur limitant s'est exprimé. Si la deuxième colonne est vide, cela signifie que le facteur limitant est caractéristique d'une période donnée. Par exemple, retlv est le facteur limitant lié à un retard à la levée. Il ne se décline pas par période de culture. En revanche, stmp, qui représente les somme de températures journalières, se décline durant la phase hivernale –hv (le facteur limitant s'appelle alors stmphv), la phase -em (épi1cm-méiose), la phase –mf (méiose-floraison) etc. Les codes des périodes de culture se trouvent à la fin du tableau.

retlv		:	Retard à la levée = Somme des tmp moy. journ. en °C base 0 de semis + 120dj (exc) à la levée (inc)
njdg		:	Nb de jours où la tmp minimale journ. en °C < résist au froid du génotype de Semis (exc) à Ep1 (exc)
stdg		:	Σ des tmp minimales journ. en °C < résist au froid du génotype de Semis (exc) à Ep1 (exc)
stmp-	(hv, em, mf, f30)	:	Σ des tmp moyennes journalières en °C base 0 par phases de développement (*)
srgl-	(hv, em, mf, f30, fl, lm)	:	Σ des rayonnements globaux journaliers en J/cm² par phases de développement (*)
rgst-	(hv, em, mf, f30)	:	Rapport Srgl / Stmp par phases de développement (*)
xeauhv		:	Σ des différences P-ETP journ. en mm >0 du semis (exc) au stade Ep1 (exc)
spetp-	(hv, em, mf, fl, lm)	:	Σ des différences P-ETP journ. en mm par phases de développement
sdf-	(em, mf, fl, lm)	:	Σ des déficits hydriques journ. (ETR-ETM en mm quand ETR<ETM) par phases
spetpe1		:	Σ des P-ETP journ. en mm de Ep1-150dj (inc) à Ep1+350dj (exc)
njss,	njst	:	Nb de jours secs successifs ou total (P<=ETP en mm) de Ep1-150dj (inc) à Ep1+350dj (exc)
njge,	sti4	:	Nb de jours de gel d'épi (tmp minimale < -4°C) et stmp mini journ. <-4° de Ep1 (inc) à Flo (exc)
njt0f,	st0f	:	Nb de jours où la tmp minimale journ. est < 0°C et stmp mini journ. <0° de Epi (inc) à Epi+300dj (exc)
srglm-	(g, m)	:	Somme des rayonts globaux journ. en °C de Mei-100dj (inc) à Epi (inc), de Mei-5j (inc) à Mei+5j (inc)
nji10m,	sri10m	:	Nbj où le rayont glob est < 1045 kJ/m² et Σdes rayont < 1045 kJ/m² de Mei-5j (inc) à Mei+5j (inc)
nj25m,	st25m	:	Nb de jours où tmp maxi >= 25°C et somme des tmp max > 25°C de Mei-5j (inc) à Mei+5j (inc)
nj25ef	st25ef	:	Nb de jours où tmax >=25° et somme des tmp max > 25°C de Epi (inc) à Flo (exc)
nj25fl	st25fl	:	Nb de jours où tmax >=25° et somme des tmp max > 25°C de Flo (inc) à Stl (exc)
nj25lm	st25lm	:	Nb de jours où tmax >=25° et somme des tmp max > 25°C de Stl (inc) à Mat. (exc)
vmo	vrp, ma	:	Note de verse (de 1=non versé à 9=totalement versé) pendant la montaison, le rempl et à maturité
omo, orp,	bmo, brp, jmo, jrp, sfmo, sfrp	:	Notes de maladies (de 1=aucun symptôme à 9=totalement recouvert par la maladie) pendant la montaison et pendant le remplissage : oïdium, rouille brune, rouille jaune, septoriose sur feuillage
mpmo,	mprp	:	Maladies du pied en % pendant la montaison et pendant le remplissage
ferp		:	Fusariose sur épis (de 1=aucun symptôme à 9=totalement recouvert par la maladie) pendant le rempl.
merp		:	Maladies de l'épi (oïdium + fusariose + septoria nodorum), de 1 à 9, pendant le remplissage
rbeta			Rapport β = Azote absorbé à maturité / NGm², rapporté à une référence variétale
inn-			Indice de nutrition azotée à la floraison : taux d'azote des parties aériennes rapporté à la valeur seuil définie par la courbe de dilution de l'azote dans la plante au cours de la montaison.

(*) *-hv* : phase hivernale (du semis au stade épi 1cm), *-em* : du stade épi 1cm à la méiose, *-mf* : de la méiose à la floraison, *-ef* : de l'épiaison à la floraison, *-f30* : de floraison – 30j à la floraison, *-fl* : de la floraison au stade laiteux, *-lm* : du stade laiteux à la maturité. *Ep1* : Stade épi 1cm ; *Mei* : stade méiose pollinique ; *Epi* : stade épiaison ; *Flo* :stade floraison ; *Stl* : stade laiteux ; *Mat* : maturité

Tables Excel apparaissant après l'étape 1

Outre la table DataIndicators, on voit que le fichier Excel contient plusieurs feuilles différentes :

- Les tables DataMeteo, DataCompRdt, DataINN, DataINNDate,DataIrr, DataCompMoy, DataMoyNotations, DataMoyRdt, DataNotations, DataNotationsDate, DataNotationsMoyMinMax, DataRdt, DataRU et DataStades correspondent aux données provenant des fichiers d'entrée (météo et récolte).
- Les tables TempTable et TempTable2 servent uniquement aux transferts de l'outil et sont vides
- Reftable correspond aux données du fichier de référence variétale, RefVar.xls
- DataEcartRdt calcule les écarts, en pourcentage entre rendements observés dans les combinaisons lieu*année*témoin*conduite et rendement potentiel provenant de reftable.
- DataMeteoCalc, DataStadesCalc et DataSpecStades sont des tables de calculs intermédiaires autour des stades de culture. Dans DataStadesCalc, on trouvera la liste de toutes les dates de stades (et degrés jour correspondants), données ou estimées, pour chaque combinaison lieu*année*témoin*conduite : semis, levée, épi1cm, épiaison, récolte, puis méiose, floraison stade laiteux, maturité.

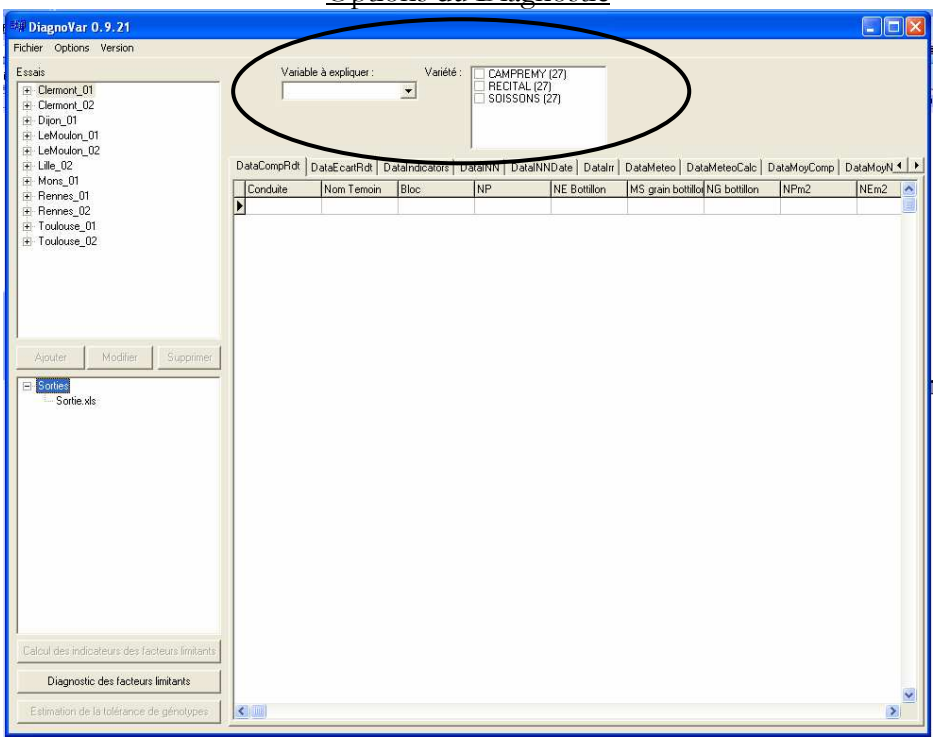
ETAPE 2 : Diagnostic des milieux

Dans cette étape, on cherche à expliquer pourquoi la variété témoin n'a pas atteint son rendement potentiel dans chaque milieu (combinaison lieu*année*conduite). On cherche donc à expliquer un écart de rendement (entre rendement observé dans le milieu et rendement potentiel) en fonction des facteurs limitants qui étaient présents dans les milieux, que l'on a caractérisés dans l'étape 1. On utilise pour cela une régression linéaire multiple où on cherche le meilleur modèle expliquant la perte de rendement en fonction des indicateurs de facteurs limitants.

Options de l'étape Diagnostic

Après l'étape 1, des éléments sont apparus dans la fenêtre des options du diagnostic.

Options du Diagnostic



La partie « Variable à expliquer » permet de choisir la variable sur laquelle sera fait le diagnostic (rendement, PMG ou NG). Dans le prototype, seul le rendement peut être expliqué.

La partie « Variété » permet de voir quelles sont les variétés témoins présentes dans les données d'entrée et dans combien de combinaisons lieu*année*témoin*conduite on trouve ce témoin. Vous pouvez choisir de sélectionner toutes les variétés témoins ou quelques unes seulement. Le diagnostic se fait sur chaque variété témoin choisie. C'est la complémentarité des variétés témoins qui permet d'être sûr, à la fin du diagnostic, qu'on a bien décrit l'ensemble des facteurs limitants qui peuvent jouer dans un milieu.

Sorties de l'étape Diagnostic des milieux

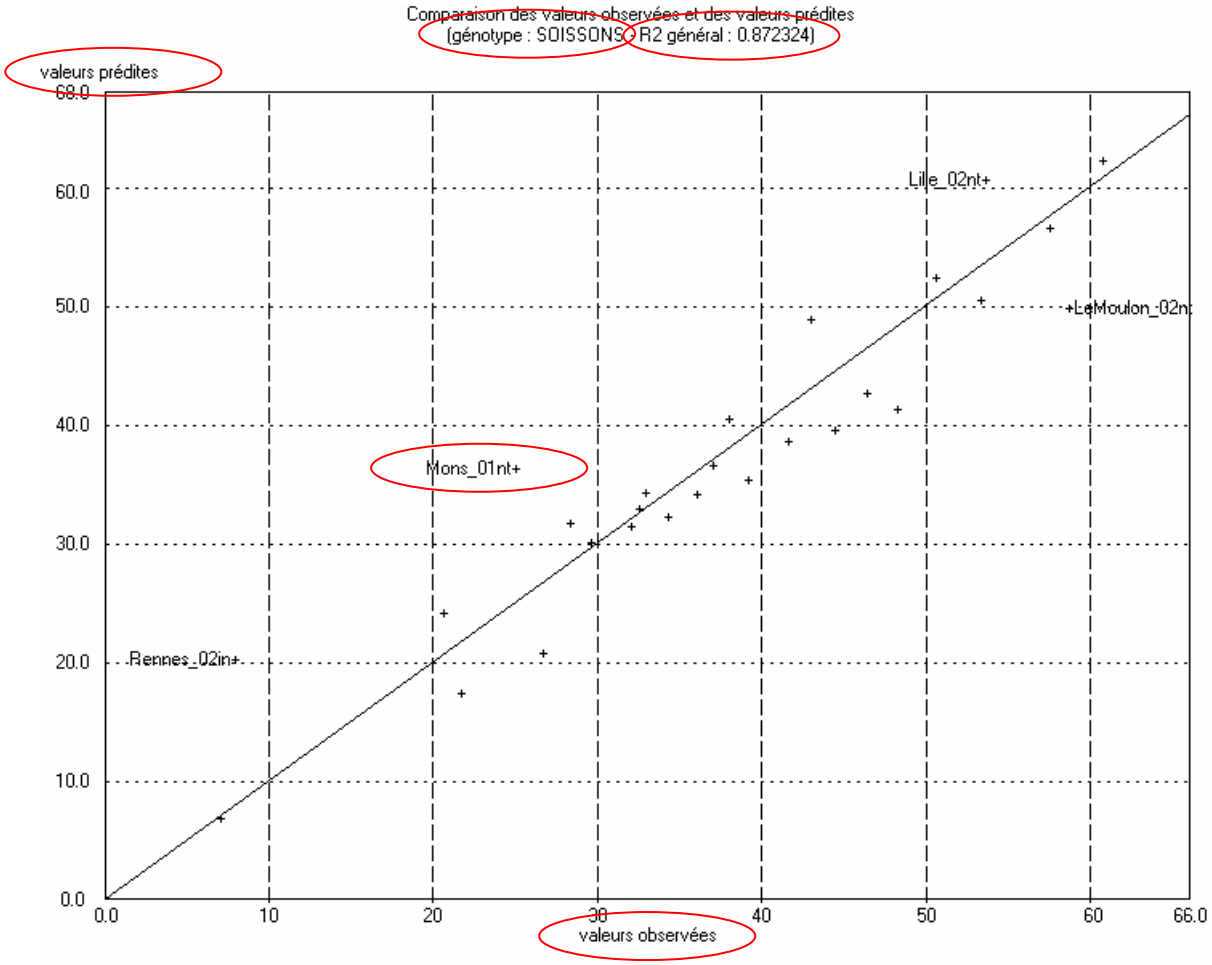
On obtient deux types de sorties à l'issue de cette étape :

- Des sorties graphiques
- De nouvelles tables de données numériques qui sont rajoutées aux tables déjà existantes du fichier Excel

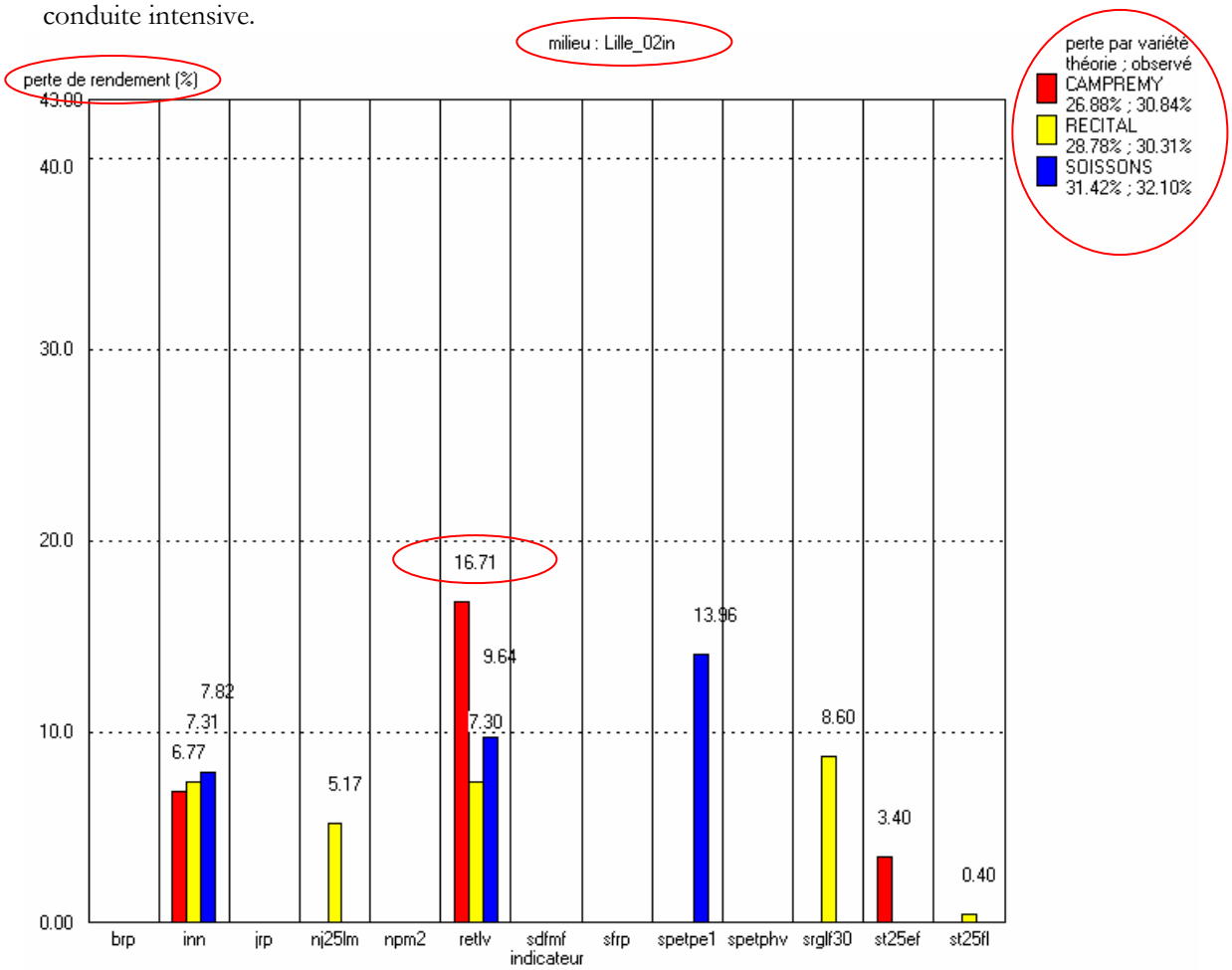
Graphiques de la partie « Diagnostic des milieux »

Trois types de graphiques sont disponibles :

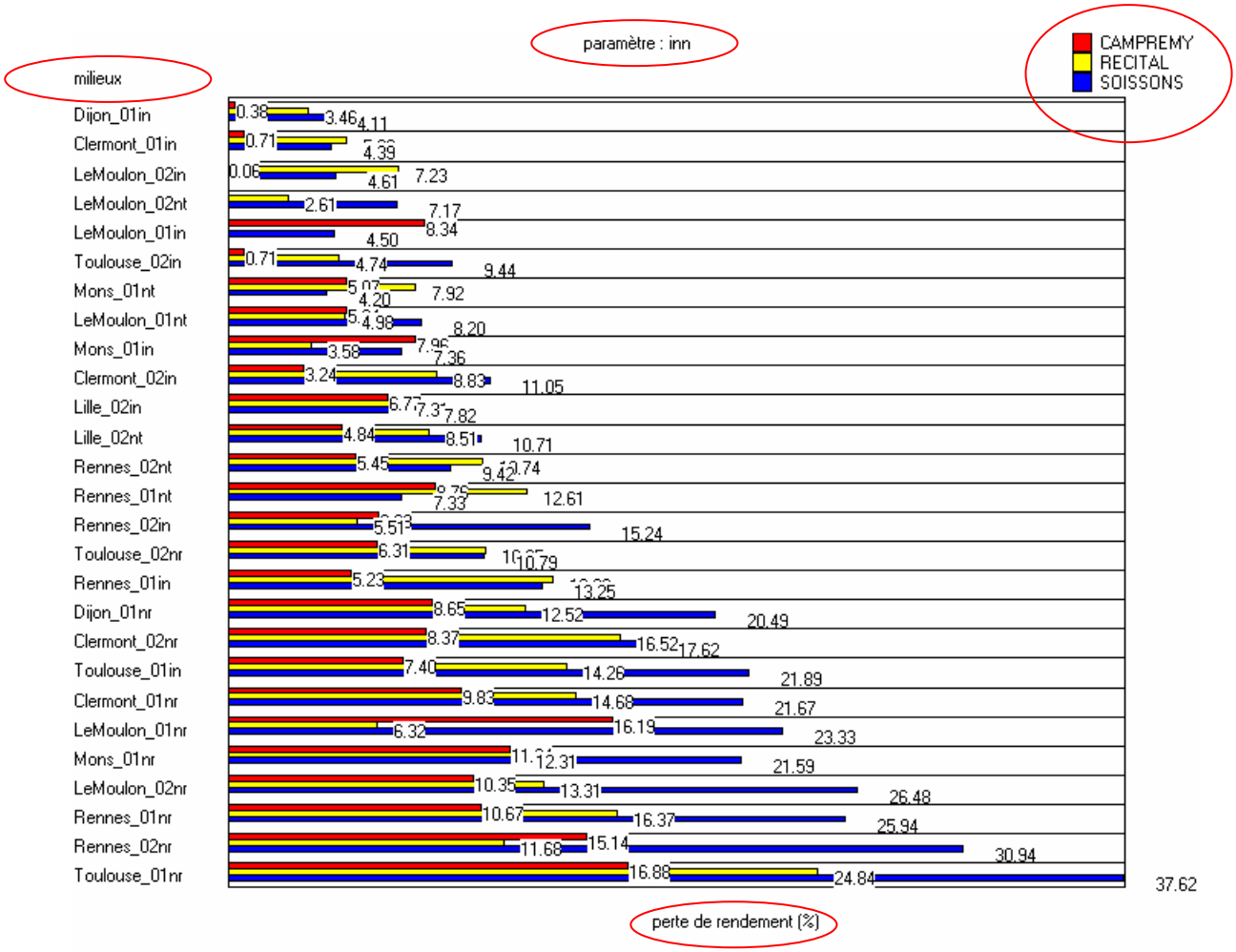
- Régression : Graphes comparant la perte de rendement observée et la perte de rendement prévue par l'outil, pour chaque variété témoin (génotype révélateur). La qualité de la prédiction de l'outil peut se juger grâce à la valeur du R^2 (coefficient de détermination, en %). Les milieux s'écartant le plus de la courbe sont identifiés.



- Milieu : Poids des différents facteurs limitants dans un milieu expérimental donné, pour les variétés témoins (abscisses : nature des facteurs limitants présents, ordonnées : perte de rendement occasionnée par les facteurs limitants, code couleur : variété témoin). Ici, exemple du milieu Lille en 2002 et en conduite intensive.



- Facteurs : Classement des milieux par facteurs limitants pour les variétés témoins (abscisse : milieux, ordonnées : pertes de rendement dues au facteur limitant étudié). Ici exemple du facteur limitant « carence azotée pendant la montaison. »



Tables du fichier Excel liées à la partie « Diagnostic des milieux »

Les tables Excel créées lors de l'étape 2 sont les suivantes :

- DataRegLin : très compliquée et pas claire : à ne pas forcément regarder !!
- DataR2Gene : donne les valeurs des R^2 traduisant l'ajustement entre écart de rendement observé et écart de rendement prédit par l'outil, pour chaque variété témoin
- DataR2Part : pour chaque variété témoin, donne le nom des indicateurs de facteurs limitants retenus, la part de variation qu'ils expliquent et la valeur du paramètre associé
- DataPoidsIndicators : donne le poids sur la perte de rendement de chaque indicateur de facteur limitant, dans chaque combinaison lieu*année*témoin*conduite

ETAPE 3 : estimation de la tolérance des génotypes

Au cours de cette étape, on cherche à expliquer le comportement de l'ensemble des génotypes présents (et plus uniquement les variétés témoins) dans les essais introduits en fonction des facteurs limitants dont on a montré qu'ils avaient un effet significatif dans les milieux. En effet, l'hypothèse que l'on fait à l'issue de l'étape 2 est de dire que si les variétés témoins ont été bien choisies, on a décrit l'ensemble des facteurs limitants qui jouent dans chaque milieu. On est donc capable d'expliquer pourquoi les génotypes se comportent plus ou moins bien en fonction des facteurs limitants qui s'expriment.

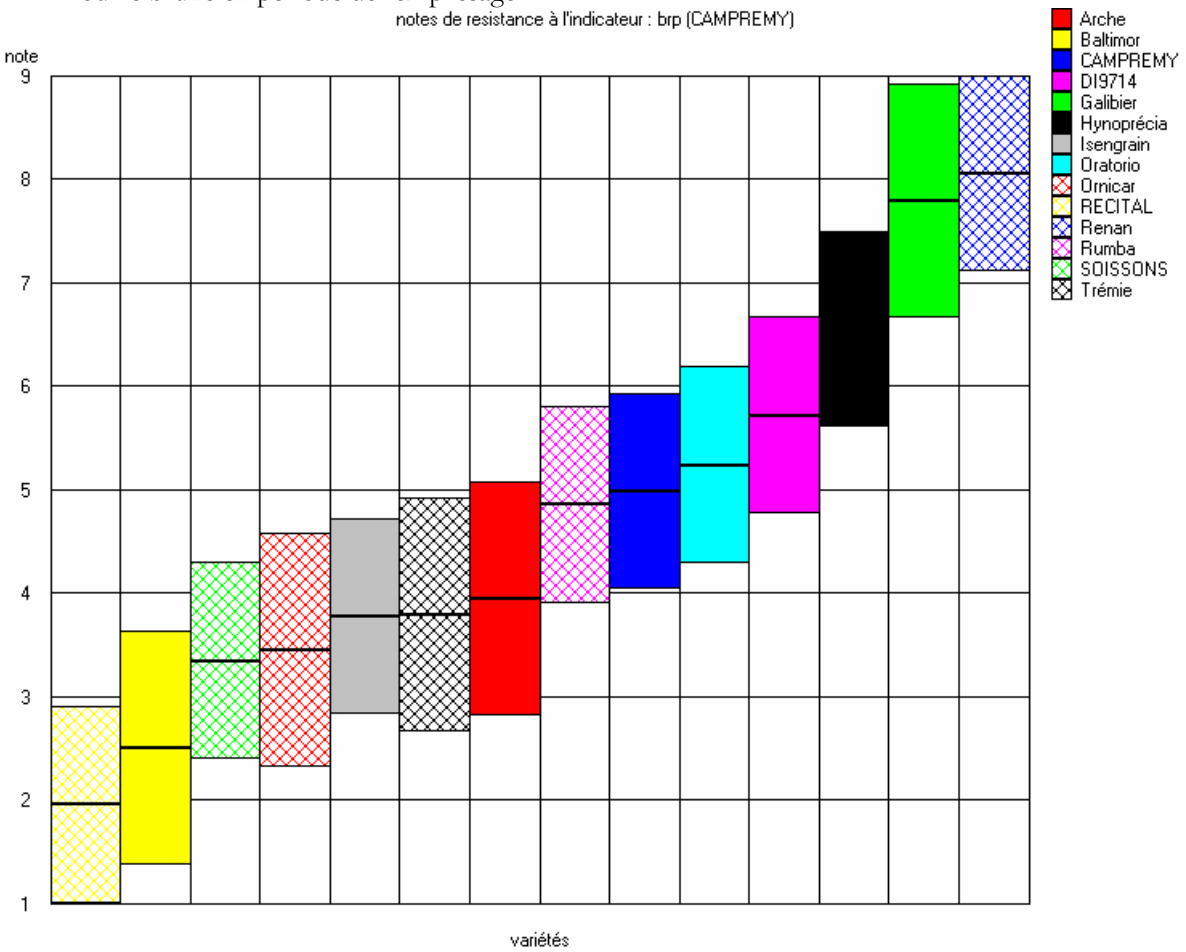
Pour arriver à ce résultat, on procède par une régression factorielle où l'on cherche à expliquer le rendement en fonction d'un effet milieu, d'un effet génotype et d'une interaction génotype*milieu. On utilise l'étape 2 pour décomposer l'interaction génotype*milieu en une interaction génotype*facteur limitant et génotype*reste de l'effet milieu. On essaie donc d'avoir le meilleur modèle de régression possible en introduisant les facteurs

limitants les uns après les autres : on cherche le meilleur modèle avec un facteur limitant puis celui avec 2 facteurs limitants, etc jusqu'à ce que l'ajout d'un facteur limitant n'ait plus d'effet significatif.
Comme à l'étape 2, on obtient deux grands types de sorties :

- Des sorties graphiques
- De nouvelles tables de données numériques qui sont rajoutées aux tables déjà existantes du fichier Excel

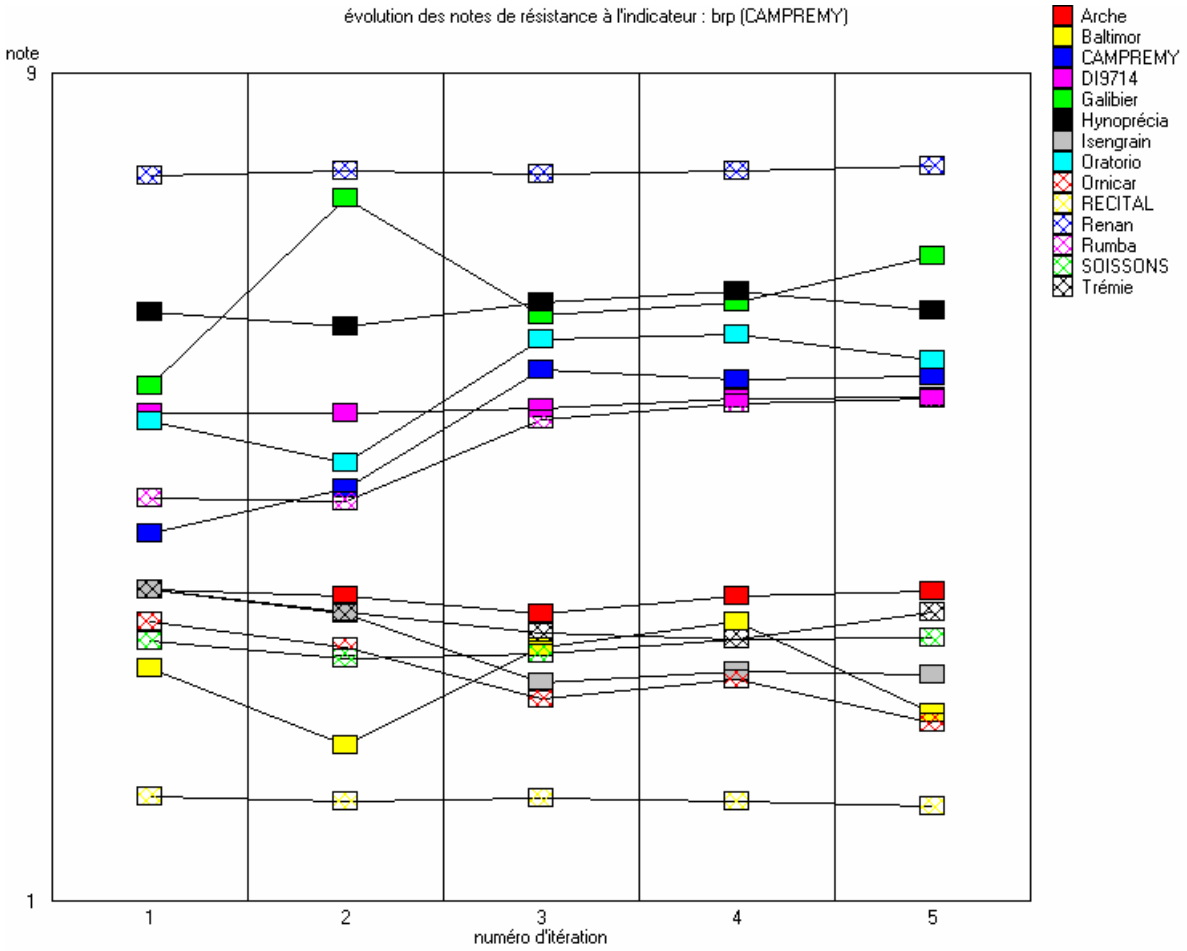
Graphiques de la partie « Estimation de la résistance des génotypes »

- Notes : Notes de résistance (de 1 à 9 en ordonnées. 1 : le génotype est très sensible. 9 : le génotype est très résistant) à un facteur limitant pour les différents génotypes (code couleurs). Plus que des notes à prendre telles quelles, il s'agit surtout d'observer le classement des génotypes les uns par rapport aux autres. Dans l'exemple, on a un classement de la résistance des génotypes par rapport au facteur limitant « rouille brune en période de remplissage ».



- Evolution : Evolution des notes au cours de l'avancée des calculs dans l'étape 3.

On a vu que l'on cherchait tout d'abord le meilleur modèle à un seul facteur limitant, puis à deux facteurs et ainsi de suite. On avance donc par étape dans la régression factorielle. Or les notes évoluent d'une étape à l'autre : la note de rouille brune de Arche va évoluer suivant qu'on a introduit dans la régression uniquement le facteur limitant « rouille brune » ou si on rajoute en deuxième facteur limitant l'INN. Pour l'instant, on ne sait pas dire de façon sûre quelle est la meilleure étape à laquelle conserver les notes. On a donc choisi de donner la possibilité à l'utilisateur de choisir l'étape à laquelle il veut choisir la note. On fait donc apparaître dans les graphiques « évolution », la façon dont la note évolue au cours des étapes de la régression. Ici, on a l'exemple de la note de résistance à la rouille brune (remplissage) en fonction du nombre de facteurs limitants introduits dans la régression factorielle. La régression a fait sortir 5 facteurs limitants ce qui explique qu'on ait 5 étapes et la rouille brune était le premier facteur limitant introduit, ce qui explique qu'on voit évoluer sa note sur les 5 étapes. En ordonnées, l'intensité de la note de résistance. En abscisse, l'étape dans la régression factorielle. Les différents figurés représentent les différents génotypes.



- Précocité : Notes de résistance (de 1 à 9 en ordonnées. 1 : le génotype est très sensible. 9 : le génotype est très résistant) à un facteur limitant pour les différents génotypes (code couleurs) **corrigées par la précocité**. Pour les notes dont on montre qu'elles sont significativement corrélées à la précocité du génotype (cas par exemple d'une maladie qui aurait touché surtout les variétés précoces), on corrige la valeur de la note en fonction de la précocité du génotype. On obtient alors un nouveau classement des génotypes, en fonction de leur résistance **intrinsèque** à un facteur limitant. On obtient le même type de graphique que pour les notes. Si aucune note n'est significativement corrélée à la précocité, il n'y a pas de nouveau graphique dans la partie précocité.

Tables liées à la partie « Estimation de la résistance des génotypes »

Les tables Excel créées lors de l'étape 3 sont les suivantes :

- DataIndicatorsRefFact : la régression factorielle utilise les valeurs des indicateurs de facteurs limitants, centrées et réduites. Ce sont ces valeurs centrées réduites que l'on lit dans la table
- DataNoReg : liste des facteurs limitants qui sont introduits dans la régression factorielle
- DataCoefHistoResi : pour chaque étape de la régression factorielle (colonne ITER), on voit la valeur du paramètre lié au terme d'interaction génotype*facteur limitant, pour chaque génotype présent. Ce sont ces paramètres qui, une fois transformés sur une échelle de 1 à 9, donnent les notes de résistance.
- DataNotesResi : notes corrigées de 1 à 9
- DataNotesResiPreco : notes de 1 à 9 après correction par la précocité
- DataPreco : valeurs utilisées pour estimer la précocité des génotypes, en quantièmes. Ces valeurs proviennent de la table Notations, dans le fichier d'entrée Récolte.
- DataR2RegFact : donne le R^2 de la régression factorielle, au fur et à mesure des étapes
- DataRegFact : table compliquée qui explique comment se fait le choix et l'introduction des différents facteurs limitants dans la régression factorielle. Me demander pour plus de détails.

Stockage des sorties

L'ensemble des sorties de l'outil (graphiques +fichier excel de sortie) est stocké dans un répertoire. Le nom de ce répertoire est constitué de la date et de l'heure correspondant au moment où vous faites tourner l'outil. Dans ce répertoire, vous trouvez le fichier de sortie, puis 3 répertoires correspondant aux trois étapes, qui contiennent les différentes sorties graphiques.

Le répertoire de sortie se crée à l'emplacement où vous avez placé le fichier Excel de sortie, dans le menu « Options », « Paramètres ».

FICHE D'UTILISATION

A remplir à chaque fois que vous utilisez l'outil

REMARQUE : à la fin de l'utilisation, n'oubliez pas d'enregistrer le répertoire correspondant à votre utilisation de l'outil sur le CD et n'hésitez pas à imprimer les sorties sur lesquelles vous souhaitez réagir (soit qu'elles vous posent problème, ou au contraire qu'elles vous semblent pertinentes) en entourant sur le document les éléments importants/intéressants et en mettant un petit commentaire pour qu'on puisse revenir facilement ensemble dessus

Date d'utilisation : _____Heure début/ Heure fin : _____
Nom de l'utilisateur : _____Utilisation n° :_____

COMBINAISON D'ESSAIS TESTEE

Cochez les essais que vous retenez ou barrez ce que vous éliminez. (ext : conduite extensive, int : intensive, nt : non traitée, fi : faible intrants)

Pourquoi une telle combinaison ? (ex : qu'est-ce que vous attendez de cette combinaison, à quels paramètres anticipez-vous que vous serez attentifs sur cette combinaison … ?)

- ☐ Bouy 2005 int
- ☐ Brosse Montceaux 2004 int
- ☐ Brosse Montceaux 2004 ext
- ☐ Brosse Montceaux 2005 int
- ☐ Brosse Montceaux 2005 ext
- ☐ Cappelle 2004 int
- ☐ Cappelle 2004 ext
- ☐ Cappelle 2005 int
- ☐ Cappelle 2005 ext
- ☐ Dijon 2004 int
- ☐ Dijon 2004 ext
- ☐ Dijon 2005 int
- ☐ Dijon 2005 nt
- ☐ Etoile 2004 int
- ☐ Etoile 2004 ext
- ☐ Houville 2004 int
- ☐ Houville 2004 ext
- ☐ Lhuitre 2004 int
- ☐ Lhuitre 2004 ext
- ☐ Orgerus 2004 int
- ☐ Orgerus 2004 ext
- ☐ Orgerus semis 1 2005 int
- ☐ Orgerus semis 1 2005 ext
- ☐ Orgerus semis 2 2005 int
- ☐ Orgerus semis 2 2005 ext
- ☐ Ouzouer 2004 int
- ☐ Ouzouer 2004 ext
- ☐ Ouzouer 2005 int
- ☐ Ouzouer 2005 nt
- ☐ Prémesques 2004 int
- ☐ Prémesques 2004 ext
- ☐ Prémesques 2005 int
- ☐ Prémesques 2005 ext
- ☐ Rennes 2004 int
- ☐ Rennes 2004 ext
- ☐ Rennes 2005 int
- ☐ Rennes 2005 fi
- ☐ Verneuil 2004 int
- ☐ Verneuil 2004 ext
- ☐ Verneuil 2005 int
- ☐ Verneuil 2005 ext

SORTIES REGARDEES

Sorties graphiques

ETAPE DE L'OUTIL	TYPE DE GRAPHIQUE	REMARQUES PARTICULIERES, SUR UN OU PLUSIEURS GRAPHIQUES PARTICULIEREMENT : qu'avez-vous regardé dans ces graphiques ? (imprimez ensuite les graphiques qui vous interpellent, vous posent problème, … et annotez-les)
Etape 2 Diagnostic des milieux	**Régression :** graphiques de l'ajustement perte de rdt observée / perte de rdt prédite	
	Graphiques par milieu : Liste des facteurs limitants ayant joué dans un milieu (lieu*année*conduite)	
	Graphiques par facteur limitant Liste de l'expression d'un facteur limitant donné dans les différents milieux	
Etape 3 estimation de la résistance des génotypes	**Notes de résistance** Estimation de la résistance des génotypes pour un facteur limitant	
	Evolution des notes Evolution de la note au cours des étapes de la régression factorielle	
	Notes de résistance corrigées par la précocité Valeurs des notes lorsqu'on dé-corrèle les notes de la précocité des génotypes	

Sorties Excel

ETAPE DE L'OUTIL	NOM DE LA TABLE REGARDEE	REMARQUES PARTICULIERES, SUR UNE OU PLUSIEURS TABLES PARTICULIEREMENT : qu'avez-vous regardé dans ces tables ? (si vous avez fait des graphiques à partir des tables, enregistrez les et imprimez-les)
Etape 1 : calcul des indicateurs de facteurs limitants		
Etape 2 : diagnostic des milieux		
Etape 3 : estimation de la résistance des génotypes		

CONCLUSION SUR L'UTILISATION

La combinaison testée vous a-t-elle paru intéressante ? Pourquoi ?

_____

Est-ce que vous en avez tiré des éléments permettant de considérer que l'outil est fiable dans les résultats qu'il fournit ? Sur quoi vous basez-vous pour le dire ? (idem s'il a donné des résultats non fiables)

_____

Est-ce que cela vous donne des idées de nouvelles combinaisons à tester ? Lesquelles ?

_____

Auriez-vous besoin de tests complémentaires, de plus d'informations sur les données produites ?

_____

<u>REMARQUE :</u> n'oubliez pas d'enregistrer le répertoire correspondant à votre utilisation de l'outil sur le CD et n'hésitez pas à imprimer les sorties sur lesquelles vous souhaitez réagir (soit qu'elles vous posent problème, ou au contraire qu'elles vous fournissent des informations pertinentes) en entourant sur le document les éléments importants/intéressants pour comprendre votre intérêt/problème sur cette sortie, et en mettant un petit commentaire pour qu'on puisse revenir facilement ensemble dessus

FICHE DE COMPARAISONS DE COMBINAISONS

Il s'agit de suivre les comparaisons que vous pouvez être amené à faire d'une utilisation de l'outil à une autre. N'hésitez pas à remplir cette fiche même si vous ne comparez qu'un graphique, ou une donnée entre deux jeux.

Date :
Nom de l'utilisateur :

Quelles sont les combinaisons que vous avez comparées (indiquez le n° des utilisations correspondantes, cf ficheUtilisation. Par exemple, comparaison des utilisations 1 et 3) :

Pourquoi comparer ces combinaisons ? (ex : qu'est-ce que vous attendez de cette comparaison, quels paramètres anticipez-vous de comparer … ?)

SORTIES COMPAREES

Sorties graphiques

ETAPE DE L'OUTIL	TYPE DE GRAPHIQUE	REMARQUES PARTICULIERES : sur quoi vous basez-vous pour faire la comparaison ? (imprimez ensuite les graphiques qui vous interpellent, vous posent problème, … et annotez-les)
Etape 2 Diagnostic des milieux	**Régression :** graphiques de l'ajustement perte de rdt observée / perte de rdt prédite	
	Graphiques par milieu : Liste des facteurs limitants ayant joué dans un milieu (lieu*année*conduite)	
	Graphiques par facteur limitant Liste de l'expression d'un facteur limitant donné dans les différents milieux	
Etape 3 estimation de la résistance des génotypes	**Notes de résistance** Estimation de la résistance des génotypes pour un facteur limitant	
	Evolution des notes Evolution de la note au cours des étapes de la régression factorielle	
	Notes de résistance corrigées par la précocité Valeurs des notes lorsqu'on dé-corrèle les notes de la précocité des génotypes	

Sorties Excel

ETAPE DE L'OUTIL	NOM DES TABLES COMPAREES	REMARQUES PARTICULIERES : sur quoi vous basez-vous pour faire la comparaison ? (si vous avez fait des graphiques à partir des tables, enregistrez les et imprimez-les)
Etape 1 : calcul des indicateurs de facteurs limitants		
Etape 2 : diagnostic des milieux		
Etape 3 : estimation de la résistance des génotypes		

CONCLUSION SUR LA COMPARAISON

Qu'est-ce que cette comparaison vous apporte comme information (information comparative sur des milieux ou des génotypes, information comparative sur le comportement de l'outil d'une utilisation à une autre, etc)?

Apporte-t-elle des éléments de validation (lesquels) ou l'inverse (lesquels) sur les résultats fournis par l'outil ?

Comment confrontez-vous les résultats à votre expertise ?

Est-ce que cela vous donne des idées de nouvelles combinaisons à tester ? Lesquelles ? et de nouvelles comparaisons à effectuer ?

<u>REMARQUE :</u> n'hésitez pas à imprimer les sorties sur lesquelles vous souhaitez réagir (soit qu'elles vous posent problème, ou au contraire qu'elles vous parlent) en entourant sur le document les éléments importants/intéressants et en mettant un petit commentaire pour qu'on puisse revenir facilement ensemble dessus

FICHE DE DEBRIEFING GLOBAL DE L'UTILISATION DE L'OUTIL

A remplir plutôt après une période assez conséquente d'utilisation (donc après plusieurs utilisations).

Date :
Nom de l'utilisateur :

REMARQUE : les questions suivantes essaient de cerner vos impressions par rapport à l'outil, surtout par rapport au fonctionnement et à la méthode qui sous-tendent l'outil. Nous n'axons donc pas ces questions sur l'interface de l'outil. En revanche, vous trouverez à la fin de ce document un espace pour nous faire part des problèmes d'interface que vous avez pu rencontrer et des améliorations auxquelles vous pouvez penser.

DEBRIEFING SUR LA PARTIE GRAPHIQUE :

Quelles sont les sorties graphiques que vous regardez le plus et pourquoi ?

Quelles sont celles qui sont les plus conformes à ce que vous pensiez compte tenu de votre connaissance des situations et sur quoi vous appuyez vous pour le dire ?

Quelles sont celles qui vous posent le plus de problèmes en regard de ce que vous connaissez des situations ? Quels problèmes vous identifiez ?

Quelles sont celles qui vous apportent le plus d'éléments nouveaux ? Quels sont ces éléments nouveaux ?

Quels sont les éléments des graphiques que vous retenez le plus pour juger des résultats fournis par l'outil et pourquoi ?

DEBRIEFING SUR LE FICHIER DE SORTIE EXCEL :

Quels sont les onglets que vous regardez le plus et pourquoi ?

Quels sont ceux qui sont les plus conformes à ce que vous pensiez compte tenu de votre connaissance des situations et sur quoi vous basez vous pour le dire ?

Quels sont ceux qui vous posent le plus de problèmes en regard de ce que vous connaissez des situations ? Quels problèmes identifiez vous ?

Quels sont ceux qui vous apportent le plus d'éléments nouveaux? Quels sont ces éléments nouveaux ?

Quels sont les éléments des onglets que vous retenez le plus pour juger des résultats fournis par l'outil et pourquoi ?

Quels sont les éléments des onglets que vous retenez le plus pour aller plus loin dans l'utilisation des résultats fournis par l'outil et pourquoi ?

COMPLEMENTARITE :

Votre intérêt va plutôt vers les sorties graphiques ? Plutôt vers les sorties Excel ? vers les deux types de sortie ? Sur quel plan voyez-vous une complémentarité des sorties ?

ELEMENTS POSITIFS / PROBLEMES

(Par rapport à la méthode, au logiciel par rapport à son utilité dans votre activité, …)

CONCLUSION

Intérêt de l'outil, pistes de travail, idées à creuser

<u>Vos remarques et idées d'amélioration par rapport à l'interface :</u>

Entretiens PHASE 4

Hypothèse

le dispositif que l'on a mis en place a contribué à la transformation de l'outil d'une part et des activités des acteurs concernés d'autre part. L'hypothèse était forte et précise sur la transformation de l'outil, un peu moins forte et surtout moins précise sur les transformations de l'activité. En effet, côté outil, on souhaitait créer une transformation du modèle qui sous-tend l'outil, au niveau du choix des formalismes et des hypothèses de l'outil. Au niveau des activités, on espérait créer un mouvement de développement en proposant un nouvel outil et en le mettant en débat mais on n'avait pas d'idée préconçue sur ce qui pouvait changer dans l'activité des utilisateurs de l'outil.

Objectif des entretiens auprès des acteurs

voir si le dispositif a effectivement mis en mouvement leur activité et si c'est le cas, voir s'il a suffisamment permis de révéler et d'accompagner des besoins de transformation.
voir si les partenaires ont eu conscience des transformations + de la volonté de transformation

Méthodologie

Inspirée des méthodes de *debriefing* telles qu'elles sont décrites par Samurcay ou Pastré + sur les entretiens d'explicitation de Vermersch. On cherche à focaliser sur le « faire » du dispositif et on essaie pour cela d'aider les partenaires à se remémorer l'ensemble du processus.

Construction générale

2 temps dans l'entretien

- premier temps pour avoir un retour réflexif sur le dispositif. Cette réflexivité est aussi une façon de mettre les partenaires en situation : ils se remémorent ce qui a été fait au cours du dispositif, et peuvent ainsi plus facilement réfléchir ensuite à ce qu'a pu créer le dispositif chez eux
- deuxième temps pour capter les transformations créées par le dispositif dans leur activité

Ces deux temps seront menés au cours d'un même entretien. Auparavant, on interrogera les acteurs par téléphone ce sur qui a changé dans leurs activités depuis deux ans environ. On ne relie pas ça à l'outil, ni au travail qu'on a fait avec eux. Cette intro a pour but de fournir de quoi rebondir si l'acteur ne sait pas quoi répondre dans le deuxième temps de l'entretien.
A la fin de l'entretien, on définira quels étaient les enjeux du dispositif pour nous pour permettre aux acteurs de dire s'ils pensent qu'ils ont été atteints ou pas.

1er temps : retour sur le dispositif

1. « **cela fait deux ans qu'on travaille ensemble. Après ces deux ans de travail, comment définiriez-vous l'enjeu de la collaboration qu'on a eue ?** »

il s'agit ici de cibler une première fois à quoi ils associent le travail commun. Vont-ils renvoyer à la production d'un outil opérationnel, vont-ils renvoyer à une réflexion de fond autour de la modélisation, ont-ils perçu la volonté de transformation qu'on mettait derrière le processus, s'agissait-il uniquement d'entretenir des lieux de dialogue avec la recherche… ?

2. « **si un collègue devait relancer un projet de ce type, qu'est-ce que vous lui raconteriez de cette démarche, pour l'aider à construire une collaboration qui permette d'atteindre de tels enjeux ?** »

ici, on veut voir ce que les acteurs ont retenu spontanément du dispositif. Focalisent-ils sur les réunions de travail avec l'outil ? Ont-il la même perception que nous sur le fait que ces réunions s'inscrivaient dans un processus à plus long terme ? En quels termes parlent-ils du dispositif, quels problèmes ont-ils ressentis, qu'est-ce qui les a marqués ?

3. Après un temps de discussion sur la question 2, **montrer ce qui, pour nous, a été significatif, avec une présentation chronologique et discuter de cette chronologie en comparant à la discussion autour de la question 2**

une fois capté le ressenti principal des partenaires par rapport au dispositif, cette étape a pour objet de confronter notre vision du dispositif à la leur. C'est aussi un moyen de rendre plus « intense » la remémoration de l'ensemble du travail, utile pour le deuxième temps de l'entretien.
Pourquoi vouloir que les partenaires se posent la question de savoir si le dispositif est uniquement constitué des réunions autour de l'outil ?

- pour juger de l'efficacité, de l'impact des différentes formes de collaboration
- pour mettre en situation de parler plus facilement ensuite des transformations
- pour être sûr qu'ils ne parlent pas uniquement de ce qui n'a pas fonctionné
- pour confronter leur façon de voir le dispositif et la nôtre !

4. Revenir finalement sur les gens qui ont participé au processus « **nous vous avions laissé décider des personnes qui participeraient aux entretiens et surtout aux réunions autour de l'outil. Comment avez-vous constitué les groupes, comment évaluez-vous ça maintenant ?** »

Il s'agit d'être au clair sur qui a fait quoi, leur place dans l'organisation et le statut de leur participation, pour reconstituer complètement le dispositif.

2ème temps : les transformations

« **d'accord, on a fait tout ça. Qu'est-ce que ça a changé (1) pour vous ? (2) dans votre façon de travailler, (3) dans votre façon de recueillir et d'analyser les données du réseau ?** »
l'item (1) permet d'interroger sur le plan de l'identité professionnelle, au sein de la structure. L'item (2) renvoie plus à l'organisation du travail, au lien avec la modélisation.
l'item (3) essaie de capter les transformations de l'activité d'évaluation précisément, par exemple au sein du protocole expérimental.
On cherche à voir si des transformations ont été engagées. Remarque : le fait de déceler un problème qu'on ne voyait pas avant constitue déjà une transformation.

Conclusion

« Pour moi, les enjeux du dispositif de collaboration portaient sur la transformation de l'outil et la transformation de votre activité. Sans prétendre avoir une part active dans la transformation de votre activité, j'avais en tête qu'un nouvel outil oblige à faire des ajustements, certains acceptables facilement, d'autres plus difficiles, d'autres impossibles….et m'obligeant donc à penser autrement l'outil que je conçois. Donc, je me demande si le travail fait ensemble vous a permis ou non de voir comment l'outil pouvait avoir des effets sur votre activité, et éventuellement, parce qu'il produit un autre regard sur les réseaux que vous travaillez, être source d'interrogation sur votre activité sans pour autant que ces interrogations soient directement liées à la mise en œuvre de l'outil. Dans ce qui vient d'être dit, je retiens …..et pour moi cela correspond à …. Il y a-t-il d'autres éléments que vous souhaiteriez me signaler ?
Il s'agit ici de permettre à l'entretien de rebondir, de donner au partenaire à réfléchir sur la transformation si c'est quelque chose qu'il n'avait pas du tout perçu, ou de récapituler les transformations qu'il aurait perçues.

Temps préliminaire

Pour pouvoir relancer les partenaires qui répondraient que « rien n'a changé avec l'outil ».
Il s'agit de demander aux personnes qu'on verra en entretien, par téléphone, ce qui a changé dans leur activité depuis 2 ans, sur un mode assez fermé, en utilisant les items descriptifs de l'activité décrit dans le triangle d'Engeström.
« **Qu'est-ce qui a changé dans votre activité depuis 2-3 ans / qu'est-ce que vous faites maintenant que vous ne faisiez pas il y a 2-3 ans / qu'est-ce que vous faisiez il y a 2-3 ans que vous ne faites plus aujourd'hui ?**

- **sur le plan des outils de l'évaluation des variétés (statistiques, expérimentaux…) OUTIL**
- **sur le plan de votre rôle personnellement SUJET/OBJET**
- **sur la répartition de votre travail avec vos collègues ou dans le temps DIVISION DU TRAVAIL**
- **sur le plan de votre réseau de travail COMMUNAUTE**
- **sur le plan des règles, des consignes, des prescriptions REGLES** »

Ce matériau permettra de redynamiser, si besoin, le deuxième temps de l'entretien. Par exemple, « ok, vous ne voyez pas trop ce qui peut avoir changé pour vous, mais vous m'avez parlé au téléphone de tel changement. A quoi est-ce que vous le reliez ? »

Remarque : on procède par téléphone parce que la méthodo choisie ici est assez fermée. Si on l'appliquait au début de l'entretien, on risquerait d'enfermer les partenaires dans ce mode fermé.

Remarque

- Au cours de ces entretiens, on va se placer sur deux plans d'analyse : l'analyse de la collaboration et l'analyse de la transformation. Le premier temps est plus orienté « plan de la collaboration », le deuxième «plan de la transformation ». Mais il sera peut-être délicat de gérer l'alternance entre les deux.
- ces entretiens sont aussi une façon de clore mon travail avec les acteurs : il faut donc que je sois en mesure de leur donner des éléments sur la suite de la collaboration !

Matériel à préparer pour ces entretiens :

- **chronologie des points d'inflexion, des moments qu'on juge clés, des choses mises en patrimoine par ORGANISME**
- **par réunion, rassembler les noms de l'ensemble des personnes qui ont participé**

Chronologie Arvalis

2003 réunion préparatoire au projet FSOV : définition des personnes à rencontrer

13 fév 2004 Mail de MH Jeuffroy à JB Regnard pour l'informer du début de mon CDD et obtenir les coordonnées des personnes à avoir en entretien (*mail)*

mars 2004 Plan de travail FSOV (*Rapport)*

Avril 2004 : **1ère série de réunions.**
Objectif : Définir les usages de l'outil de «diagnostic agronomique des facteurs limitants + régression factorielle ». La définition de ces usages doit être envisagée par rapport à l'opérationnalité de l'outil : quelles conséquences les attentes des acteurs en terme d'évaluation variétale ont-elles sur l'adaptation de la méthode ? *Enregistrements, CR*

16 avr 2004 Réunion DiagVar (MH Bernicot, P DuCheyron)
(Enregistrement, CR)

2 juin 2004 : réunion INRA sur le développement de l'outil (MH Jeuffroy, M Cerf, C Lecomte, JB Regnard, F Hochereau)
Envoi d'un mail à toutes les personnes vues en entretien
(*ppt réunion, notes réunion, CR envoyé, mail)*

23 sept 2004 Réunion FSOV

déc 2004 Séminaire IMPACT (Mme ANGEVIN INRA- Eco-Innov, Mme BERNICOT Arvalis Institut du Végétal, M. BOUE In Vivo, Mme BRANCOURT INRA – GAP Mons, Mme CERF INRA-UMR SAD-APT, M. DRIQUE Agriculteur, M. DUPRE Agriculteur, Mme GODIN GEVES, M. HARDOUIN Entreprise Benoist, M. HOCHEREAU INRA-UMR SAD-APT, Mme JEUFRROY INRA, UMR Agronomie, Grignon, M. LARCHER Epi Centre, Mme Le BAIL INA-PG, Ager, M. LECOMTE INRA, GAP Dijon, M. LHOPITEAU Agriculteur, M. LONNET Florimond-Desprez, Mme LOYCE INA-PG, Ager, Mme MISTOU GEVES, M. OMON Chambre dAgriculture de l'Eure, M. OURY INRA, GAP Clermont, M. PLUQUET NORIAP, M. ROLLAND INRA, GAP Rennes, ,M. SALVO Grands Moulins de Paris, Mme SAUVAL NORIAP)

Le travail conduit dans ce séminaire s'appuie sur le constat réalisé lors de rencontres précédentes :
- qu'il existe effectivement des problèmes aujourd'hui dans la façon dont les acteurs de la filière accèdent à l'information qu'ils recherchent pour évaluer les variétés,
- que la résolution de ces problèmes ne passe pas uniquement par des arrangements simples entre deux acteurs, l'un possédant l'information utile et l'autre souhaitant en disposer.
Rapport

mars 2005 : **2ème série de réunions.** Objectif : tests des fichiers d'entrée avec les expérimentateurs : praticité d'utilisation, adéquation des données demandées avec les données effectivement recueillies

pas de réunion ARVALIS

31 mars 2005 Réunion FSOV sur le programme « méthodologie de caractérisation des variétés »
OJ, ppt, notes MH

19 sept 2005 : Réunion annuelle de suivi des programmes FSOV

Av-Déc 2006 : **3ème série de réunions.** Objectif : première prise en main de l'outil DiagVar sur des données personnalisées, retour sur l'outil. *Enregistrements, compte rendu.*

10 avril 2006 *Réunion ARVALIS (MH Bernicot, P Ducheyron, I Chaillet, V Biarnes).*
17 déc 2006 *Réunion ARVALIS (MH Bernicot)*

21 sept 2006 Réunion annuelle de suivi des programmes FSOV : mise en place de la session 2006/2009
OJ, notes LP et MHJ

mars 2007 : **4ème série de réunions.** Objectif : retour sur la démarche de travail en collaboration autour de DiagVar. *Enregistrements*

11 avril 2007 *Réunion ARVALIS (MH Bernicot)*

16 mars 2007 Clôture du projet FSOV 2003-2006

suite…

Chronologie GEVES

déc 2004 Séminaire IMPACT (présentes : MN Mistou, C Godin)
Le travail conduit dans ce séminaire s'appuie sur le constat réalisé lors de rencontres précédentes :
- qu'il existe effectivement des problèmes aujourd'hui dans la façon dont les acteurs de la filière accèdent à l'information qu'ils recherchent pour évaluer les variétés,
- que la résolution de ces problèmes ne passe pas uniquement par des arrangements simples entre deux acteurs, l'un possédant l'information utile et l'autre souhaitant en disposer.
(Prise de notes pendant le séminaire, rapport du séminaire)

23 mars 2005 Rencontre F.Marty / M.Cerf
Collaborations possibles entre le GEVES et l'INRA via le lancement des fronts méthodologiques, les conditions dans lesquelles pourrait se réaliser ce travail sont en revanche plus floues (dans l'attente de l'avancée de la définition des fronts méthodologiques). Thème : utilisation des outils soit pour optimiser ses réseaux soit pour arriver à proposer des modalités de prise en compte de la rusticité dans le travail d'évaluation réalisé au niveau du GEVES
(*CR)*

3 mai 2005 Rencontre C Collonnier, MN Mistou, C Godin, MH Jeuffroy, M Cerf
Réunion initiée par M Cerf et MH Jeuffroy autour de la suite du séminaire participatif, du front 2 (avancées dans sa définition, possibilité de collaboration), de la thèse de LProst et sur le projet Mycotoxines
Propositions de travail autour de DiagVar pour optimiser le réseau GEVES + ambition de porter ces conclusions au CTPS
Discussion autour des données d'entrée
(*mail de Marianne pour lancer la réunion, CR)*

16 mai 2005 Suite à la réunion du 3 mai, L Prost envoie par mail à MN Mistou et C Godin la liste des données nécessaires au fonctionnement de l'outil

28 juillet 2005 Rencontre L Prost, C Godin et MN Mistou orientée sur les données d'entrée de DIAGVAr
ensemble des infos nécessaires à Diagvar, le support et le format de transmission.
pb azote, levée, épi 1 cm, septo tritici/nodorum
pb des données météo
(CR)

27 sept 2005 Réunion annuelle du SEV GEVES : présentation de MH Jeuffroy sur la modélisation (B. Aizac, P. Bagot, P. Bastergue, D. Beghin, A. Bernole, F. Blouet, F. Boulineau, R. Brand, V. Cadot, V. Cellier, A. Chassin, C. Collonnier, C. Colnenne, H. de Fontanges, L. Denecheau, D. Demilly, D. Dhorne, S. Ducourneau, R. Fuser, MH. Gandeliln, P. Gauthier, V. Gensollen, C. Godin, S. Grégoire, C. Grizeau, D. Guerin, MH Jeuffroy, C. Jouy, J. Lallemand, P. Le Coënt, J. Lechappé, D. Leclercq, G. Malatier, M. Manino, F. Marty, MN Mistou, B. Montegano, MN Racat, JM Retailleau, B. Richard, J. Soyer, RC Stefan, D. Zhang)
Enjeu déclaré dans l'intro : F Marty propose un front méthodologique autour de la modélisation mais tout peut encore être discuté et les employés du GEVES souhaitent en savoir davantage sur ce qu'est la modélisation avant de s'engager
qui était présent ?
(*ppt MH + transcription)*

3 oct 2005 : Réunion M Cerf et G Rosner
Guy a travaillé à l'INRA comme responsable de la formation permanente. Là il agit en tant que consultant pour le GEVES, consultant en organisation et sur la GRH. Marianne est allée le voir pour comprendre un peu le fonctionnement du GEVES vu qu'il accompagnait le changement organisationnel envisagé par Marty.
(*CR)*

16 nov 2005 : M Cerf relance F Marty par mail, suite à la réunion SEV et à la soutenance de la thèse de Christophe
Les fronts méthodologiques semblant se mettre en place, nécessite d'une discussion sur les formes que peut prendre une collaboration pour permettre d'accompagner ce mouvement de développement de l'usage de la modélisation dans les pratiques du GEVES (*mail)*

8 dec 2005 : Réunion M Cerf, F Marty, F Blouet, C Collonnier
Discussion autour de la thèse de LProst : définition des possibles, modalités de travail cernées.
présentation thèse envoyée pour préparer la réunion
(CR officiel, mail de Marianne de débriefing)

13 dec 2005 : lancement du Front Méthodologique 2 (Bernard Aizac, Patrick Bagot, Patrick Bastergue, Vincent Cellier, Cécile Collonnier, Caroline Colnenne, Vincent Gensollen, Christelle Godin, Christophe Grizeau, Denis Leclercq, Philippe Le Coënt, Gilles Malatier, Bruno Richard. +MH Jeuffroy en invitée)
Choix de travailler sur l'espèce blé
hiérarchisation des questions à traiter dans le front
réflexion sur la méthodologie
(OJ, Notes MH Jeuffroy)

30 jan 2006 : Réunion MH Jeuffroy, C Collonnier, C Godin, P Le Coent
Les membres du sous groupe blé du front méthodo 2 veulent en savoir plus sur l'outil de C Lecomte
Discussion autour des modalités de travail : OK pour être interviewés, L Prost pourrait faire une formation à l'utilisation de l'outil
(format scène Discotech, CR MH Jeuffroy)

10 fev 2006 : Réunion Front méthodologique 2 (B Aizac, P Bagot, P Bastergue, V Cellier, C Collonnier, C Colnenne, V Gensollen, C Godin, C Grizeau, D Leclercq, P Le Coënt, G Malatier, MN Mistou, B Richard. correspondants du CODIR : F Blouet, S Grégoire, J Guiard. Invités extérieurs : MH Jeuffroy (INRA Grignon), L Prost (INRA Grignon), C Lecomte (INRA Dijon), JM Nolot (INRA Toulouse).
Réunion de lancement de travail sur les fronts
Programme de travail décidé à ce moment là:
1. jusqu'à printemps 2007 : travail sur Optimisation des réseaux blé avec l'outil sur années 2003-04-05, avec Philippe et Christelle peuvent s'y mettre immédiatement sur les réseaux 2005 et 2003 et 2004
- présentation de l'outil par Lorène et discussion sur les activités avec CGodin, MNMistou, CColnenne, PLeCoënt, CCollonnier le 27 fevrier
- travail en parallèle de Lorène sur les données 2003 et 2004 et des gens du GEVES
- présentation de l'outil à tout le groupe fin mars 2006 au Magneraud
2. Collecte des données : à voir avec le sous-groupe 1 et prévoir dès maintenant les besoins sur les différentes espèces.
3. partie informatique : plutôt partir des choses en SAS et gérer seuls notre propre outil ! voir si possible de faire en interne ! prévoir 9 mois de CDD à partir de mars 2006 pour refaire le modèle et l'automatisation de la récupération des données de Thalie vers l'outil SAS.
4. post-doc pour extrapoler à d'autres espèces : maïs (voir avec Toulouse), puis autre espèce éventuellement
5. Post-doc pour la partie prédiction dans d'autres milieux du comportement de variétés dont les notes sont établies dans un groupe de milieux : mi2007 à fin 2008
6. Transfert sur autres espèces (maïs oui, sorgho ?, colza ?, tournesol ? fourrage ?) ou extrapolation ou autre chose ? : post-doc ? 2009
(OJ,CR MH Jeuffroy)

27 fev 2006 : Réunion Front méthodologique 2 (C Collonnier, C Colnenne, C Godin, P Le Coënt, G Malatier, MN Mistou, M Cerf, L Prost)
Première présentation globale de l'outil DiagVar à partir d'une base de données INRA, réseau stabilité (avec les milieux Mons, Clermont, Lille, Dijon, Toulouse, Le Moulon, Rennes en 2001 et 2002) (30 minutes)
échange autour de chaque étape de fonctionnement de l'outil pour mieux identifier les exigences de chaque étape et la façon dont vous aimeriez valoriser la souplesse de ces étapes (1h30)
établissement d'un protocole de mise en oeuvre de l'outil correspondant à vos besoins et compatibles avec les exigences de ma thèse (2h)
présentation des questions complémentaires sur l'activité au GEVES à traiter dans une réunion postérieure (30 minutes)
(échange de mails sur l'OJ, notes de Marianne, enregistrement audio)

à partir du 28 fev 2006 :
Echange de mails avec C Godin et P Bagot majoritairement sur la mise au point des bases de données GEVES
Récupération des données météo

mise au point des fichiers de récolte
collecte des fichiers de données agronomiques
mise au point des macros pour extraire automatiquement les données de Thalie
calcul des rendements potentiels des témoins GEVES

2 mars 2006 : Suite à la réunion du 27 fev 2006, envoi d'un relevé de décisions sur la méthode de travail
Envoi d'une proposition de travail le 2 mars à C Collonnier en demandant qu'elle transmette à l'ensemble des participants à la réunion du 27. Le 16 mars, retour de Cecile sur la proposition avec la synthèse des remarques faites par l'ensemble des participants.
(RD, échanges sur le RD entre MC, MHJ et LP, retour du GEVES : front2GEVES-suite27-02-06-revuGEVES)

21 ma2006 : Réunion des expérimentateurs GEVES

22 mars2006 : Présentation de l'outil au Magneraud
Première présentation globale de l'outil DiagVar à partir d'une base de données INRA, réseau stabilité (avec les milieux Mons, Clermont, Lille, Dijon, Toulouse, Le Moulon, Rennes en 2001 et 2002)
échange autour de chaque étape de fonctionnement de l'outil pour mieux identifier les exigences de chaque étape et la façon dont vous aimeriez valoriser la souplesse de ces étapes
(enregistrement audio)

4 avril 2006 : première utilisation de l'outil (C Collonnier, MN Mistou, C Godin, C Colnenne, P Le Coënt, P Bagot, MH Jeuffroy, L Prost)
Acté lors de la réunion du 27 février
test de l'outil sur les données GEVES 2004/2005 : exploration des fonctionnalités, essais-erreurs, questions autour des résultats, tentative de validation
(enregistrement audio, notes MH + LP)

14 av 2006 : débriefing de l'utilisation de l'outil (C Godin, MN Mistou, P Le Coent, MH Jeuffroy, L Prost)
Acté lors de la réunion du 27 février
discussion après une période d'utilisation de 10 jours
(enregistrement audio, notes LP)

5 mai 2006 : suite débriefing Outil (C Godin, MN Mistou, MH Jeuffroy, L Prost)
Décidée à la suite du 14 avril à cause des problèmes dans les données qui ont réduit le temps d'utilisation et faussé les interprétations
(échange de mails sur l'OJ, enregistrement audio)

16 juin 2006 : point sur le groupe blé du front 2 (C Godin, MH Jeuffroy, C Collonnier, MN Mistou, L Prost, C Lecomte)
Difficultés rencontrées, programmation de la suite
excès d'eau hivernal, nb de paramètres, impact de l'oidium, phases maladies, regroupement des essais
(échange de mails sur l'OJ, notes LP)

7 sept 2006 : réunion de choix des essais

12 sept 2006 : réunion Front 2 : adaptation DiagVar sur Maïs MH Jeuffroy, MN Mistou, C Collonnier, C Grizeau, C Lecomte, G Mallatier, C Colnenne, B Aizac, ????)
Point sur blé (résumé des pbs à résoudre) + programmation maïs
(notes LP, échange de mails sur l'OJ, ppt Cécile, notes C Lecomte)

mars 2007 : **4ème série de réunions.** Objectif : retour sur la démarche de travail en collaboration autour de DiagVar. *Enregistrements*
26 février 2007 GEVES MN Mistou
6 mars 2007 GEVES C Godin

27 mars 2007 : réunion annuelle du Front 2

Chronologie GIE Club des 5

2003 réunion préparatoire au projet FSOV : définition des personnes à rencontrer

13 fév 2004 Mail de MH Jeuffroy à JB Regnard pour l'informer du début de mon CDD et obtenir les coordonnées des personnes à voir en entretien (*mail)*

2 mars 2004 Plan de travail INRA pour FSOV 2003-06 (L Prost, C Lecomte, MH Jeuffroy, M Cerf) (*Rapport 2mars04)*

2 mars 2004 Réunion lancement FSOV côté INRA (MH Jeuffroy, M Cerf, C Lecomte, L Prost)
1. Présentation du plan de travail et réactions
2. Relevé des "problèmes agronomiques" qui restent à résoudre dans l'outil tel qu'il est aujourd'hui au travers de la lecture de la partie 2 de la thèse de C.Lecomte, et discussion avec Christophe des solutions possibles, sachant que les solutions seront à rapprocher et peut-être contingentes de la manière dont les utilisateurs vont utiliser l'outil.
3. Commencer à établir une ébauche de guide d'entretien pour les discussions avec les acteurs, pour les deux séries d'entretien, en s'appuyant sur l'expérience passée de Christophe du transfert possible de l'outil vers les acteurs.
4. Calendrier de travail (*mail MHJ)*

Avril 2004 : **1ère série de réunions.**
Objectif : Définir les usages de l'outil de «diagnostic agronomique des facteurs limitants + régression factorielle ». La définition de ces usages doit être envisagée par rapport à l'opérationnalité de l'outil : quelles conséquences les attentes des acteurs en terme d'évaluation variétale ont-elles sur l'adaptation de la méthode ? *Enregistrements, CR*

15 avr 2004 Réunion DiagVar Nickerson (JB Beaufumé, G Stagnaro)
19 avr 2004 Réunion DiagVar Florimond Desprez (P Lonnet, J Van Suyt)
30 avr 2004 Réunion DiagVar CC Benoist (P Senellart, O.Leblanc)
4 mai 2004 Réunion DiagVar Serasem (E Margalé, D Dobroc)

3 juin 2004 : réunion INRA sur le développement de l'outil (MH Jeuffroy, M Cerf, C Lecomte, JB Regnard, F Hochereau)
relecture des transcriptions des réunions d'avril 2004 : listing des points d'usage et de programmation à résoudre. Envoi d'un mail à toutes les personnes vues en entretien
ppt réunion, notes réunion, CR envoyé (FSOV Réunion 03juin04.doc), mail

23 sept 2004 Réunion annuelle de suivi des programmes FSOV
Présentation de l'avancée de la programmation de DiagVar en C++ et des fichiers d'entrée de l'outil (*ordre du jour, notes LP)*

5 nov 2004 : Mail à propos des fichiers d'entrée : saisie des rendements dans l'outil d'évaluation variétale (*mail)*

déc 2004 Séminaire IMPACT (Mme ANGEVIN INRA- Eco-Innov, Mme BERNICOT Arvalis Institut du Végétal, M. BOUE In Vivo, Mme BRANCOURT INRA – GAP Mons, Mme CERF INRA-UMR SAD-APT, M. DRIQUE Agriculteur, M. DUPRE Agriculteur, Mme GODIN GEVES, M. HARDOUIN Entreprise Benoist, M. HOCHEREAU INRA-UMR SAD-APT, Mme JEUFRROY INRA, UMR Agronomie, Grignon, M. LARCHER Epi Centre, Mme Le BAIL INA-PG, Ager, M. LECOMTE INRA, GAP Dijon, M. LHOPITEAU Agriculteur, M. LONNET Florimond-Desprez, Mme LOYCE INA-PG, Ager, Mme MISTOU GEVES, M. OMON Chambre dAgriculture de l'Eure, M. OURY INRA, GAP Clermont, M. PLUQUET NORIAP, M. ROLLAND INRA, GAP Rennes, ,M. SALVO Grands Moulins de Paris, Mme SAUVAL NORIAP)
Le travail conduit dans ce séminaire s'appuie sur le constat réalisé lors de rencontres précédentes :

- qu'il existe effectivement des problèmes aujourd'hui dans la façon dont les acteurs de la filière accèdent à l'information qu'ils recherchent pour évaluer les variétés,
- que la résolution de ces problèmes ne passe pas uniquement par des arrangements simples entre deux acteurs, l'un possédant l'information utile et l'autre souhaitant en disposer.

Rapport

mars 2005 : **2ème série de réunions.** Objectif : tests des fichiers d'entrée avec les expérimentateurs : praticité d'utilisation, adéquation des données demandées avec les données effectivement recueillies

9 mars 2005 *Réunion chez Serasem (Eric Margalé, Jean Patrick Monnier, Marcel Mausoone, S Cuvelier+ nombreux techniciens)*
10 mars 2005 *Réunion chez CC Benoist (A Barcelonne)*
22 mars 2005 *Réunion chez Florimond Desprez (T Demarquet)*

31 mars 2005 Réunion FSOV sur le programme « méthodologie de caractérisation des variétés » (*OJ, ppt, notes MH)*

19 sept 2005 : Réunion annuelle de suivi des programmes FSOV

1er mars 2006 Rdv téléphonique pour négocier les modalités du travail à venir sur DIAGVAR (Philippe Lonnet (FDesprez), Thierry Demarquet (FDesprez), Eric Margalé (Serasem), Jean-Patrick Monnier (Serasem), Jean-Bruno Beaufumé (Nickerson-Limagrain), Olivier Leblanc (Benoist-Syngenta), Marianne Cerf (INRA), Marie-Hélène Jeuffroy (INRA)) (*CR réunion : relevé de décisions)*

avril 2006 : **3ème série de réunions.** Objectif : première prise en main de l'outil DiagVar sur des données personnalisées, retour sur l'outil.

3 avril 2006 *Réunion avec l'ensemble des entreprises du GIE C5 (C Roussillot, JB Beaufumé, P Senellart, O Leblanc, A Laroche, JP Monnier, S Cuvelier, D Verger, M Meausoone, T Demarquet. M Cerf, MH Jeuffroy, L Prost)*
13 avril 2006 *Réunion avec les obtenteurs « nord » : SERASEM, FLORIMOND DESPREZ (S Cuvelier, D Verger, JP Monnier, M Meausoone, J Van Suyt, P Lonnet, T Demarquet. L Prost, MH Jeuffroy)*
21 avril 2006 *Réunion avec les obtenteurs « parisiens » : CC BENOIST, VERNEUIL (P Senellart, JB Beaufumé, L Prost)*

21 sept 2006 Réunion annuelle de suivi des programmes FSOV : mise en place de la session 2006/2009 (*OJ, notes LP et MHJ)*

mars 2007 : **4ème série de réunions.** Objectif : retour sur la démarche de travail en collaboration autour de DiagVar. *Enregistrements*

14 mars 2007 *Réunion SERASEM (E Margalé)*
14 mars 2007 *Réunion FLORIMOND DESPREZ (P Lonnet)*
28 mars 2007 *Réunion VERNEUIL (JB Beaufumé)*
6 avril 2007 *Réunion CC BENOIST (P Senellart)*

16 mars 2007 Clôture du projet FSOV 2003-2006
A suivre

Résumé

Les agronomes conçoivent de nombreux modèles dont l'utilisation en dehors de la recherche est discutée. Notre travail vise à proposer une démarche de conception d'outil, pensée en lien avec l'usage de cet outil, qui allie un développement conjoint du modèle inscrit dans l'outil et des activités des différents participants au processus de conception, chercheurs comme utilisateurs. Plus précisément, nous avons élaboré une démarche de conception menée en interaction avec les utilisateurs autour de la production d'un outil d'aide à l'évaluation variétale en blé, DIAGVAR, basé sur un modèle d'analyse des interactions génotype-environnement. Nous avons traité cette question en prenant une position pluridisciplinaire entre agronomie et ergonomie de conception. Trois groupes d'acteurs de l'évaluation variétale, utilisateurs potentiels de DIAGVAR, ont été impliqués dans la démarche : des obtenteurs, des agents en charge de l'inscription variétale et des agents des instituts techniques.

Notre démarche de conception articule principalement une analyse de l'activité d'évaluation variétale orientée par notre projet de conception et une phase de simulation dans laquelle les utilisateurs potentiels ont manipulé un prototype de DIAGVAR. Cette phase de simulation a été organisée pour permettre à chaque participant d'échanger sur la façon dont les concepteurs utilisent le prototype pour analyser les résultats de réseaux d'essais et sur la façon dont les utilisateurs s'approprient l'outil en l'utilisant sur des bases de données qu'ils construisent à partir de leurs propres réseaux.

L'analyse des échanges, d'un point de vue d'agronome, nous a permis d'identifier une liste de questions scientifiques se rapportant au modèle parmi lesquelles deux ont été traitées. La première concerne le renouvellement des indicateurs du statut azoté d'une culture pour permettre l'intégration de cette mesure en routine dans les essais variétaux, la seconde étudie la stabilité des méthodes statistiques utilisées dans le modèle pour réaliser un diagnostic agronomique sur des configurations de réseau d'essais variétés très variables, telles qu'elles peuvent être observées chez les acteurs de l'évaluation variétale. Le traitement de ces deux questions aboutit à de profondes modifications du modèle agronomique.

D'un point de vue ergonomique, notre intervention s'était construite par rapport à trois objectifs : cristalliser un modèle de l'activité basé sur une analyse de cette dernière, favoriser une plasticité de l'outil pour qu'il puisse être adapté à la diversité des situations d'usage, et créer un processus de développement conjoint de l'outil et des activités des participants au projet. Notre analyse de l'activité, comme la mise en œuvre de la simulation, visent à créer les ressources pour que les concepteurs et les utilisateurs s'engagent dans des genèses instrumentales. Nous analysons ces genèses et plus globalement la façon dont notre démarche modifie l'activité des utilisateurs.

Nous proposons enfin un cadre pour permettre d'identifier comment notre projet ingénierique de conception d'outil, inscrit dans l'activité singulière de l'évaluation variétale, contribue à produire des connaissances génériques.

Mot-clé : blé, modèle, conception, usage, participation, activité.