



HAL
open science

Conception biologique complexe : Planification et modèles d'affaires. Le cas du clonage équin.

Alline de Paula Reis

► **To cite this version:**

Alline de Paula Reis. Conception biologique complexe : Planification et modèles d'affaires. Le cas du clonage équin.. Alimentation et Nutrition. AgroParisTech, 2013. Français. NNT : 2013AGPT0076 . pastel-01017382

HAL Id: pastel-01017382

<https://pastel.hal.science/pastel-01017382>

Submitted on 2 Jul 2014

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.



Doctorat Paris Tech

T H È S E

Pour obtenir le grade de docteur délivré par

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

Spécialité : Sciences Economiques, Sociales et de Gestion

Présentée et soutenue publiquement par

Alline DE PAULA REIS

Le 03 décembre 2013.

CONCEPTION BIOLOGIQUE COMPLEXE : PLANIFICATION ET MODELES D'AFFAIRES

Le cas du clonage équin

Directeur de thèse : **M. le Professeur Michel NAKHLA**

Jury :

Pascale CHAVATTE-PALMER, Directeur de recherche INRA
Sérgio L. M. SALLES FILHO, Directeur de recherche UNICAMP
Pierre-Jean BENGHOZI, Directeur de recherche CNRS
François-Christophe COLENO, Chargé de recherche-HDR SADAPT
Gilbert GIACOMONI, Maître de conférences Univ. Créteil
Michel NAKHLA, Professeur Agro-PARISTECH, Mines-PARISTECH

Rapporteur
Rapporteur
Examinateur
Examinateur
Examinateur
Examinateur

AgroParisTech n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

REMERCIEMENTS

Premièrement, je voudrais remercier à mes parents, mes vieux, qui m'ont donné la vie, la soif de vivre, la liberté et le soutien pour aller toujours plus loin ;

A Monsieur Michel Nakhla qui m'a accepté dans le département SESG, qui a cru à cette réalisation, et qui ne m'a pas laissé baisser les bras devant les difficultés ;

Aux membres du jury qui ont accepté de collaborer à ce projet en apportant un regard critique précieux au progrès de ces petites idées ;

Je voudrais également remercier Eric et Pascale qui m'ont ouvert leur porte et autant d'autres ;

A Othman, Nadège et Kim pour l'aide très précieuse et les nombreuses heures perdues. Sans vous cela n'aurait pas été possible !

A Magali pour tous les ans de solidarité ;

A Marie-Christine pour sa réactivité à chaque fois que j'arrivais à la dernière minute pour demander un document, une signature, une réinscription...

A tous mes amis et confrères qui m'ont directement ou indirectement aidé.

Je ne vous oublierai jamais !

SOMMAIRE

LISTE DE DEFINITIONS	11
INDICE DE FIGURES	13
INTRODUCTION GENERALE.....	15
OBJECTIFS GENERAUX.....	19
ORGANISATION GENERALE DE LA THESE.....	19
LA THEORIE C-K :	19
LA METHODE D'ETUDE DE CAS	24
LES SOURCES UTILES POUR L'ETUDE DE CAS	26
LE CAS DU CLONAGE EQUIN : UN OUTIL POUR ILLUSTRER LE CONCEPT.....	27
PARTIE I : LA CONCEPTION BIOLOGIQUE COMPLEXE (CBC).....	35
I.1. UN CONCEPT GENERIQUE POUR LES TECHNOLOGIES DU VIVANT	37
I.2. LA CONSTRUCTION DE L'ESPACE DES CONNAISSANCES (K).....	38
I.2.1. INTRODUCTION AUX ASPECTS TECHNIQUES ET HISTORIQUES.....	39
I.2.2. LES CARACTERISTIQUES DOMINANTES : LA COMPLEXITE A PLUSIEURS NIVEAUX	45
I.2.3. UN IMPACT MITIGE DES TECHNOLOGIES RECENTES SUR L'INDUSTRIE DU VIVANT .	108
I.2.4. CONNAISSANCE MOBILISABLE DANS LE DOMAINE DE LA GESTION	112
I.3. MISE EN EVIDENCE DU CONCEPT : LA CONCEPTION BIOLOGIQUE COMPLEXE (CBC).....	116
PARTIE II : LA PLANIFICATION DANS LA CBC : CONCEPTION ET	
PRODUCTION A LA COMMANDE	124
II.1. POSITIONNEMENT ET PROPOSITION DU CONCEPT	126
II.2. CONNAISSANCES MOBILISEES	127
II.2.1. LA PLANIFICATION INDUSTRIELLE S'ETABLIT A TROIS NIVEAUX.....	128
II.2.2. LES DIFFICULTES DE PLANIFICATION INHERENTES AUX SYSTEMES COMPLEXES ...	130
II.2.3. LES OUTILS DE PLANIFICATION DE LA PRODUCTION	132
II.3. LA PLANIFICATION DANS LA CONCEPTION BIOLOGIQUE COMPLEXE	134
II.3.1. DES COLLABORATIONS SOUS INCERTITUDE : EFFETS SUR L'INNOVATION.....	135
II.3.2. STABILITE VS FLEXIBILITE : LA DIFFICULTE DE LA GESTION PAR PROJET.....	137
II.3.3. LA CBC IMPLIQUE LA GESTION DE « MACHINES BIOLOGIQUES »	138
II.4. LA PLANIFICATION OPERATIONNELLE DANS LES CBC : VERS UN MODELE ADAPTE.	140
II.4.1. LE STOCK COMME LEVIER ESSENTIEL.....	142
II.4.2. DEPENDANCE DE L'INTERACTION ENTRE DIFFERENTS NIVEAUX.....	143
II.4.3. L'OPTIMISATION DES COUTS LIES A LA GESTION DES MACHINES BIOLOGIQUES	144
II.5. FORMALISATION DU CONCEPT DE PRODUCTION EN CBC	146
II.5.1. L'APPLICATION DU CONCEPT AU CLONAGE EQUIN	148
II.5.2. IDENTIFICATION DES ATELIERS DE PRODUCTION	149
II.5.3. CARACTERISATION INDUSTRIELLE DE LA PRODUCTION.....	151
II.5.4. LA GESTION DES MACHINES BIOLOGIQUES	157
II.5.5. L'ORDONNANCEMENT : EVALUATION DE LA STRUCTURE ET DES RESSOURCES	173

II.6. A RETENIR SUR LE CONCEPT DE PRODUCTION EN CBC.....	177
PARTIE III : DES MODELES ECONOMIQUES POUR LA CBC	180
III.1. POSITIONNEMENT DU PROBLEME	182
III.1.1. LA PROPOSITION DE MODELES D’AFFAIRES	184
III.2. LES CONNAISSANCES MOBILISEES	185
III.2.1. LE DEVELOPPEMENT DEPEND DU PARCOURS EMPRUNTE PAR LES ACTEURS	185
III.2.2. L’ECONOMIE DES SINGULARITES : UNE REFLEXION NECESSAIRE	189
III.2.3. LE CONSOMMATEUR STRATEGIQUE : UN ACTEUR A PRENDRE EN COMPTE	200
III.2.4. L’INTERMEDIATION ET LE ROLE DES PRESCRIPTEURS DANS LES MARCHES RECENTS	202
III.3. LA CONCEPTION D’UN MODELE D’AFFAIRES ADAPTE A LA CBC.....	208
III.4. DES MODELES D’AFFAIRES THEORIQUES POUR LE CLONAGE EQUIN.....	210
III.4.1. LES ACTEURS DE L’INDUSTRIE : LE BROUILLAGE DE CŒUR DE METIER	211
III.4.2. UN BESOIN DE PARTENARIATS POUR L’INNOVATION.....	214
III.4.3. DES SOLUTIONS POSSIBLES POUR LE CLONAGE	215
III.4.3.1. LE PRESCRIPTEUR EN LIGNE.....	215
III.4.3.2. LES PLATEFORMES HYBRIDES : UNE SOLUTION POUR L’INNOVATION	222
III.4.3.3. LE MONDE DU CLONAGE EQUIN APRES UNE REORGANISATION.....	226
III.5. A RETENIR SUR LES MODELES D’AFFAIRES POUR LA CBC	230
IV. DISCUSSION GENERALE.....	234
IV.1. PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	245
V.CONCLUSION	246
VI. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	250
VII. PUBLICATIONS ASSOCIÉES À LA THÈSE	272
VIII. ANNEXES	276
ANNEXE I : ETUDE DU MARCHÉ POTENTIEL DU CLONAGE.....	278
ANNEXE II : LA FILIERE DE LA VIANDE CHEVALINE DANS LE MONDE	308
ANNEXE III : LES BIOTECHNOLOGIES DANS L’ESPECE EQUINE	318
ANNEXE IV : DYNAMIQUE DU TROUPEAU DE JUMENTS – SOLUTION INTENSIVE.....	342
ANNEXE V : DYNAMIQUE DU TROUPEAU DE JUMENTS – SOLUTION MOINS INTENSIVE.....	344
ANNEXE VI : DES DECISIONS STRATEGIQUES POUR LA PRODUCTION	346
ANNEXE VII : L’INDUSTRIE DU CHEVAL EN FRANCE.....	366
RESUME	367
ABSTRACT	370

LISTE D'ABREVIATIONS

6-DMAP :	6-Diméthylaminopurine
AAFE :	Asociacion Argentina de Fomento Equino
AAPolo :	Asociacion Argentina de Polo
ABCCMM :	Associação Brasileira dos Criadores de Cavalos Mangalarga Marchador
ACA :	Association Nationale Française du Cheval Arabe
ADN :	Acide Désoxyribonucléique
AES :	Anglo-European Studbook
AFOM :	Atouts – Faiblesses – Opportunités - Menaces
APFH :	Paso Fino Horse Association
APSL :	Associação Portuguesa do Cavalos Puro Sangue Lusitano
AQHA :	American Quarter Horse Association
BLUP :	Bilan Linéaire Universel Prévisionnel
BPL :	Bonnes Pratiques de Laboratoire
[Ca ²⁺] _i :	Concentration intracellulaire d'ion calcique libre (se trouvant dans le cytosol)
CaMkinase II	Kinase II dépendante de la Calmoduline
CBC :	Conception Biologique Complexe
CIZ :	Consorzio per l'Incremento Zootecnico
COC :	Complexe ovocyte cumulus (l'ovocyte avec les cellules du cumulus qui l'entourent)
CO ₂ :	Dioxyde de Carbone
cRNA PLC ζ :	ARN complémentaire de la phospholipase C ζ (isoforme zeta)
DMEM-F12 :	Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DME) et Ham's F12 nutrient mixture
FEDEQUINAS :	Federación Nacional Colombiana de Asociaciones Equinas
FEI :	Fédération Equestre Internationale
FIPolo :	Fédération of International Polo
ha :	hectare
IA :	Insémination Artificielle
IETS :	International Embryo Transfer Society
IFHA :	International Federation of Horseracing Authorities
IFCE :	Institut Français du Cheval et de l'Équitation
IHM :	Interface Homme Machine
ISO :	Indice Sur Performance
KWPN :	Koninklijk Warmbloed Paardenstamboek Nederland
LT :	Lead time
MAPK :	Mitogen-Activated Protein Kinase
MPF :	Maturation-Promoting Factor
MRP :	Material Requirements Planning
NCHA :	National Cutting Horse Association
NZSH :	New Zealand Sport Horse
OGM	Organisme Génétiquement Modifié
OPL :	Optimization Programming Language
MII :	Ovocyte en stade métaphase II (deuxième métaphase de la méiose)
PERT :	Project Evaluation and Review Technique
PGT :	Problème de Gestion de troupeau
PN :	Pro Noyau
SBBCH :	Studbook Brasileiro do Cavalos de Hipismo

SF :	Selle Français
SI :	Solution intensive
SMI :	Solution moins intensive
SOF :	Synthetic Oviductal Fluid
SPF :	Système de Production Flexible
SPFS :	Studbook du Poney Français de Selle
SR :	Solution relâchée
STI :	Solution Tout Intégré
STST :	Solution Tout Sous-traité
TAMU :	Texas A&M University
TE :	Transfert d'Embryons
ZP :	Zone Pellucide
WAHO :	World Arabian Horse Organisation
WBFSH :	World Breeding Federation for Sport Horses

LISTE DE DEFINITIONS

COC compact : ovocyte présentant les cellules du cumulus bien attachées.

COC expansé : ovocyte présentant une expansion des cellules du cumulus qui l'entoure. La matrix entre les cellules est bien visible et celles-ci peuvent facilement se détacher. Il est accepté que les COC expansés soient en stade de maturation plus avancé ou en début d'atrésie.

Coût de possession : ensemble des frais se rapportant à la détention des stocks : primes d'assurances, location ou amortissement du local servant de magasin ou d'entrepôt, frais de garde, de chauffage, de manutention en cours de stockage ou pour la mise à disposition des services demandeurs et perte due à l'immobilisation des capitaux dans les stocks qui pourraient être placés ailleurs ;

Coût de rupture : coût lié à la perte d'une vente par rupture de stock. Son estimation n'est pas la même selon le secteur concerné. Pour une grande surface elle peut représenter une perte définitive ; pour l'industrie, elle peut se traduire par une perte de marge, un coût de désorganisation pour créer l'urgence, voire des pénalités. Dans tous les cas elle peut, si elle est trop fréquente, entraîner la perte du client ;

Coût marginal : coût d'une série supplémentaire lancée en fabrication. Il est également utilisé pour calculer le coût prévisionnel de nouveaux produits ou de produits fabriqués grâce à une extension de la capacité de production ou en prévision de développements d'activités. Il comprend les charges variables supplémentaires (directes et indirectes) et, en cas de modification de structure, il comportera aussi des charges fixes généralement liées directement à la production ;

Encours : biens en cours de production et déjà comptabilisés dans le stock ;

Lead time : délai entre le lancement de la production et son achèvement ;

Open innovation : open innovation est un paradigme qui admet que des entreprises peuvent et doivent utiliser des idées externes aussi bien que des idées internes et des

chemins internes et externes pour faire progresser leur technologie et atteindre le marché. L'open innovation se base sur le partage des risques et des récompenses. Les limites entre les firmes sont plus perméables (moins bien définis) facilitant les entrées et sorties de connaissances qui mènent à l'innovation.

INDICE DE FIGURES

Figure 1 : Plan de l'étude du cas du clonage équin.....	26
Figure 2: Etat initial du Concept (C) et de l'Espace des connaissances (K).....	39
Figure 3: Le clonage en photos. (Adapté de Cryozootech SA)	44
Figure 4: Méthodes américaine et italienne de clonage équin.	48
Figure 5: Développement initial du clonage. Dolly vs chevaux.....	60
Figure 6: Activité des acteurs du clonage équin en 2013.	61
Figure 7 : Variation du prix du clonage.	99
Figure 8 : Quatre scénarios pour l'avenir du clonage équin commercial.....	101
Figure 9: Analyse AFOM des quatre scénarios pour le clonage équin.	102
Figure 10: Courbes prévisionnelles empiriques du développement du clonage.....	106
Figure 11: Production mondiale de clones entre 2003 et 2010.....	109
Figure 12: Nombre de clones équins et de descendants. (2003 – 2010).....	111
Figure 13 : Les caractéristiques de la Conception Biologique Complexe (CBC).	121
Figure 14: La construction du concept de Conception Biologique Complexe.....	122
Figure 15 : Conception d'un modèle de planification de la production adapté à la CBC.	127
Figure 16 : Formation des partenariats pour la production dans : la CBC (gauche) et les systèmes complexes (droite).	137
Figure 17 : Processus de définition du Concept de production en cas de CBC.	147
Figure 18: Processus de planification préliminaire de l'activité.....	149
Figure 19: Les trois ateliers d'un système de production du clonage équin.....	150
Figure 20: Système de production du clonage.	152
Figure 21: Nomenclature standard avec quantités fixes.....	153
Figure 22: Nomenclature avec quantités variables.	156
Figure 23: La modélisation du PGT.	159
Figure 24 : La gestion des juments receveuses.	160
Figure 25 : Production d'un seul clone selon une production intensive d'embryons.....	166
Figure 26 : Exemple d'affectation « jument-tâche » selon une production moins intensive d'embryons.	167
Figure 27 : Autre exemple d'affectation « tâche-jument » selon une production moins intensive.....	168
Figure 28 : Coût d'entretien du troupeau selon les trois modèles d'optimisation.	172
Figure 29: Distances maximales entre les différents acteurs du processus de production.	176
Figure 30 : Proposition d'un modèle d'affaire adapté à la CBC.	184
Figure 31 : Le marché de la prescription dans les TIC.	205
Figure 32 : Méthode opérationnelle de réflexion sur un modèle d'affaires pour la CBC.....	210
Figure 33 : Le marché du clonage équin en 2012.....	213
Figure 34 : Comparaison de l'action des prescripteurs sur trois marchés : du champagne, de l'art et de la CBC.....	220
Figure 35 : Schéma d'un prescripteur en ligne (à caractère privé) pour le clonage équin.	222
Figure 36 : Proposition de plateforme hybride pour le clonage équin.....	226
Figure 37 : La restructuration de l'industrie du clonage équin.	228
Figure 38 : Schéma de proposition d'un concept analytique pour définir des modèles d'affaires adaptés à la CBC.....	232

INTRODUCTION GENERALE

Les entreprises innovantes dans le domaine du vivant sont soumises à des difficultés managériales importantes. Elles doivent réaliser des efforts importants pour se forger une capacité technoscientifique nécessaire pour générer de l'innovation technologique de façon intensive et assurer la production. Cependant, cette intensification de l'innovation a généré une complexification de la gestion dont peu d'entrepreneurs se rendent compte.

De plus, le domaine de la biologie est marqué par les particularités liées à chaque espèce et parfois même à l'individu. D'un point de vue technique, les innovations ne sont pas directement généralisables. Systématiquement, l'utilisation d'un savoir-faire existant dans un domaine (ou une espèce) doit être adapté avant de pouvoir être utilisé dans un autre domaine.

Cette culture scientifico-technologique de l'unicité se traduit dans le mode de gestion observé dans ce domaine. En effet, chaque technologie paraît unique et semble demander une gestion particulière. Cette gestion est fréquemment réalisée de façon intuitive et les entrepreneurs prêtent peu d'attention au besoin de formalisation des informations managériales générées (ou nécessaires et déjà existantes). De ce fait, ces gestionnaires se retrouvent démunis d'outils managériaux capables de les aider à améliorer la gestion économique de ces entreprises innovantes.

Ce travail propose un raisonnement managérial générique pour les industries complexes du vivant. Ce concept initial servira de base pour des raisonnements futurs sur la gestion de la production et de l'innovation dans le domaine du vivant. Cette proposition envisage de donner plus de lisibilité aux questions managériales et d'améliorer la performance des solutions grâce à un raisonnement généralisable.

Parmi les technologies concernées par ce concept nous pouvons énumérer, de manière non exhaustive, le clonage, la transgénèse, les technologies de reproduction assistée telles que l'Injection Intra-Cytoplasmique de Spermatozoïde (ICSI) ou la Fertilisation *In Vitro* (FIV) ou encore d'autres biotechnologies.

Une caractéristique commune à ces technologies est la documentation relativement complète et actualisée des aspects scientifiques et expérimentaux. Toutefois, les développements industriels sont de manière générale peu ou pas documentés contribuant à la complexification des aspects de gestion et à une valorisation industrielle difficile.

La structuration du raisonnement proposé dans ce travail demande un grand effort de formalisation de l'information directe ou indirectement liée au domaine de la biologie afin de l'organiser dans un espace connu comme l'espace des connaissances. Ces connaissances formalisées pourront être utilisées par la suite pour valider ou étendre le concept.

Le cas du clonage équin a été sélectionné pour illustrer les aspects globaux du concept. Ce cas a été choisi parce que cette industrie rencontre de difficultés de développement et justifie le besoin d'un raisonnement managérial qui puisse contribuer à son développement. Il s'agit d'une industrie naissante destinée à un marché de niche et restreint (dans les conditions actuelles nous estimons un marché potentiel situé entre 150 et 250 lignées - Annexe I, page 277) et dont la production annuelle est encore à nos jours inférieure à 20 lignées clonées annuellement, tous producteurs confondus.

La thèse a été développée en trois parties. Dans la Partie I nous avons développé le concept de caractérisation générique de cette industrie biologique récente. La Partie II a été consacrée au développement d'un raisonnement conceptuel sur un modèle de planification adapté à cette industrie. Finalement, la Partie III a été développée avec l'objectif de proposer des modèles d'affaires capables d'améliorer la valorisation économique de la CBC. Les trois concepts développés ont été illustrés grâce au cas du clonage équin.

OBJECTIFS GENERAUX

L'objectif général de la thèse est de faire converger l'aspect expérimental de l'industrie récente du vivant avec les aspects industriels du développement afin de contribuer à la structuration du raisonnement pour le développement commercial et de l'innovation de ces technologies. Cet objectif sera atteint par la conceptualisation de méthodes de planification et de modèles d'affaires adaptés.

Le clonage équin a été choisi comme cas à étudier car cette technologie représente un cas extrême dont la compréhension permettra d'illustrer un concept généralisable. Par ailleurs, cette technologie nous permet de démontrer le manque d'information managériale capable de supporter le développement industriel et de comprendre certaines conséquences directes de cette faiblesse.

ORGANISATION GENERALE DE LA THESE

Pour des raisons didactiques, la thèse a été structurée en trois parties visant à répondre aux trois objectifs du travail : la caractérisation générique des aspects de gestion des technologies récentes du domaine du vivant ; la proposition de modèles de planification de la production adaptés au concept proposé en partie I et la proposition d'un modèle conceptuel qui puisse permettre la valorisation économique de ces technologies.

Initialement, le manque d'information sur la gestion de ces technologies complexifiait l'exercice de rationalisation. Nous avons donc utilisé les principes de la théorie C-K (Hatchuel et Weil, 2002) combinés avec la méthode d'étude de cas (Eisenhardt, 1989) afin d'obtenir les informations nécessaires et de faciliter la structuration du raisonnement de conception.

La Théorie C-K :

La théorie C-K est utile pour éclairer des questions difficiles à formuler en permettant de traiter simultanément deux types d'expansions : celle des concepts et celle des connaissances. La rationalité expansible développée dans cette théorie évite d'enfermer le raisonnement rationnel dans un espace de contraintes qui le délimite fortement (Hatchuel

2002). Cette théorie a été adoptée pour la réalisation de cette thèse parce qu'il s'agissait d'un travail de conception comprenant l'affrontement recourant à l'indécidable. Son adoption a permis de clarifier le concept, de structurer le raisonnement de conception et de distinguer les connaissances développées de celles déjà existantes.

Notions de base :

Cette théorie de la conception a été développée au sein de l'Ecole des Mines – France (Hatchuel et Weil, 1999 ; Hatchuel et Weill, 2002) pour répondre à un besoin croissant de développement et maîtrise de la conception innovante.

Elle a hérité des notions de conception des traditions des architectes, des artistes et des ingénieurs. De la tradition des architectes elle a hérité la distinction entre un raisonnement et un ensemble de connaissances nécessaires pour le développer. Dans cette tradition le raisonnement comporte une partie universelle et une partie spécifique à l'objet. Malgré cette distinction, ces aspects restent interdépendants et le raisonnement de conception permet à l'architecte de dégager la matière de son travail, à partir des connaissances illimitées auxquelles il a accès dans l'espace des connaissances.

De la tradition de l'Art, la théorie C-K a hérité le concept d'expansion et de construction de mondes. La tradition artistique entretient des rapports plus complexes avec la notion de conception. Tout comme l'architecte, l'artiste revendique la paternité de sa création. Mais contrairement à l'architecte, il ne subordonne pas son travail à la réalisation de fonctions prédéfinies pour résoudre des problèmes anciens et bien répertoriés. Dans cette tradition, la conception représente un acte créateur de mondes, uniques. La richesse de la création vient du fait que chaque observateur perçoit le monde créé selon son expérience. Hatchuel et Weil (1998) ont appelé «capacité d'expansion» cette aptitude du processus de conception à générer du « nouveau ».

De la tradition des ingénieurs, l'héritage est une logique d'expansion fondée sur la connaissance et l'expérimentation. Les Ingénieurs se définissent d'abord par un rapport inédit aux connaissances. Le développement des connaissances chez les ingénieurs suit une logique d'expansion différente de celle de l'Architecte et de l'Artiste. Cette expansion des connaissances dites scientifiques peut être obtenue par l'observation, l'expérience, le calcul ou « la modélisation » et est assimilée par les ingénieurs à des méthodes de conception

(Reuleaux et al. 1854 cité par Hatchuel, 2002). L'ingénieur a introduit la systématisation du raisonnement de conception : la définition d'étapes et d'épreuves de contrôle des appareils élaborés. Ce langage doit rester suffisamment abstrait et universel pour s'adapter à toutes les industries et toutes les techniques.

La tradition des ingénieurs est inséparable de l'idée d'invention, de perfectionnement ou d'innovation. Elle rejoint sur ce point la tradition d'expansion des mondes de l'artiste. Mais l'ingénieur ne s'impose pas d'inventer à chacune de ses réalisations. Il conserve la mémoire des « expansions » passées qui peuvent être réutilisées à un moment opportun. La place qu'occupe l'invention dans la tradition des ingénieurs est donc un défi pour la théorie de la conception : l'ingénieur doit pouvoir penser en même temps l'innovation et l'imitation du passé. Il doit pouvoir les comparer. Il ne peut comme l'artiste valoriser à tout prix l'originalité.

Cette brève introduction aux traditions des architectes, des artistes et des ingénieurs a permis d'identifier quatre notions de base retrouvées dans toutes les traditions avec des poids variables : le raisonnement de conception ; la logique des fonctions ; l'expansibilité des connaissances et l'expansion innovante des propositions. Ces notions constituent la base pour le développement des deux principes de la Théorie de la conception (C-K).

Le premier principe est la capacité d'expansibilité des connaissances. Cette notion a été introduite de façon intuitive dans les théories antérieures à la Théorie C-K mais les créateurs de cette dernière y voient un rôle central dans toute tentative théorique. D'après ses auteurs, s'il n'existait aucune notion indéfiniment expansible, le travail de conception serait soit réduit à la sélection dans une liste d'objets, soit achevé de façon absolue.

Le deuxième principe est celui de la relativité de l'expansion selon les connaissances individuelles (K-relativité). En effet, l'expansion n'a pas un statut universel ou objectif, elle dépend de la capacité de chacun à reconnaître une expansion. Cela peut dépendre de la sensibilité, de l'entraînement ou des savoirs individuels.

La méthodologie de la Théorie C-K

Dans la théorie C-K, la solution à un projet commence par une partition, comme connu dans l'approche classique dite par séparation et évaluation (Branch and Bound). Cependant, dans les théories traditionnelles cette partition est toujours restrictive. Les

solutions sont partitionnées de façon à ne rien changer dans leurs définitions. Elles sont utilisées telles qu'elles existent pour solutionner les problèmes. La sélection se fait par restriction de l'espace des possibles.

La théorie C-K prévoit le cas des solutions non disponibles dans l'immédiat (l'indécidable). Face à l'indécidable, elle propose de rechercher des partitions qui construisent progressivement des définitions nécessaires à la solution. Ce sont des partitions expansives puisqu'elles modifient la définition des solutions en ajoutant des propriétés à la notion initiale. Le raisonnement de conception comporte nécessairement des partitions expansives successives, et c'est précisément parce que ces partitions sont expansives que l'invention, la surprise sont possibles.

Selon Hatchuel (2002), pour rendre compte de la distinction entre partition restrictive et partition expansive, il est nécessaire de faire intervenir la connaissance que nous détenons sur les objets. Cette difficulté n'était pas visible dans les approches du problem solving traditionnel car en général elles supposent une connaissance figée des objets dès le début du problème.

La Théorie C-K propose de partitionner un ensemble de connaissances infini non dénombrable à travers la partition expansive. Celle-ci permet de définir des attributs créant des ensembles par expansion de la définition (des attributs) des connaissances. En ajoutant de nouvelles propriétés à une notion initiale, il est possible de sélectionner un « monde » et en même temps de le rendre acceptable aussi bien pour le concepteur que pour d'autres destinataires. Ces nouvelles propriétés sont inséparables d'un processus d'acquisition des connaissances.

Hatchuel et Weil (1998) ont appelé « expanseurs » les fonctions qui réalisent des partitions expansives. Le mécanisme des partitions expansives exige deux conditions : que l'ensemble à partitionner ne soit pas complètement spécifié (donc expansible) ; que la partition opère à partir d'une connaissance (extérieure à cet ensemble). L'ensemble à partitionner est appelé l'espace des concepts (C) ; les connaissances sont « organisées » dans un espace de connaissances (K).

Ces deux conditions ont déterminé la forme de la Théorie C-K qui repose sur la distinction formelle entre « concept » et « connaissance ». Dans la Théorie C-K, le terme de

« concept » est défini relativement à celui de « connaissance ». Une connaissance est une proposition ayant un statut logique pour le concepteur ou pour le destinataire de la conception. Un ensemble de connaissances est donc un ensemble de propositions ayant toutes un statut logique. Le concept est une notion ou une proposition sans statut logique : on ne peut pas savoir à l'avance si le concept est vrai, faux, incertain, ou indécidable. Il évoque une proposition « inconnue » relativement à la connaissance disponible. Les concepts sont associés à des ensembles possédant toutes les propriétés classiques des ensembles à l'exception de l'axiome du choix. Cela revient à dire que nous pouvons les considérer d'un point de vue ensembliste mais nous ne savons pas définir complètement les éléments de cet ensemble.

A partir de ces définitions la Théorie C-K propose l'espace des concepts (C) et l'ensemble des connaissances (K). Dans le premier espace il y a des ensembles associés à des concepts, dans le second des ensembles associés à des connaissances. L'espace des Concepts est indissociable de l'espace des connaissances puisque sa définition est relative à K. La proposition fondamentale de la Théorie C-K est donc que tout raisonnement de conception suppose la distinction entre deux espaces associés : l'espace des concepts et l'espace des connaissances (Hatchuel et Weil, 2002).

Cette distinction est appelée « disjonction K-C » et est nécessaire à la reconnaissance des concepts. La disjonction C-K est l'opération qui, allant de $K \rightarrow C$, permet la formulation d'un concept. Pour cela, tous les termes de la proposition doivent appartenir à des propositions de K et la proposition ne doit pas avoir de statut logique, sinon elle serait une connaissance de K. La disjonction K-C marque donc l'engagement d'un raisonnement de conception.

Une fois que le concepteur pense avoir fini de concevoir une proposition, s'ensuit une phase de conjonction C-K. Elle intervient lorsque le concepteur juge avoir défini la proposition puisque cette dernière possède des propriétés existantes dans l'espace K. Cette opération est un retour de l'espace C à l'espace K, transformant un concept en connaissance. Ces propriétés constituent donc une expansion du concept initial. Elles permettent de partitionner l'ensemble associé au concept initial tout en augmentant les propriétés qui définissent le concept.

Ce processus de disjonction-conjonction par des partitions expansives est proche de l'approche classique de la « problem-solving theory » (la méthode de séparation et d'évaluation – SEP) et repose sur les séparations successives et l'évaluation d'un ensemble de solutions admissibles pour un problème donné. Cependant, dans la Théorie C-K, la solution admise n'est pas connue au départ et peut modifier le concept initial.

Pour réaliser une partition expansive, il est nécessaire de sélectionner la partition à opérer (règle systématique de type $K \rightarrow C$) ; mobiliser une connaissance de K activable à partir de C ; réaliser la partition de C à l'aide de K.

Finalement, suite à la rétention des propositions, la théorie prévoit une vérification du statut logique d'un concept dans K. Mais, il est possible qu'aucune épreuve de ce type ne soit possible à ce stade compte-tenu de K. Une séquence de partitions expansives peut être alors envisagée jusqu'à ce qu'une épreuve soit possible. Ainsi, la notion de règle d'évaluation est remplacée par une notion de K- validation propre à chaque concept et l'expansion de l'espace K découle de cette mise à l'épreuve.

La K-validation d'un concept est un opérateur $C \rightarrow K$ qui transforme un concept en question logique. Sa réalisation inclut toutes les formes connues dans K d'acquisition de connaissances (consultation de bases, plan d'expériences, consultation d'expert...). Si K ne contient aucune méthode d'acquisition de connaissances nouvelles aucune expansion n'est possible. A partir de ces méthodes il est possible d'observer comment les partitions successives de C ont permis de former des propositions de K inattendues.

Suite à cette introduction à la Théorie C-K nécessaire pour établir le travail de conceptualisation, nous discuterons rapidement la méthode d'étude de cas (Eisenhardt, 1989) employée pour illustrer le concept.

La méthode d'étude de cas

Dans cette méthode, certaines caractéristiques comme la définition du problème et la validation de la théorie sont similaires à la méthode de recherche basée sur le couple hypothèse-essai. D'autres caractéristiques telles que l'analyse interne du cas et la logique

de réplication, sont particulières au processus inductif orienté par le cas. Cette approche est spécialement appropriée à des domaines dont le développement est récent.

L'étude de cas ne prétend pas vérifier une théorie précédente mais, au contraire, proposer un modèle de réflexion sur un sujet nouveau ou peu étudié (Eisenhardt et Graebner, 2007). La théorie résultante d'une étude de cas est souvent nouvelle, testable et validée empiriquement. Des idées nouvelles, des tests de la théorie – parcimonie, cohérence logique – et un support d'évidences convainquant sont les critères d'évaluation de ce type de recherche. Cette méthode est adaptée à des problématiques dont on dispose de peu d'information scientifique et nous a semblé appropriée pour renforcer et illustrer le travail de conception.

Malgré une utilisation fréquente dans la littérature des sciences humaines (Borins, 1990 ; Yin, 2003) elle est peu courante dans le domaine du vivant. De plus, son application est différente dans les deux domaines. Dans le domaine du vivant, les études de cas sont surtout destinées à des observations de cas rares dont une théorisation n'est pas encore envisageable et/ou la méthode scientifique n'est pas très rigoureuse (Bailey, 1992). Dans les sciences humaines, elle représente un processus de construction de théorie rigoureux par le questionnement scientifique des cas étudiés.

Nous avons adopté cette méthode car elle nous a semblé adaptée aux besoins de la thèse. La littérature industrielle concernant le concept proposé est peu développée. L'étude de cas permettra de réunir un certain nombre d'informations nécessaires pour formaliser un raisonnement industriel analytique et raffiné permettant de conduire une première étude qualitative débouchant sur la mise en évidence du concept proposé.

Le travail a été organisé de façon à répondre séparément aux trois objectifs de la thèse. Les informations ont été disposées de façon à illustrer les connaissances mobilisées pour la construction du concept proposé et permettre de développer les partitions expansives citées auparavant. L'objectif intrinsèque des études de cas a été de comprendre la nature de l'industrie, les interactions entre acteurs et les enjeux liés au développement technique et commercial.

Le travail de recherche et d'analyse d'information a été réalisé selon le plan décrit dans la Figure 1 :

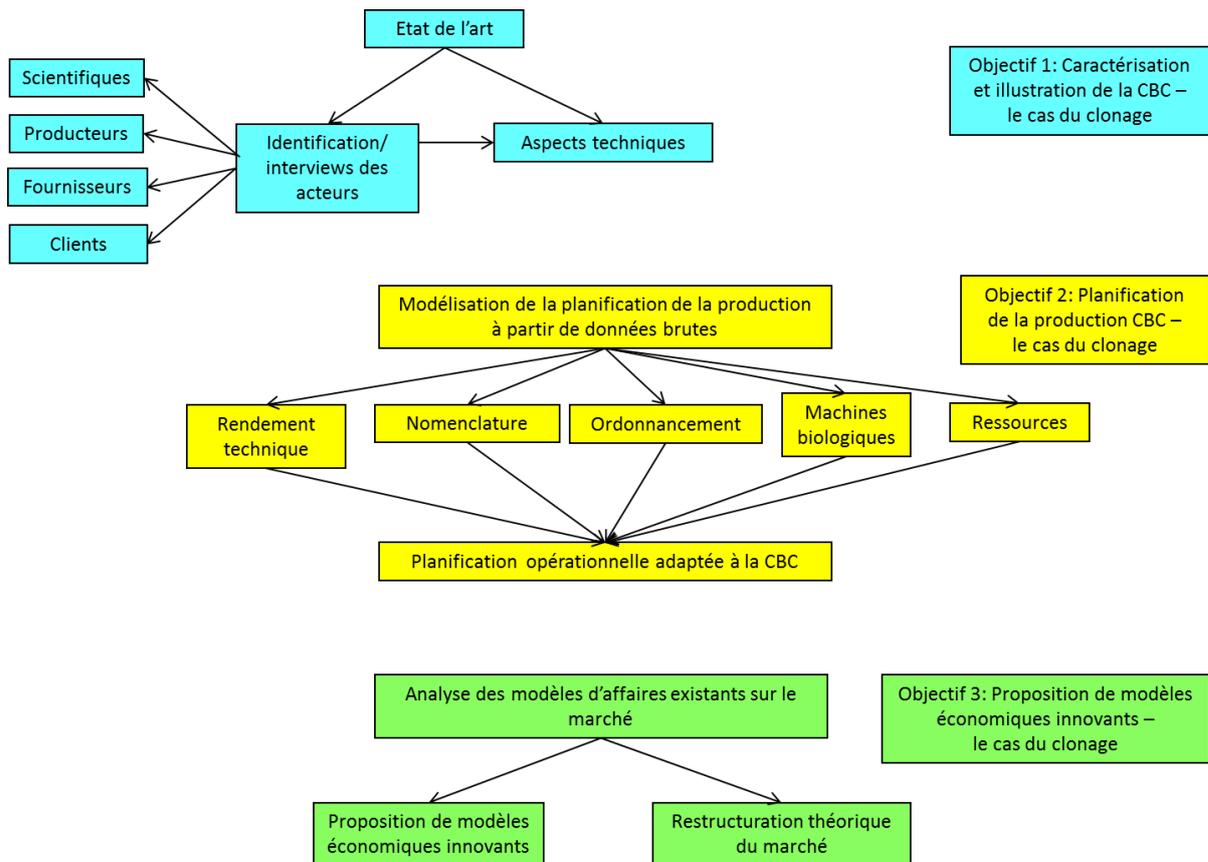


Figure 1 : Plan de l'étude du cas du clonage équin.

Légende : 1^{ère} partie : bleu ; 2^{ème} partie : jaune ; 3^{ème} partie vert

Les sources utiles pour l'étude de cas

Une de sources d'informations pour la réalisation de la recherche a été une analyse bibliographique extensive. La littérature de base mobilisée porte sur la planification industrielle des systèmes complexes de production dans d'autres domaines (Giacomini et Sardas, 2011), la conception d'outils de gestion (Hatchuel et Weil, 1992 ; Moisson, 1997), la théorie C-K de l'innovation (Hatchuel et Weil, 2002), la construction d'une rationalité spécifique aux acteurs de systèmes dynamiques (David, 2002), le concept de rationalité interactive (Ponssard, 1997), les e-modèles d'affaires (Benghozi et Paris, 2007 ; OCDE, 2011) et les plateformes scientifiques (Aggeri et al. 2007).

La littérature technique portant sur les méthodes de planification industrielle telles que le MRP (Material Requirement Planning), le PERT (Project Evaluation and Review Technique), l'ordonnancement, la gestion de projets, la programmation linéaire a aussi été mobilisée. Cependant, comme le concept proposé émane du domaine du vivant, il est nécessaire de considérer les aspects vivants des « machines biologiques et des composants » nécessaires pour obtenir un produit. Lors de la construction du concept, ces aspects seront traités conjointement aux méthodes de planification industrielle afin d'obtenir un modèle permettant la prise en compte des caractéristiques du vivant dans l'industrialisation de l'activité. La spécificité des aspects vivants impose une adaptation du concept aux différentes techniques et différentes espèces.

Le cas du clonage équin : un outil pour illustrer le concept

Les informations disponibles dans la littérature scientifique biologique ne permettent pas à elles seules d'avoir une vue d'ensemble de la conception et du développement industriel d'une technologie. Cela justifie l'utilisation de différents moyens d'information dans une enquête extensive afin de réunir les informations nécessaires à illustrer la CBC à travers du cas du clonage équin. Les outils d'enquête utilisés pour délimiter ce cas illustratif sont décrits dans les paragraphes suivants.

La littérature scientifique concernant le clonage a été consultée pour permettre de caractériser son environnement de développement et les méthodes type de production actuellement appliquées. Les données recueillies ont été utilisées pour déterminer les enjeux technologiques, commerciaux et sociaux de la technologie et démontrer sa complexité. Les principaux articles consultés sont listés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Articles consultés sur le clonage équin.

Domaine de connaissance	N articles	Auteurs
Transport d'ovaires et Conservation	6	Ribeiro et al. 2008 ; Choi et al. 2006a ; Pedersen et al. 2004 ; Preis et al. 2004 ; Love et al. 2003 ; Guignot et al. 1999
Récolte d'ovocytes	8	Cremonesi et al. 2010 ; Jacobson et al. 2010 ; Vanderwall et al. 2006 ; Dell'Aquila et al. 2001 ; Alm et al. 1997 ; Del Campo et al. 1995 ; Choi et al. 1993 ; Hinrichs, 1991
Maturation d'ovocytes	29	Franciosi et al. 2012 ; Hinrichs, 2010a ; Lange et al. 2010 ; Deleuze et al. 2010 ; Mlodawska et Okolski 2009 ; Lange et al. 2009 ; Caillaud et al. 2009 ; Torner et al. 2007 ; Choi et al. 2006b ; Hinrichs et al. 2005 ; Franz et al. 2003 ; Tremoleda et al. 2003a ; Martoriati et al. 2003 ; Lorenzo et al. 2002 ; Love et al. 2002 ; Choi et al. 2002a ; Carneiro et al. 2001 ; Choi et al. 2001a ; Li et al. 2006 ; Hinrichs et Schmidt 2000 ; Goudet et al. 2000 ; Goudet et al. 1998 ; Hinrichs 1997 ; Hinrichs et Williams 1997 ; Alm et Hinrichs 1996 ; Hinrichs et al. 1995 ; Alm et Torner 1994 ; Hinrichs et al. 1993 ; Okolski et al. 1991
Activation ovocytaire	5	Oliveira et al. 2012 ; Bedford-Guaus et al. 2011 ; Choi et al. 2009 ; Bedford-Guaus et al. 2008 ; Choi et al. 2001b
Culture embryonnaire	16	Mohammadi et al. 2011 ; Hinrichs et al. 2007a ; Galli et al. 2007 ; Choi et al. 2007 ; Choi et al. 2006b ; Rambags et al. 2005 ; Choi et al. 2004a ; Choi et al. 2004b ; Tremoleda et al. 2003b ; Choi et al. 2003a ; Choi et al. 2003b ; Rosati et al. 2002 ; Choi et al. 2002b ; Vanderwall 1996 ; Battut et al. 1991 ; Hinrichs et al. 1990
Technologie du clonage	15	Hinrichs 2012 ; Gambini et al. 2012 ; Hinrichs 2010b ; Galli et al. 2008 ; Lagutina et al. 2007 ; Hinrichs et al. 2007b ; Zhou et al. 2007 ; Zhou et al. 2006 ; Hinrichs et al. 2006 ; Hinrichs et al. 2005 ; Lagutina et al. 2005 ; Vanderwall et al. 2004 ; Galli et al. 2003 ; Choi et al. 2002c ; Choi et al. 2003c ; Li et al. 2001

Parallèlement à l'analyse de la littérature, nous avons identifié et interviewé les acteurs de ce domaine. Cette phase a été nécessaire pour caractériser les catégories d'acteurs participant au développement de ces technologies, comprendre leur organisation et les enjeux liés à chaque catégorie d'acteur. Elle a été réalisée à l'aide de la littérature, d'informations et de contacts obtenus auprès des ambassades, des ministères de l'agriculture, d'une recherche internet extensive et de la participation d'événements et expositions où différents acteurs étaient présents.

Les différentes catégories d'acteurs impliqués sont : des chercheurs, des vétérinaires, des commerciaux, des fournisseurs de certaines matières premières, de matériel et équipements, des consommateurs potentiels (éleveurs) et des représentants d'associations d'éleveurs. Ils ont été classés dans des catégories précises : Producteurs et commerciaux (scientifiques, producteurs commerciaux et distributeurs), Fournisseurs et Consommateurs.

Cette phase a été réalisée en trois étapes :

- repérage des acteurs ;
- prise de contact ;
- interviews

Les producteurs et commerciaux ont été interviewés afin de mieux comprendre leur mode de fonctionnement et les difficultés rencontrées. Dans cette catégorie, nous avons inclus les acteurs directement impliqués dans les processus de développement et de commercialisation. Le Tableau 2 apporte une liste de producteurs du clonage équin et des interviews réalisées.

Tableau 2 : Acteurs du clonage équin et interviews réalisées.

Acteur/ représentant	Localisation	Lieu des interviews	N interviews	Durée totale
1. Avantea / C. Galli	ITA	Avantea – ITA, Congrès IETS & ESDAR	3	5h
2. Texas A&M / K. Hinrichs	USA	Congrès IETS & ESDAR	2	1h30
3. Cryozootech / E. Palmer	FRA	Cryozootech – FRA	-	5 ans
4. Viagen / B. Russel	USA	-	-	-
5. UBA / D. Salamone	ARG	Université de Buenos Aires – ARG	3	6h
6. In vitro Brasil / A. Basso	BRA	In vitro Brasil – BRA	1	4h
7. Crestview / Cambiasso	ARG	-	-	-

L'acteur 7, apparu en 2012 n'a pas été contacté directement. Les informations le concernant ont été obtenues grâce à la collaboration de confrères argentins et à des informations disponibles sur différents sites internet d'information. Il n'a pas été inclus dans notre travail.

Des interviews ont été réalisées avec des fournisseurs de matière première parallèlement au travail réalisé auprès des producteurs. Dans le cas étudié ces acteurs sont rares et discrets à cause des enjeux liés à leur activité (actions d'associations de bien-être animal contre la consommation de viande chevaline). Le travail d'identification a commencé par la récolte d'un maximum de données sur leur filière. Ces données ont été obtenues auprès de la FAO et d'associations de soutien au développement de la viande chevaline (l'ensemble de données sur la filière est résumé dans l'Annexe II, page 307).

Cinq sources principales d'information ont été utilisées pour l'identification des fournisseurs :

- 1) Le département de commerce des ambassades des pays producteurs de la matière première ;
- 2) Le ministère de l'agriculture de ces pays ;
- 3) Le réseau professionnel facilitateur de la prise de rendez-vous ;
- 4) Le site officiel européen :

http://ec.europa.eu/food/food/biosafety/establishments/third_country/index_fr.htm où sont listés tous les fournisseurs de viande autorisés par les autorités européennes.

5) Les sites internet des associations de protection animale. Ces sites affichent des informations telles que : la production annuelle, les activités, l'adresse et les noms des responsables des principaux abattoirs en Amérique Centrale et du Nord (<http://www.marynash.org>). Ces sites nous ont permis de connaître une bonne partie des abattoirs aux EUA (fermés depuis), au Mexique et au Canada ;

Le Tableau 3 résume la combinaison des stratégies de recherche utilisées afin d'identifier les principaux fournisseurs de matière première pour le clonage dans le monde.

Tableau 3 : Recherche et contact de fournisseurs de matière première.

Pays	Stratégies	N fournisseurs			
		Identifiés	Contactés	Interviewés	Visités
Argentine	I ; A ; M	4	4	2	2
Belgique	I ; R	3	1	0	1
Brésil	I ; A	4	4	1	1
Canada	I ; M ; R	4	4	3	0
France	M	5	5	3	4
Italie	I ; A ; M	5	5	0	0
Mexique	I	1	1	0	0
Pologne	I ; A ; R	5	5	1	1
Total	I ; A ; M ; R	31	29	10	9

Stratégies : I : recherche internet ; A : demande Ambassade ; M : demande ministère ; R : réseau de connaissances

La méfiance des fournisseurs sur le réel intérêt de notre enquête a fait que les prises de contact par téléphone ont été peu fructueuses. L'utilisation du fax et de l'e-mail ont permis de mieux clarifier l'objectif de l'enquête. Les prises de contact par email ont été plutôt positives. Celles-ci, associées au fait que j'étais employée de Cryozootech (un commerçant de clones et client potentiel pour les abattoirs) ont permis de lever la méfiance et de fixer des rendez-vous pour interviews.

Enfin, la dernière catégorie d'interviewés a été celle des consommateurs potentiels. Dans le cas du clonage équin, des éleveurs, des vétérinaires, de présidents d'associations et des cavaliers.

La difficulté d'accéder à l'ensemble des acteurs (distance géographique, empêchements liés à leur statut social, opacité de la filière, absence d'un marché bien établi, etc.) a empêché une recherche structurée dans le domaine de la demande. Les interviews des consommateurs ont été réalisées lors de salons ou réunions. L'échantillon interviewé comprend toutes les classes de consommateurs concernées: éleveurs, cavaliers, directeurs d'associations, consultants techniques. Le Tableau 4 résume le profil des interviewés.

Tableau 4: Interviews réalisées, profil des acteurs et année de réalisation.

Événement/Année	Public cible	Public professionnel estimé	Nationalités des interviewés	N interviewés
Grande Semaine de l'élevage de Fontainebleau (2007-2011 – Fontainebleau - France)	Éleveurs et cavaliers de jeunes chevaux de saut d'obstacle	~1000 éleveurs ; ~500 cavaliers (source : catalogue de chevaux inscrits)	1% étrangers (Belge, Hollandais, Suédois, Sud Africain, Portugais) ; 99% Français	Total : 125 personnes (cavaliers, éleveurs, vétérinaires, journalistes) ; moyenne: 25 personnes/an
FEI World Breeding Jumping Championships for young horses (2007, Lanaken – Belgique)	Éleveurs et cavaliers de jeunes chevaux de saut d'obstacle	~800 éleveurs ; ~465 cavaliers (source Zangersheide)	2% étrangers (Français, Brésilien, Hollandais) ; 98% Belges	20 personnes (éleveurs, cavaliers)
Réunion annuelle de l'ACA (Association du cheval Arabe) (2008, Pompadour – France)	Éleveurs et cavaliers de chevaux d'endurance	~500 personnes	100% français	10 personnes (éleveurs)
Réunion annuelle des éleveurs de Mangalarga Marchador de Rio de Janeiro (2008, Angra dos Reis – Brésil)	Éleveurs de Mangalarga Marchador – race développée au Brésil	60 éleveurs	100% Brésiliens	15 éleveurs, 1 vétérinaire
Réunion avec l'Association brésilienne des éleveurs de chevaux de saut d'obstacle (2011, São Paulo, Brésil)	La Direction	3 personnes	100% Brésiliens	Président, un conseiller et un secrétaire général
Réunion avec des éleveurs de chevaux de saut d'obstacle au Brésil (2011, São Paulo, Brésil)	Éleveurs et vétérinaires de chevaux de saut d'obstacle	9 éleveurs, 2 vétérinaires, 1 journaliste	100% Brésiliens	6 éleveurs, 2 vétérinaires, 1 journaliste
Réunion avec des éleveurs de chevaux de saut d'obstacle en Argentine (2011, Buenos Aires, Argentine)	Éleveurs de chevaux de saut d'obstacle	17 éleveurs ; 2 cavaliers ; 1 vétérinaire	100% Argentins	17 éleveurs ; 2 cavaliers ; 1 vétérinaire
Réunion avec l'Association Argentine de chevaux de sport (AAFE) (2011, Buenos Aires, Argentine)	Direction de l'Association	Direction de l'AAFE	100% Argentins	Président et 1 vétérinaire, conseiller technique
Interview avec 1 vétérinaire de la FEI	Vétérinaire de la FEI	Vétérinaire de la FEI	Belge	1 vétérinaire FEI
Tournée de visites à des éleveurs émiratis	Éleveurs de chevaux d'endurance et de saut d'obstacles aux EAU	Vétérinaires et managers d'élevage	33% marocaine ; 16,5% australienne ; 16,5% brésilienne ; 16,5% émirati ; 16,5% anglaise	1 vétérinaire et 1 chef de centre marocains ; 1 vétérinaire australien ; 1 vétérinaire brésilien ; 1 manager d'élevage émirati ; 1 cavalière anglaise

Suite à l'identification des acteurs et afin de construire le cadre théorique du concept proposé, nous avons analysé les principales caractéristiques du processus de production-conception du clonage équin. Cette analyse s'est développée selon trois méthodes. D'abord, une analyse de la littérature scientifique concernant les aspects biologiques du matériel utilisé. Ensuite, une analyse approfondie de chaque étape du processus de clonage afin de délimiter chaque étape, de connaître le besoin en matériel, équipement et main d'œuvre pour leur réalisation, d'identifier les découpages techniques et comprendre les principes des méthodes existantes. Cette phase est fondamentale pour le développement du concept de planification opérationnelle. Parallèlement, notre travail en laboratoire a permis de réaliser certains projets pratiques en laboratoire pour mieux connaître la complexité de ce matériel biologique lors d'une manipulation *in vitro*. Les résultats de ces travaux ne seront pas inclus dans la thèse. Mais ce processus d'apprentissage a été très important pour le développement d'un regard critique sur l'ensemble du processus. Certains des résultats ont été publiés dans des congrès scientifiques dédiés.

Mais un modèle de planification opérationnelle adapté demande aussi des connaissances en zootechnie. Nous avons assimilé ces connaissances à l'effort de modélisation afin de proposer une solution adaptée à un système industriel du vivant.

En possession de toutes ces informations, il a été possible d'analyser les modèles d'affaires existant sur le marché et la structure de ce marché afin de comprendre les difficultés de développement rencontrées par les acteurs. Par la suite, cette analyse nous a permis de proposer des modèles d'affaires adaptés à cette technologie. La méthode de conception de modèles d'affaires proposée est transposable sur d'autres technologies partageant des aspects technico-industriels similaires.

PARTIE I : LA CONCEPTION BIOLOGIQUE COMPLEXE (CBC)

I.1. UN CONCEPT GÉNÉRIQUE POUR LES TECHNOLOGIES DU VIVANT

Le domaine du vivant a connu des développements technologiques importants dans les dernières décennies. Des technologies *a priori* prometteuses ont vu le jour dans les années 90 et 2000. Parmi elles, nous pouvons citer le clonage de mammifères qui permettrait de produire de copies génétiquement identiques d'animaux de haute valeur génétique ; la transgénèse animale et végétale qui rendrait les plantes résistantes à certains facteurs nuisibles à leur développement tels que les maladies et les desherbants et permettrait aux animaux de produire de molécules d'intérêt et de les sécréter dans leur lait, leur sérum ou leur viande ; ou encore les cellules souches qui rendraient possible la régénération de tissus ou d'organes affectés par une maladie.

La littérature spécialisée dans le domaine est riche en publications sur les aspects technico-expérimentaux de ces technologies. Malgré la difficulté technique encore apparente dans les publications, les auteurs annoncent la possibilité de réalisation de ces technologies de façon commerciale – ou clinique (Fishwild et al. 1996 ; Faber et al. 2004 ; Kang et al. 2004 ; Caplice et al. 2005 ; Lonberg, 2005 ; Hinrichs et al. 2010).

Par conséquent, un constat a été dégagé : il s'agit du développement d'une nouvelle industrie dans le domaine du vivant, guidée par l'innovation intensive et un haut niveau de spécialisation technique, où les entreprises sont dotées de personnel hautement qualifié et spécialisé. Or, cette aptitude à l'innovation représente la caractéristique fondamentale du développement capitaliste (Schumpeter, 1942) et est considérée comme un facteur de succès et une condition de survie pour les organisations (Drucker, 1985 ; Peters, 1998 ; Hamel, 1998 ; Le Masson et al., 2006). Pourtant, les entreprises récentes du domaine du vivant sont fréquemment confrontées à des difficultés économiques. Un facteur qui pourrait expliquer ce contraste est le fait que la capacité d'innovation soit traditionnellement attribuée aux grandes entreprises (Schumpeter, 1942) alors que les entreprises récentes du vivant sont majoritairement de petite taille. Mais des études plus récentes montrent que la capacité à innover n'est pas spécialement liée à la taille mais à la capacité d'absorber et de gérer la connaissance (Gray, 2006).

Nous nous sommes donc intéressés aux aspects de gestion de cette industrie afin de mieux comprendre ces difficultés de combiner innovation et production. Cependant, traditionnellement la littérature du domaine du vivant dit peu sur la question du point de

vue entrepreneurial. Par ailleurs, chaque technologie y est traitée de façon très individualisée de façon à ce que chaque technologie soit perçue comme une entité particulière engendrant le traitement des technologies de façon séparée.

Nous avons alors posé une première question : Serait-il possible de concevoir un modèle de gestion facilement adaptable à différentes technologies du vivant ? A partir de cette question nous avons proposé de concevoir un modèle permettant d'identifier les technologies partageant des points communs. A partir de ce concept, il serait possible de discuter l'ensemble de ces technologies du point de vue de la gestion. Ce concept sera utile pour comprendre et traiter les difficultés de gestion et d'innovation rencontrées par les entreprises de cette industrie.

Dû à la multiplicité de technologies et d'espèces ciblées, nous avons limité notre recherche au clonage équin. Ce choix est fait sur demande industrielle et expliqué par le fait que cette technologie fait face à des difficultés entrepreneuriales. Le concept générique proposé sera développé à partir des caractéristiques générales de cette technologie et pourra par la suite être utilisé, voire adapté pour faciliter la compréhension des problèmes d'autres technologies ayant les mêmes caractéristiques de gestion.

Comme déjà explicité, le manque d'information managériale disponible nous a obligés de commencer le travail par une structuration de l'information technique et pratique existantes afin de pouvoir les utiliser dans le modèle.

I.2. LA CONSTRUCTION DE L'ESPACE DES CONNAISSANCES (K)

Les connaissances existantes sur ces technologies doivent être repérées et organisées afin de composer un espace K structuré dont les informations sont mobilisables pour l'étude des aspects de gestion.

Notre recherche mobilise trois sources de connaissances : la littérature du domaine du vivant (dite ici technique), la littérature du domaine du management et d'autres sources telles que les acteurs (producteurs, consommateurs, fournisseurs, associations de contrôle, etc.). Nous allons exploiter ces sources tel que détaillé dans la présentation générale de la

thèse afin d'obtenir des informations plus précises et de structurer l'espace des connaissances.

Nous commencerons par l'exploitation de la littérature associée à la recherche technique et ensuite nous exploiterons la littérature en management plus adaptée aux principales caractéristiques identifiées afin de consolider le concept.

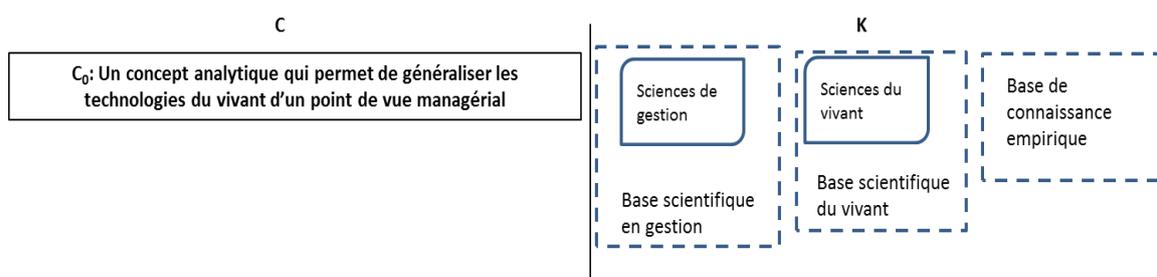


Figure 2: Etat initial du Concept (C) et de l'Espace des connaissances (K).

Légende : à gauche l'espace des concepts. À ce stade, nous proposons le concept initial qui sera développé dans la partie I grâce aux connaissances mobilisées. À droite, l'espace des connaissances. Cet espace regroupe les connaissances mobilisées pour le développement du concept et les connaissances générées par le développement de celui-ci. À ce stade nous représentons seulement les domaines de connaissances dans lesquels certaines connaissances précises seront mobilisées pour le développement du concept.

I.2.1. Introduction aux aspects techniques et historiques

Le clonage est une méthode de reproduction asexuée largement répandue dans la nature. Les plantes réalisent fréquemment ce type de reproduction. Les racines, les bulbes, et les feuilles de certaines plantes peuvent produire une nouvelle plante si elles sont dans l'environnement approprié. Le clonage de plantes est largement utilisé par l'homme depuis toujours afin de reproduire ou conserver des caractéristiques comme la saveur, la résistance ou la croissance.

Dans le règne animal, cette forme de reproduction est aussi présente chez certains vers (par fragmentation) ou encore certains poissons, insectes, lézards et grenouilles (par parthénogenèse). Les animaux utilisent ce type de reproduction à certains moments de l'année. La reproduction asexuée est plus rapide que la reproduction sexuée et

spécialement utile pour exploiter rapidement les ressources disponibles dans un environnement donné.

Chez les mammifères, la reproduction asexuée ne se produit pas naturellement. Cependant, nous pouvons observer l'existence d'individus identiques issus de la polyembryonie monozygote (ex. : homme, tatou à neuf bandes). Mais ces jumeaux ne peuvent pas être considérés comme des clones parce qu'ils ne sont pas le résultat d'une reproduction asexuée et partagent la totalité de l'ADN, tandis que les clones partagent l'ADN nucléaire mais pas l'ADN mitochondrial.

Le clonage des mammifères représente alors une innovation de rupture dans le domaine de la reproduction car il y introduit une nouvelle forme de reproduction.

1.2.1.2. Historique du clonage animal

Les premières expérimentations sur le clonage animal ont été réalisées au XIX^{ème} siècle, au départ grâce à des divisions d'embryons. Driesch (1891) a séparé les blastomères d'embryons d'oursin à 2 cellules en les secouant dans l'eau de mer. Les cellules ainsi séparées ont commencé à se développer indépendamment et ont formé deux oursins entiers. Spemann (1902) a reproduit ce phénomène sur la salamandre en utilisant un cheveu de son bébé pour séparer les cellules de l'embryon. Cependant, l'absence d'un système efficace de manipulation expérimentale et l'ignorance de l'importance d'une température strictement contrôlée pour la survie et le développement des ovocytes et embryons des mammifères ont constitué une barrière au développement de cette technologie pendant presque 80 ans (Bavister 2002).

Les premières divisions d'embryons d'animaux domestiques ont été réalisées avec l'objectif d'obtenir une multiplication rapide d'individus de haute valeur génétique (Willadsen, 1979 ; Ozil et al. 1982). Malgré l'enthousiasme initial, le processus n'a pas eu l'impact espéré. Son expansion a été limitée par des difficultés techniques et de forts taux d'avortement. Outre les difficultés techniques, il restait le fait qu'un embryon ne peut être divisé artificiellement qu'une ou deux fois, générant donc au maximum seulement quatre individus génétiquement identiques.

1.2.1.3. Les principes du clonage animal moderne

Loeb (1894) a découvert accidentellement une deuxième méthode de reproduction asexuée lorsqu'il a observé que certains oursins produisaient des bourgeons sous certaines concentrations de sel. Ensuite il a observé que lorsqu'un noyau rentrait dans le bourgeon, il commençait à se développer également, même si le bourgeon était séparé de l'embryon d'origine. Cette découverte était le modèle primitif de toutes les études modernes sur le transfert nucléaire ou clonage.

Le premier succès en transfert nucléaire chez les mammifères a été obtenu en utilisant des cellules embryonnaires comme donneuses de noyau. Illmensee et Hoppe (1981) ont décrit la naissance de trois souris produites par transfert de cellules embryonnaires dans des zygotes énucléés (embryons à 1 cellule). Cependant cet exploit n'a jamais été répété. Suite à plusieurs échecs scientifiques, les embryologistes ont déclaré l'impossibilité de cloner des mammifères par simple transfert nucléaire (McGrath et Solter, 1984).

Les chercheurs de l'Université de Cambridge ont pourtant persisté dans cette voie. Le Dr Willadsen a essayé de répéter l'expérience sur les brebis. Suite à plusieurs améliorations technologiques mais n'obtenant pas de résultats, il a décidé d'utiliser des ovocytes comme receveurs de noyau à la place des zygotes. L'équipe n'a pas été soutenue dans cette recherche à l'époque mais a donné naissance aux premiers mammifères clonés (Willadsen, 1986). Cette méthode a permis de produire par la suite des bovins (Prather et al. 1987) et des porcs clonés (Prather et al. 1989).

Cette avancée n'a entraîné que des réactions mineures dans la communauté scientifique et est passé inaperçue du grand public. Certaines compagnies de reproduction animale l'ont perçue comme un outil potentiel pour la multiplication rapide d'animaux de haute valeur génétique, mais le rendement de cette technologie est resté mathématiquement faible. Théoriquement, un embryon de 32 cellules pourrait donner 32 embryons clonés. Cependant, ce chiffre n'était pas atteint ni même approché. Les revenus générés par cette avancée n'ont pas été suffisants pour couvrir les dépenses de laboratoire. Par ailleurs, le financement de la recherche dans ce domaine a été considérablement réduit au début des années 90. La plupart des chercheurs se sont alors tournés vers d'autres sujets de recherche.

Cependant, il y avait encore une voie à explorer et plus au moins oubliée. Spemann (1938) avait suggéré la possibilité de transférer les noyaux de cellules d'embryons en stade morula ou même plus âgées dans des ovocytes énucléés. Briggs et King (1952) l'avaient essayé sur la grenouille en utilisant des noyaux de morula et ultérieurement des cellules de l'épithélium intestinal de têtards et avaient obtenu un développement embryonnaire considérablement important. Cependant, ces chercheurs ont remarqué que plus les cellules étaient différenciées, plus faible était le rendement technique. Ils n'avaient pas réussi à produire de grenouilles viables à partir de cellules de grenouilles adultes (Di Bernardino, 2001).

Malgré la difficulté, certains chercheurs ont poursuivi les recherches sur cette piste et des études publiées dans les années 90 ont indiqué que des cellules somatiques d'individus adultes pourraient être utilisées pour le clonage de mammifères (Sims et First, 1993). C'est alors qu'un partenariat public/privé entre un institut de recherche gouvernemental (The Roslin Institute), une entreprise spin off d'une université (PPL Therapeutics) et une université (Edinburg University) a été conclu permettant la naissance du premier clone de mammifère produit à partir d'une cellule somatique d'un animal adulte : Dolly, le premier clone d'un animal adulte (Campbell et al. 1996, Fransman, 2001).

1.2.1.4. Description succincte de la technique

Actuellement, le clonage est réalisé à partir de cellules d'un animal adulte et d'ovocytes récoltés sur des ovaires de femelles récemment abattues (dits ovocytes d'abattoir). Ces ovocytes sont plus abondants, plus faciles à récolter et moins coûteux que les ovocytes récoltés sur des animaux vivants (Landim-Alvarenga et al. 2008).

Voici une description succincte de la technologie : premièrement, le laboratoire cultive les cellules du donneur afin d'obtenir un nombre suffisamment important pour permettre la réalisation d'autant de séances nécessaires pour produire un clone. Parallèlement, des ovocytes sont récoltés sur des ovaires de femelles récemment abattues et cultivés *in vitro* afin de permettre la reprise de la méiose. Aussitôt qu'ils se présentent en deuxième division méiotique (Méiose II = MII) leur noyau, contenant les chromosomes, est enlevé par énucléation et le noyau d'une cellule somatique cultivée est injecté dans le cytoplasme (ooplasme) ou dans l'espace périvitellin de l'ovocyte.

Ensuite, le couple (ovocyte – noyau) est fusionné électriquement et/ou soumis à des agents chimiques permettant d'activer le zygote présumé et déclencher le signal pour le démarrage des divisions cellulaires de type mitotiques. Une fois activés, les zygotes sont mis en culture pendant environ 8 jours. Après cette période de culture, les embryons au stade blastocyste sont transférés dans une femelle receveuse afin d'établir une gestation et d'obtenir un nouveau-né (Figure 3).

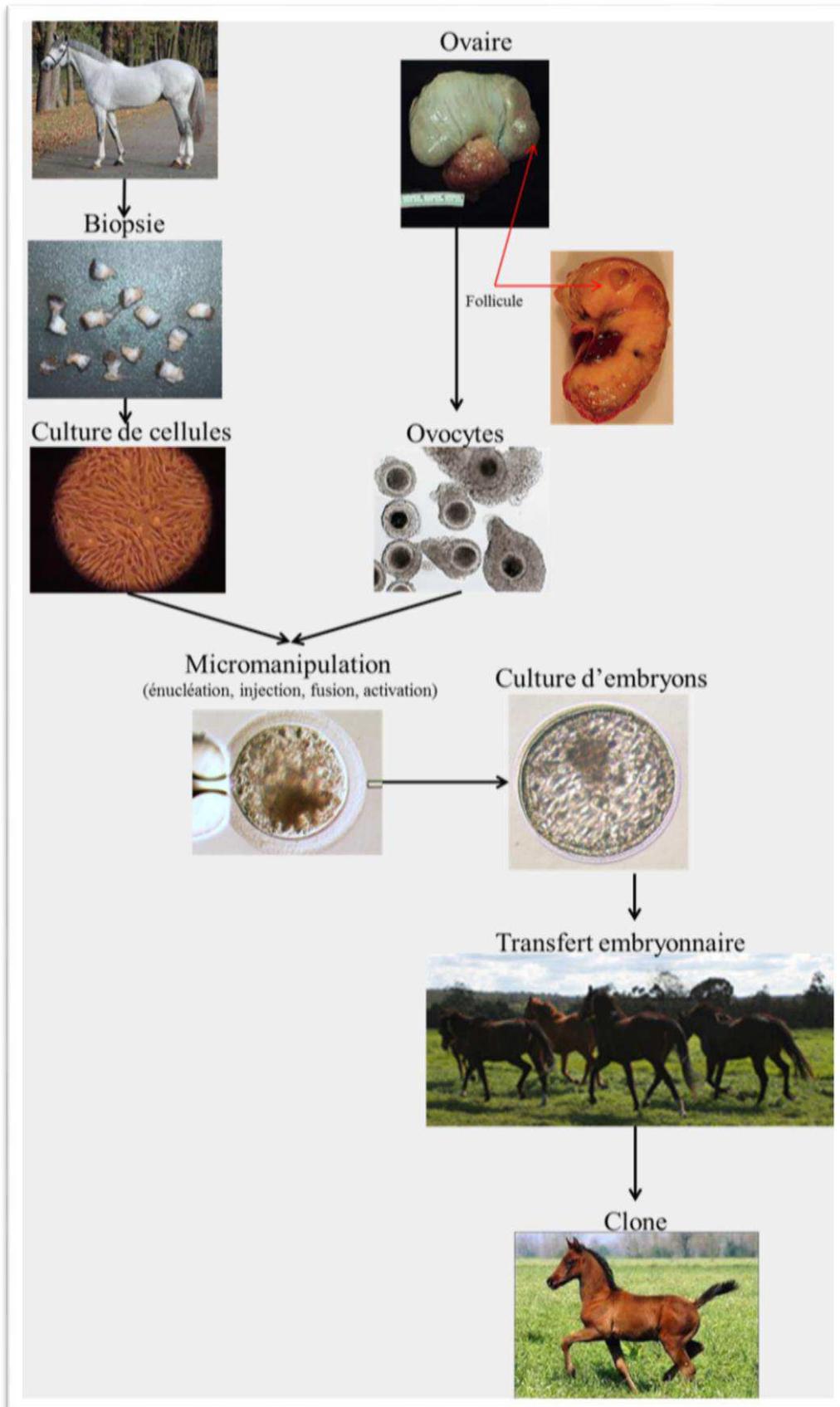


Figure 3: Le clonage en photos. (Adapté de Cryozootech SA)

La technologie décrite sur le « brevet Dolly » (Campbell et al. 1996) fait preuve d'une organisation complexe et méticuleuse du travail à travers l'harmonisation de différentes compétences. Plusieurs acteurs spécialisés doivent intervenir à des moments précis : maturation des ovocytes, phénomènes d'activation, culture embryonnaire et cellulaire et aussi domaines vétérinaires de la reproduction (synchronisation des chaleurs et transfert embryonnaire) et de la clinique (surtout en néonatalogie).

I.2.2. Les caractéristiques dominantes : la complexité à plusieurs niveaux

I.2.2.1. La dualité entre produit et technologie

Dans cette industrie, la technologie fait partie d'un monde économique connu, modélisable, où les prix sont calculables et passibles d'être fixés. Où il est possible de comparer techniquement deux méthodes de production et le prix est un facteur permettant de différencier les produits.

Le produit peut faire partie d'un autre monde économique proche de celui des singularités décrit par Karpik (2007), peu connu et difficile à définir. En effet, la valeur du produit n'est pas dérivée de son prix (le prix payé pour la production). Elle dépend bien sûr de la qualité de la technique qui a permis d'obtenir le produit le plus proche du souhaité (dont les principales définitions - par exemple le génotype - sont connues à l'avance). Mais, elle dépend surtout de la « biographie de la matière première » et de la « biographie du produit ». La biographie de ce dernier sera réalisée après son obtention et dépendra aussi des actions menées par son propriétaire. De ce fait, à l'achèvement de la conception d'un produit, sa valeur est perçue de manière incomplète. Nul ne sait prévoir, à la fin du processus de production, quelle sera la valeur de ce produit en élevage.

Par ailleurs la technologie tend à l'homogénéité par la standardisation du processus au sein de chaque organisation. La qualité de la technologie peut éventuellement être mesurée par son rendement technique (quantité d'essais nécessaires pour obtenir un produit commercialisable). Le produit, lui, n'est pas homogène. Chaque produit possède une identité propre et chaque « matière première » peut réagir différemment à une même méthode amplifiant la complexité et l'incertitude du résultat. Actuellement, il n'existe pas une méthode objective pour mesurer la qualité du produit. Cette mesure est surtout le résultat du jugement du consommateur (sur la conformité du produit par rapport à la

matière première, par rapport à ses atteintes, ou encore par rapport à la performance du clone – en reproduction, en sport, etc.).

De ce fait, même si la technologie est en constante innovation, l'objectif n'est pas la création d'un produit nouveau et inédit à chaque projet, mais le développement d'une technologie capable de créer des produits (singuliers, ayant chacun une identité propre) de façon standardisée. Ainsi, la technologie et le produit se développent de manière indépendante, sur deux marchés parallèles et sous deux logiques distinctes.

Nous nous intéressons aux aspects liés à la technologie. Mais nous voyons un grand intérêt à développer la question de la valeur de ces produits.

1.2.2.2. Un environnement technique complexe

Traditionnellement dans le développement technologique, après une première phase de développement de multiples designs, on observe la sélection de l'un d'entre eux qui sera appelé le design dominant (Anderson et Tushman, 1990 ; Busalla, 1988). Par la suite, des modifications sont apportées à ce design afin de générer des améliorations sur le rendement global ou encore de renouveler des produits. Ce type de développement est connu comme la conception réglée. Anderson et Tushman (1990) ont montré que, lorsque les brevets ne jouent pas un rôle important de barrière, le développement technologique se base principalement sur cette méthode de développement.

Dans le cas développé ici, il n'existe pas une seule « méthode type » mais plusieurs méthodes clairement distinctes dérivées d'un ensemble de principes initiaux. En effet, chaque organisation développe sa propre méthode. Il ne s'agit pas essentiellement d'une stratégie adoptée face à une barrière représentée par l'existence de brevets¹ mais découle surtout du stade de développement technologique très initial, des cycles longs de développement caractéristiques du domaine du vivant et du besoin de différenciation des équipes à travers leurs méthodes de production. La difficulté ici est que le produit final étant singulier, le consommateur ne possède pas d'outils pour différencier les méthodes.

¹La question de brevets est complexe puisqu'elle mobilise le droit international de la propriété intellectuelle, y compris les spécificités de chaque pays - par exemple, les brevets existants sur le clonage n'ont pas de valeur juridique en Argentine. Cependant, un approfondissement sur cette question nous dévierait de la question centrale de ce travail et n'apporterait pas d'information indispensable à la discussion principale du concept proposé. Cette question ne sera pas traitée dans cette thèse.

Nous verrons plus tard (Partie III) que cette difficulté empêche la différenciation technique des acteurs producteurs importante pour les questions liées à la concurrence.

Afin de comprendre la complexité technique, nous avons sélectionné deux méthodes de clonage équin. Les critères de sélection des méthodes ont été : la production de plusieurs exemplaires issus de la méthode (preuve qu'elle est capable d'aboutir à un produit conçu) et la disponibilité de détails techniques sur la littérature.

Deux méthodes correspondant à nos critères ont été identifiées (Lagutina et al 2005 ; Choi et al 2002c). Pour des fins didactiques, elles ont été nommées « la stratégie italienne » et « la stratégie américaine » par rapport à l'origine de ses développeurs (Figure 4).

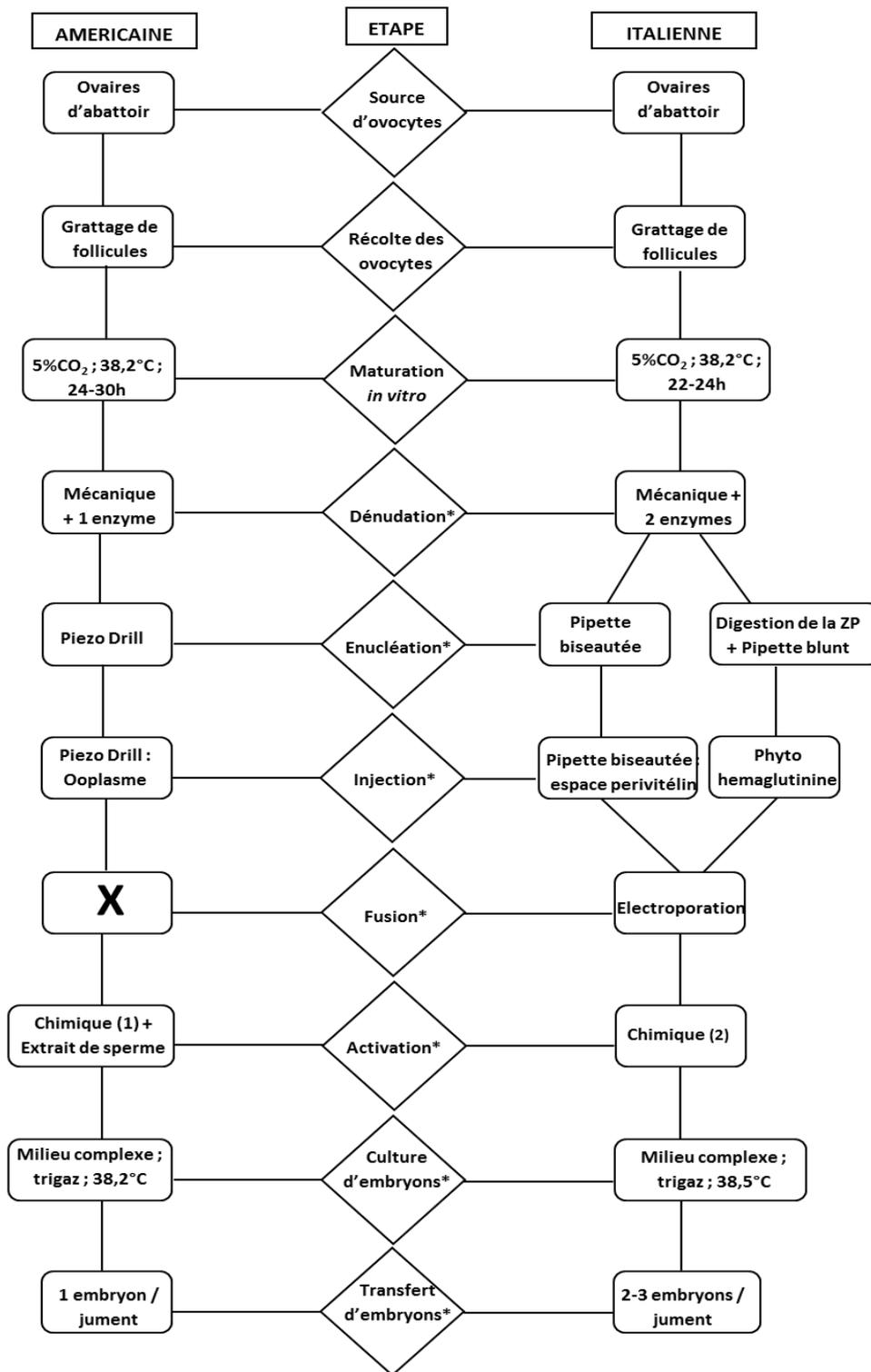


Figure 4: Méthodes américaine et italienne de clonage équin.

Légende : au centre (losanges) - les différentes étapes du clonage ; à gauche et à droite (rectangles) - les méthodes utilisées par les écoles américaine (Texas A&M) et italienne (CIZ, devenu Avantea), respectivement.

La comparaison des deux stratégies a permis d'identifier d'importantes différences à partir de l'étape d'énucléation (* sur la Figure 4). D'un point de vue théorique, ces différentes méthodes présentent des avantages et des inconvénients qui peuvent influencer le résultat global. En pratique, les investissements en équipements et le savoir-faire spécifique à chaque méthode sont décisifs pour la réussite. Nous discuterons brièvement les principales différences techniques entre les deux stratégies.

- L'énucléation :

Dans cette étape, le noyau de l'ovocyte receveur est enlevé par une pipette « d'énucléation ». Pour réaliser cette opération il est nécessaire de traverser une barrière protectrice de l'ovocyte, la zone pellucide (ZP). Par les techniques conventionnelles, cette opération peut provoquer une déformation considérable de l'ovocyte en augmentant la pression interne de l'ovocyte, pouvant induire l'émission d'ooplasme à l'extérieur de l'ovocyte après la sortie de la pipette et contribuer à la mort de l'ovocyte (Yanagida et al. 1999). Les deux stratégies adoptent des techniques d'énucléation capables de réduire cette déformation nuisible lors de la pénétration dans l'espace péri-vitellin.

La stratégie américaine réalise une perforation de la zone pellucide à l'aide d'un système de micro-injection Piezo pour ensuite pénétrer dans l'espace péri-vitellin en réduisant le traumatisme dû à la déformation de l'ovocyte (Choi et al. 2002c). L'efficacité du système Piezo pour faciliter la perforation de la zone pellucide et/ou de l'ovocyte est prouvée chez plusieurs espèces (Kimura et Yanagimachi 1995). Cependant il représente un coût additionnel sur l'investissement en équipements. Une deuxième contrainte est l'utilisation de mercure pour le fonctionnement du système. Il nécessite en effet une manipulation soigneuse afin d'éviter tout accident pour le personnel de laboratoire.

La stratégie italienne a privilégié la technique de la digestion de la zone pellucide pour accéder plus facilement à l'ovocyte (Oback et al. 2003). Selon Lagutina et al. (2005), cette technique permet d'avoir un très haut rendement sur la phase d'énucléation. La digestion de la zone pellucide ne représente pas de coût supplémentaire en équipements. Cependant, elle demande beaucoup d'habileté en micromanipulation afin d'éviter la digestion de la membrane de l'ovocyte ou encore l'agglutination d'ovocytes.

- Injection de la cellule somatique et fusion :

L'enjeu de cette phase est de s'assurer qu'une cellule donneuse délivrera son noyau dans l'ovocyte receveur tout en évitant que l'ovocyte soit endommagé lors de l'injection de la cellule somatique et/ou la fusion de celle-ci à l'ovocyte.

La technique de fusion utilisée dans d'autres espèces domestiques telles que le porc, le bovin et le caprin peut être décrite comme étant l'apposition d'une cellule donneuse contre la membrane de l'ovocyte (Wilmot et al. 1997 ; Cibelli et al. 1998, Polejaeva et al. 2000) suivie de la fusion par électrolocation afin de délivrer le karioplaste de la cellule donneuse à l'intérieur de l'ovocyte.

Cette méthode demande la maîtrise de la puissance et du temps idéal des pulses électriques appliqués sur l'ovocyte pour permettre la fusion sans provoquer une dépolymérisation trop importante de sa membrane et la dégénération de l'ovocyte.

Choi et al. (2002a) et Li et al. (2002) ont observé une faible capacité des ovocytes équins à fusionner avec les cellules donneuses, même avec l'application de pulses de haut voltage (2,2-2,5kV/cm) (Li et al. 2001).

Afin d'éviter ce problème, la stratégie américaine a adopté le système Piezo drill. Celui-ci permet d'injecter le noyau de la cellule donneuse directement dans l'ovocyte, délivrant le karioplaste relativement dépourvu de cytoplasme donneur et permettant une meilleure intégration au cytoplasme de l'ovocyte. Cependant, comme déjà évoqué précédemment, cette technique demande un savoir-faire important en matière de micromanipulation (Gardner et al, 2004).

La technique « zona-free » décrite par Oback et al. (2003) et utilisée par la stratégie italienne a permis d'améliorer le taux de fusion dans d'autres espèces, mais aussi des ovocytes équins en utilisant une stimulation électrique plus faible que celle appliquée sur des ovocytes entourés par la zone pellucide (Lagutina et al. 2005).

- L'Activation :

L'activation ovocytaire comprend tous les événements compris entre les premiers événements cellulaires de la sortie de métaphase et la formation des pro-noyaux (PN) - p.ex. expulsion des granules corticaux, séparation des chromatides métaphasiques, décondensation des chromosomes, remodelage de la chromatine et formation des pro-

noyaux. C'est une étape nécessaire pour déclencher le développement embryonnaire. Les ovocytes de mammifères après ovulation se trouvent en deuxième métaphase de méiose (MII). En absence du stimulus d'activation, l'œuf reste bloqué à ce stade et après un certain temps, spécifique à chaque espèce, il meurt (Thot et al. 2006).

L'activation est dépendante d'une variation de la concentration de calcium libre intracellulaire $[Ca^{2+}]_i$. L'augmentation intense du $[Ca^{2+}]_i$ induit la reprise de la méiose par le remaniement complet de l'activité du système phosphorylase-kinase de l'ovocyte. Une élévation importante du niveau de Ca^{2+} intra cytoplasmique déclenche les cascades d'activation ou d'inactivation des éléments du système phosphorylase - kinase dans le but d'achever la méiose et de lancer le premier cycle cellulaire (CaMkinase II – Kinase II dépendante de la calmoduline - Lorca et al. 1993). La destruction de la cycline-B, composante du MPF (*Mitosis Promotion Factor*), inactive le MPF permettant la reprise de la méiose (Heikinheimo et Gibbons, 1998).

Au niveau de l'activité enzymatique des kinases, quelques impulsions sont suffisantes pour diminuer largement l'activité de H1 (Histone 1) kinase et du MPF, aussi bien que la sortie de la métaphase II, mais la diminution de l'activité de MAPK (*Mitogen Activated Protein Kinase*) et la formation du PN nécessitent un régime calcique bien plus important (Toth et al. 2006).

Les études récentes sur l'activation envisagent la reconstitution des événements naturels de la fécondation. C'est à dire, le déclenchement de pics répétitifs de Ca^{2+} intracellulaire et l'inhibition de l'activation du MPF.

Bedford et al. (2003a) ont démontré que la fécondation d'un ovocyte équin par un spermatozoïde est suivie de plusieurs oscillations du Ca^{2+} intracellulaire pendant quatre heures, le premier pic étant d'une amplitude plus importante que les suivants.

La stratégie américaine essaye de mimer les événements de la fécondation décrits par Bedford et al. (2003a) en associant l'ionomycine qui produit une seule augmentation de $[Ca^{2+}]_i$ de grande amplitude (Kline et Kline, 1992) ; l'extrait de sperme qui déclenche plusieurs oscillations de $[Ca^{2+}]_i$ (Swann, 1990; Bedford et al. 2003a) et une exposition de quatre heures au 6-DMAP (6-Diméthylaminopurine) inhibiteur de protéine kinase (Liu et al. 1998).

Pour l'activation, la stratégie italienne procède à une exposition à l'ionomycine afin de déclencher la première augmentation de $[Ca^{2+}]_i$ et ensuite une exposition de 4h à la cycloheximide pour empêcher la synthèse du facteur cytotatique et la réduction du niveau de l'activité de MPF dans l'ovocyte, ce qui déclenche la reprise de la méiose (Heikinheimo et Gibbons, 1998). Plusieurs études ont montré que l'association de la cycloheximide aux stimuli provoqués par l'éthanol, le strontium ou les impulsions électriques, augmente le pourcentage des ovocytes qui forment le pro noyau et se divisent (Cha et al. 1997; Nussbaum et Prather, 1995; Presicce et Yang, 1994; Bos-Mikich et al. 1995).

- Culture d'embryon :

La culture d'embryon est une des phases les plus sensibles de la production de clones équins. Même si, globalement, les différentes stratégies résultent en un bon taux de clivage juste après l'activation, la culture *in vitro* de ces embryons pendant sept à dix jours jusqu'au stade blastocyste reste un défi pour les chercheurs.

Plusieurs techniques de culture d'embryon sont proposées dans la littérature pour les mammifères : milieux simples, milieux complexes, système séquentiel, système de co-culture avec des cellules de l'oviducte ou cellules Véro (cellules épithéliales isolées de rein de singe), atmosphère en trigas ou à 5% CO₂ (Dioxyde de Carbone), etc. (Gardner et al. 2004). L'objectif des diverses techniques est celui de mimer les conditions physiologiques *in vivo* et de fournir tous les nutriments nécessaires pour le métabolisme et le développement de l'embryon.

Chez différentes espèces, notamment le bovin, de hautes concentrations de substances telles que le phosphate, l'HEPES (acide 4-(2-hydroxyéthyl)-1-pipérazine éthane sulfurique) et le glucose sont évitées puisque ces substances peuvent être toxiques pour l'embryon (Ludwig et al. 2001; Keskinetepe et al. 1996).

La stratégie américaine a surpris en utilisant le milieu DMEM-F12 (Dulbecco's Modified Eagle's Medium et Ham's F12 nutrient mixture - SIGMA) pour la culture d'embryons équins. Ce milieu contenant de l'HEPES et une très forte concentration de glucose serait jugé inapproprié pour le développement embryonnaire chez les autres espèces de mammifères. Cependant, les embryons équins semblent être bien adaptés à ce milieu. En l'utilisant, les chercheurs américains ont obtenu pour la première fois un taux de

blastocyste de 37% sur des ovocytes fertilisés par ICSI – technique témoin pour le clonage (Choi et al. 2006a).

Suite à ces résultats, Herrera et al. (2008) ont comparé un milieu SOF (Synthetic Oviductal Fluid) contenant une faible quantité de glucose (quantité normale du milieu SOF) avec un milieu SOF contenant une forte concentration de glucose (similaire à la quantité de ce composant dans le milieu DMEM-F12 de SIGMA). Les auteurs ont démontré qu'une forte concentration de glucose dans les milieux de culture augmenterait le taux de développement des embryons équins. Aucune explication scientifique à cette spécificité de l'espèce équine n'existe à ce jour.

Jusqu'au moment de la réalisation de cette bibliographie, la stratégie italienne met en avant le système de culture séquentiel. Pour mettre en place ce système, le chercheur doit prendre en compte les différences de métabolisme des embryons avant et après l'activation du génome embryonnaire. Théoriquement, l'embryon des mammifères consomme préférentiellement du pyruvate avant l'activation du génome, les modifications du métabolisme à partir de l'activation du génome embryonnaire impliquent une réduction de la consommation de pyruvate en faveur de l'augmentation de la consommation du glucose (Lane et al. 2001).

Cependant, le moment de l'activation du génome embryonnaire n'est pas encore bien établi pour l'espèce équine et il n'existe pas de connaissances sur le métabolisme de l'embryon équin pendant ses 3 premiers jours. La stratégie italienne a établi un protocole où les embryons sont cultivés pendant 48h dans le milieu SOF (riche en pyruvate). Ensuite ce milieu est progressivement substitué par le DMEM-F12, riche en glucose - nutriment important pour le métabolisme des embryons équins à partir du stade jeune morula (Lane et al. 2001). Actuellement, la stratégie italienne réalise toute la culture embryonnaire dans le milieu DMEM-F12.

- Transfert embryonnaire :

Nous n'allons pas discuter les techniques de transfert embryonnaire mais les stratégies choisies par les deux écoles (Figure 4). Une jument ne peut donner naissance naturellement qu'à un poulain par an. Il est donc logique, dans le but de maximiser le nombre de naissances possibles par rapport au nombre d'embryons transférés, de transférer un seul embryon par jument. Ceci est la stratégie américaine.

Cependant, compte tenu d'importantes pertes pendant le premier trimestre de gestation de clones (Lagutina et al 2005; Hinrichs et al. 2006), cette stratégie demande l'achat et l'entretien d'un troupeau important de juments et peut devenir trop coûteuse pour le producteur.

Une alternative envisageable serait le transfert de multiples embryons (2 à 3 par jument) afin d'améliorer les chances d'obtenir une vésicule embryonnaire viable par jument utilisée. Cela réduirait le nombre de juments nécessaires pour établir une gestation et, par conséquent, le coût lié à l'atelier animal. Mais cette stratégie représente aussi le risque d'obtention de plusieurs vésicules viables (2 ou 3). Dans ce cas il serait nécessaire de provoquer la mort de l'une des vésicules par écrasement manuel. Cette méthode n'est pas sans risque et doit être réalisée par un vétérinaire expérimenté. Le choix italien s'est fixé sur cette stratégie pour son système de production mais nous n'avons pas eu accès aux données liées à cette stratégie de transfert d'embryon pour évaluer son efficacité.

En conclusion sur les deux méthodes type, nous avons constaté que le choix stratégique a pour objectif de réduire les coûts tout au long de la chaîne de production, mais nous n'avons pas pu vérifier la performance économique de cette stratégie. Techniquement, malgré les différences stratégiques, l'objectif des deux groupes reste similaire dans chaque phase clé du processus : réduire le niveau d'agression des cellules pendant la micromanipulation, mimer les événements naturels déclencheurs de processus physiologiques et fournir les nutriments nécessaires pour le développement cellulaire.

Cette convergence des objectifs principaux des différentes stratégies montrent que la méthode des deux écoles est similaire mais les techniques pour la réaliser diffèrent. Cette similarité de méthodes rend difficile la différenciation technique des produits et par conséquent la différenciation des producteurs. Ce facteur est déterminant pour la stratégie de concurrence actuellement en place comme nous le verrons plus tard.

1.2.2.2. Des verrous techniques qui compromettent la performance

Les interviews réalisées ont permis de dégager des signes d'une **faible maîtrise technique tout au long de la méthode** générant trois verrous techniques importants.

1^{er} verrou scientifique : faible maîtrise biologique du processus

Malgré des efforts réalisés depuis plus de trente ans il est encore difficile de maîtriser l'ensemble d'aspects biologiques et moléculaires du vivant. Cela rend plus difficile l'établissement de méthodes de contrôle de la qualité de la matière première et engendre des difficultés de maîtrise des réactions des cellules aux manipulations successives. Ce qui peut compromettre la performance sur l'ensemble du processus.

Ce verrou peut être illustré à partir du clonage du cheval. Malgré le démarrage des études sur les ovocytes équins à partir des années 80 (Fulka et Okolski, 1981 ; Borges et al. 1998; Tremoleda *et al.* 2003a; Carnevale et al. 2004), il est encore impossible d'utiliser la totalité des ovocytes pour la production d'embryons. La détermination de la qualité des ovocytes préalablement à la maturation *in vitro*, comme par exemple la classification des complexes ovocyte-cumulus (COC) en COC compacts ou expansés grâce à la microscopie optique ou encore l'exposition au Bleu Crésil Brilliant (BCB) permettant de déterminer les ovocytes ayant achevé le développement cytoplasmique (Alm et al. 2003) reste insuffisante pour optimiser leur utilisation et réduire les pertes. Par ailleurs les méthodes de classification peuvent suivre des standards différents selon le laboratoire.

Ces ovocytes, dont la qualité est moyennement connue, sont utilisés pour la production des embryons. Après la micromanipulation, malgré les avancées importantes récemment publiées dans le domaine d'activation embryonnaire (Bedford et al. 2003b ; Hinrichs et al. 2006), le taux de clivage (signe d'activation ovocytaire et de début de développement embryonnaire) reste inconsistant (grande variabilité : 30 à 60% de succès toutes équipes confondues).

Cela remet à la question de la maîtrise des conditions nécessaires au développement embryonnaire *in vitro*, encore méconnues pour l'espèce équine. Ces embryons soumis à des conditions sous-optimales pendant le développement précoce *in vitro* peuvent souffrir d'une mauvaise reprogrammation du génome embryonnaire (Choi et al. 2003a) perçue après le transfert embryonnaire dans l'utérus d'une jument à travers le haut taux de reabsorption et d'avortement.

Finalement, les pertes néonatales (Hinrichs, 2006) sont supérieures à celles observées dans les naissances de poulains non clonés.

2^{ème} verrou technique : difficulté d'approvisionnement

Le matériel biologique utilisé pour la réalisation de ces technologies peut être rare, produit par un nombre restreint de producteurs et difficile à transporter générant une difficulté d'approvisionnement.

Dans le cas du clonage équin l'**intervalle entre l'abattage des juments et la mise en maturation des ovocytes** est un facteur déterminant et peut interférer directement sur l'ensemble du processus. Guignot et al. (1999) ont développé cette problématique et ont démontré qu'un intervalle supérieur à 6h réduit significativement la qualité des ovocytes. Ce verrou est d'autant plus important que les fournisseurs sont rares et éloignés. La littérature récente a proposé des solutions qui permettent le transport des ovocytes pendant plusieurs heures (de 18 à 24h) grâce à la mise en point de techniques pour ralentir le métabolisme des ovocytes et donc la maturation (Love et al., 2002) ou alors pour bloquer la maturation tout en permettant au cytoplasme de l'ovocyte de maintenir son métabolisme (Choi et al., 2006). Cependant, à ce jour, il n'existe pas de solution pour le transport prolongé des ovaires à cause de la dégradation *post mortem*, comme traité par Hinrichs et al. (2005) et Love et al. (2003). Cette situation implique le besoin de personnel formé pour la récolte des ovocytes à proximité de l'abattoir.

3^{ème} verrou technique : savoir-faire rare

Devant une telle situation de difficulté technique **le savoir-faire est primordial au succès du développement d'une technologie**. Actuellement, certaines de ces technologies souffrent d'une rareté de main d'œuvre spécialisée. Trois facteurs contribuent à ce phénomène : le nombre réduit de matériel de recherche ne permettant pas aux stagiaires de s'entraîner, la formation de la main d'œuvre coûteuse et longue (besoin d'un nombre important d'essais), et finalement, la stratégie des centres de savoir-faire de contrôler la connaissance au sein des équipes afin de créer une barrière à l'entrée de nouveaux concurrents.

La formation d'une équipe de manipulation ne dépend pas seulement de la pratique de la technique mais aussi de la compréhension d'un grand nombre de détails portant sur la physiologie cellulaire et la production de milieux de culture.

Finalement, le processus de standardisation du savoir-faire se réalise de façon progressive et individuelle, au rythme des contrats de production obtenus. Par ailleurs, peu d'échange est observé entre les différents groupes concurrents.

Dans le clonage équin, pour pallier ce problème et réduire le temps de formation, les acteurs font le choix d'embaucher du personnel expérimenté sur d'autres espèces et les former à l'espèce équine au sein des laboratoires de production. Un seul acteur a préféré former un étudiant issu de son université en Argentine. Cela a été possible parce que le chef du laboratoire avait lui-même micromanipulé des ovocytes d'autres espèces au Royaume Uni pendant le développement de sa thèse et il avait des ovocytes d'autres espèces à sa disposition. Le temps moyen de formation de la main d'œuvre chez ces acteurs a été d'environ 5 ans.

1.2.2.3. Conception et production simultanées et sous forme de projet

Le grand nombre de débats suscités à la fin des années 90 concernant différentes technologies du vivant a amené certains Etats à prendre du recul avant de décider sur le support au développement de certaines biotechnologies par le secteur public. Devant cette situation, les partenariats public-privés ont été un important levier pour le développement initial de certaines technologies. Ces partenariats ont permis au secteur privé de profiter du savoir-faire déjà existant dans le secteur public afin d'obtenir les produits souhaités.

Ces partenariats ont assumé différentes formes, le cas du clonage de mammifères représenté par Dolly et le clonage de chevaux sont deux exemples de cette variété de modèles. Dolly a été le résultat d'un partenariat entre l'Université d'Edinburgh, une de ses *spin offs* (PPL Therapeutics) et le Roslin Institute. Dans ce partenariat, la limite entre l'entreprise privée « financeur » et le laboratoire public où la technologie a été développée était difficile à établir et l'organisation s'approchait de l'open innovation (voir la Liste de définitions, page 9). Le partenariat donnant naissance à Dolly a généré un brevet qui devrait être économiquement exploité par la suite par les différents partenaires du projet. L'objectif du partenariat était le développement d'une technologie exploitable commercialement par le partenaire privé et pour la recherche, principalement par le partenaire public. Pour une vue plus détaillée sur ce partenariat le lecteur peut consulter Fransman (2001).

Le clonage de chevaux a été développé de façon décentralisée. La dynamique suivie pour le développement de la technologie au sein de chaque centre a été influencée par les décisions administratives de chaque pays. La France a bloqué toute participation publique dans le développement de la technologie. D'autres pays tels que les EUA ou l'Argentine ont partiellement supporté financièrement le développement. A nouveau, les partenariats public-privés ont été le levier de développement. Parfois, ce développement a même été une initiative venue de l'extérieur vers l'intérieur des laboratoires. En effet, des « financeurs privés » ont proposé à certains laboratoires scientifiques le financement « nécessaire » pour le développement initial de la technologie.

Le premier clone d'équidé a été le fruit d'un partenariat entre l'Université d'Idaho, EUA et le président de l'American Mule Racing Association (Woods et al. 2003). Le projet avait une double vocation : pour le financeur, la réalisation de courses de mules clonées, à commencer par des clones de sa mule championne ; et pour les scientifiques, la possibilité de produire des embryons clonés d'équidés *in vitro*.

Jusqu'à lors, la production d'embryons d'équidés *in vitro* était pratiquement impossible : la fécondation *in vitro* n'avait produit que deux poulains (Palmer et al. 1991 ; Bézard et al. 1992) et, malgré tous les efforts réalisés par différentes équipes, le fait n'a jamais été répété. L'équipe de l'Université d'Idaho a eu besoin de 5 ans d'études pour produire les premiers clones. Ces acteurs ne sont actuellement plus sur le marché par manque de financement suite au premier succès et au dépassement de leur méthode (le transfert de cellules embryonnaires) par des méthodes qui répondent plus au marché potentiel (le transfert de noyaux de cellules d'individus adultes).

Le premier clone d'un cheval (Galli et al. 2003) a été financé par une coopérative italienne d'éleveurs de bovins (CIZ – Acteur 1) et par des fonds européens de recherche. Cette coopérative stimulait le développement de biotechnologies au sein de son laboratoire afin de pouvoir les exploiter sur l'élevage en Italie. Au moment du développement du clonage de chevaux, le groupe développait aussi le clonage d'autres espèces à l'aide de financements Européens. Le clonage de cheval était un sous-produit du savoir-faire développé dans la coopérative. L'équipe de cet acteur basé en Italie est composée de 10 chercheurs. Le groupe fait partie d'un important réseau de recherche bovine et porcine au niveau européen, ce qui lui permet d'utiliser ces espèces pour développer le savoir-faire de base et ensuite l'adapter à l'espèce équine.

Le premier clone d'un cheval performant en saut d'obstacles a été réalisé grâce à un partenariat entre l'Université Texas A&M, USA (TAMU - Acteur 2) et Cryozotech, FRA (CZT - Acteur 3), entreprise française fondée pour commercialiser de clones de chevaux. Cette université publique américaine compte sur plus de 18 chercheurs spécialisés dans l'espèce équine, dont 3 directement liés au laboratoire de production d'embryons *in vitro*. Ces chercheurs possèdent un haut niveau de connaissances sur la physiologie de la reproduction équine et la micromanipulation et sont épaulés par des assistants et techniciens spécialisés. En complément, l'équipe travaille en partenariat avec une équipe de vétérinaires spécialisée dans le transfert d'embryons et a libre accès à d'autres équipes au sein de l'université. Là encore, le partenariat avait un double objectif : la conception technologique et la production d'un produit de la technologie (un clone commercial).

Les partenariats ont donné lieu à quelques brevets mineurs et très peu exploités (Woods et Vanderwall, 2008 ; Choi et Hinrichs, 2003) et à la naissance de clones. Les brevets sont une propriété exclusive des équipes de scientifiques développeurs. Les financeurs ne participent pas à l'exploitation de la propriété intellectuelle. En échange, ils ont la propriété ou le droit de commercialiser les produits de la conception, « le clone ».

La caractéristique commune à ces deux technologies est l'importance des partenariats public-privés et le fait que chaque partenariat correspond à un projet bien précis de conception et de production. La Figure 5 compare les modèles de partenariats développés pour le clonage de Dolly et ceux pour le développement du clonage de chevaux.

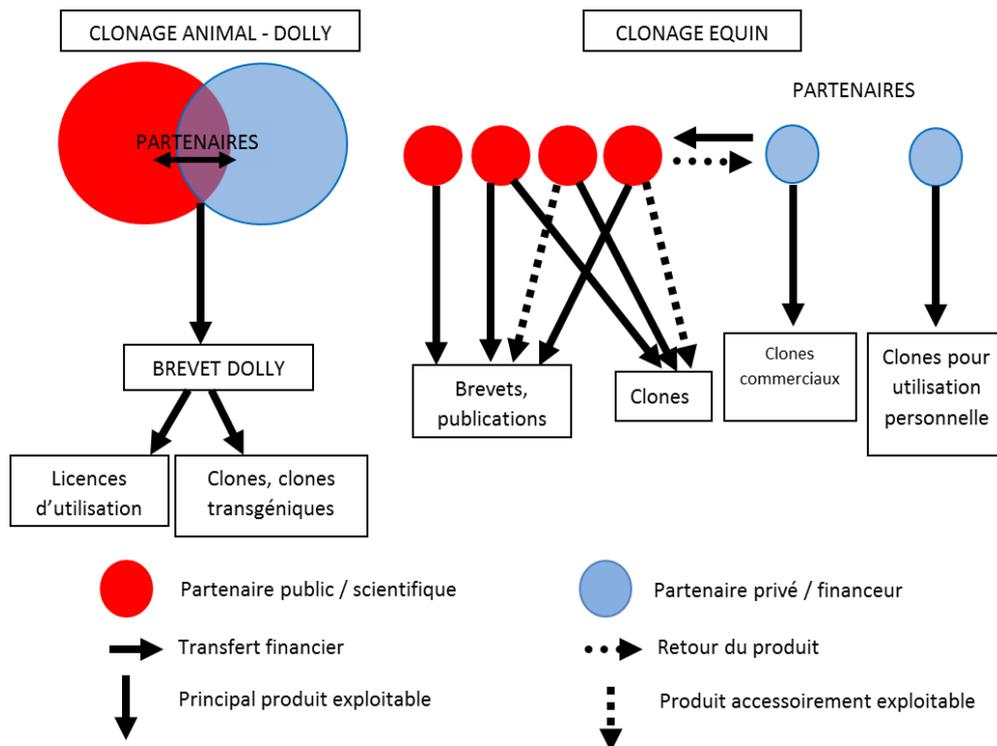


Figure 5: Développement initial du clonage. Dolly vs chevaux.

Note : La Figure 5 est une illustration schématique des types de partenariat dans cette industrie. Les noms des acteurs ayant participé aux partenariats ne seront pas cités.

Même les acteurs plus récents dans cette industrie se basent sur les partenariats (public-privés ou privé-privé) pour développer leur activité. A partir de 2006, nous avons pu observer le développement de producteurs privés. Le premier acteur est une compagnie commerciale qui participe à la fois à la production et à la commercialisation du clonage (Viagen, VGN – Acteur 4). L’entreprise affine sa méthode à chaque contrat de production. Parallèlement, elle développe des partenariats avec des professionnels possédant des savoir-faire spécifiques pour le développement de certaines phases spécifiques de la production.

A partir de 2005 une compagnie privée argentine a financé les recherches de l’équipe de clonage de l’Université de Buenos Aires – ARG. Après la naissance du premier clone (en octobre 2010), les deux organisations ont formé un nouveau partenariat où l’entreprise privée s’occuperait de la commercialisation des produits et l’équipe de l’université se chargerait de la production (Université de Buenos Aires - UBA - Acteur 5).

Un autre modèle a été développé plus récemment dans le privé (à partir de 2011). Certaines entreprises privées commercialisent le service de clonage avant de maîtriser la technologie (comme l'avaient fait les institutions publiques de recherche, la différence est le type de contrat). Ces acteurs utilisent les paiements initiaux des contrats de production pour mettre en place leur technologie. Un exemple de ce modèle est l'acteur brésilien Invitro Brasil.

Pour la réalisation de ce travail, nous avons retenu les 5 acteurs ayant déjà livré des clones : Avantea (AVT) ancien CIZ, Texas A&M (TAMU), Cryozootech (CZT), Viagen (VGN), Universidade de Buenos Aires (UBA).

La limite entre l'activité de recherche et l'activité commerciale au sein de chaque acteur est difficile à délimiter. Les acteurs s'engagent simultanément sur la conception, la production et la commercialisation, indépendamment de leur cœur de métier. Nous avons donc proposé la Figure 6 où nous plaçons chaque acteur en rapport à leur activité de recherche et de commerce. Au milieu de l'axe horizontal nous avons établi une limite imaginaire qui marque la transition de l'activité de recherche vers l'activité commerciale. Plus l'acteur se positionne vers les extrémités de l'axe horizontal plus l'activité vers laquelle il se positionne pèse sur son activité globale. En l'occurrence, seulement l'acteur 3 (CZT) a une activité uniquement commerciale.

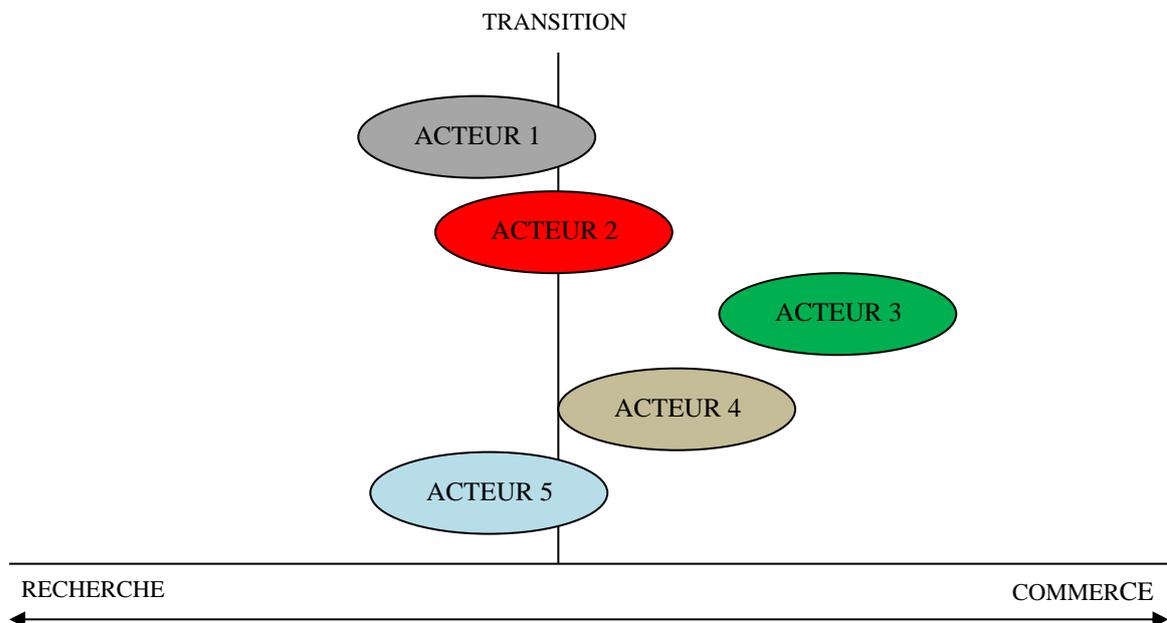


Figure 6: Activité des acteurs du clonage équin en 2013.

Légende : Acteur 1 : CIZ-AVT ; Acteur 2 : TAMU ; Acteur 3 : CZT ; Acteur 4 : VGN ; Acteur 5 : UBA

Pour conclure, le cas étudié a permis d'établir que les technologies récentes du vivant sont développées grâce à des partenariats de production. Nous avons souligné le fait que la conception est financée grâce à la production. De plus, des partenariats techniques sont mis en place au niveau de la production afin de permettre de mobiliser des connaissances spécifiques à différentes phases de la production. Dans tous les cas, il a été observé la gestion sous forme de projets et la dualité entre la technologie et le produit.

1.2.2.4. Un marché déstructuré

Dans ce monde innovant, le marché est souvent déstructuré. Les producteurs peuvent rencontrer de problèmes importants d'approvisionnement et des difficultés à atteindre le marché consommateur. Les fournisseurs de matières premières spécifiques peuvent ne pas être préparés pour fournir certaines matières premières. Les producteurs doivent alors aider les fournisseurs à structurer leur offre commerciale. Une situation compliquée à gérer. Les fournisseurs peuvent ne porter aucun intérêt au nouveau marché qui se développe ou, au contraire, y voir une opportunité de réaliser des négoce extraordinaires. Dans le premier cas, il est nécessaire de réaliser un travail important d'information du fournisseur afin de retourner la situation. Dans ce dernier cas, il peut alors s'installer une inflation de prix de la matière première complexifiant la gestion de l'approvisionnement et demandant l'établissement d'une politique de gestion de l'approvisionnement au sein des entreprises (Kraljic, 1983). La rareté de certaines matières premières peut contribuer à cette surenchère des prix, surtout lors que s'établit une concurrence entre plusieurs acteurs pour une même source. Par ailleurs, comme une partie des matières premières utilisées sont d'origine biologique, des difficultés sanitaires (besoin d'autorisations officielles pour les utiliser, des réglementations sanitaires rigides, etc.) peuvent s'ajouter aux problèmes d'approvisionnement.

En plus du problème d'approvisionnement, les entreprises peuvent rencontrer des difficultés de commercialisation. En effet, les technologies n'ayant pas été développées pour des acteurs bien définis (l'Etat ou de grandes industries : ex. : pharmaceutique), retrouvent un marché déstructuré. Il n'existe pas (ou peu) d'acteurs facilitateurs de la commercialisation et les clients ne sont pas facilement identifiés et parfois pas très nombreux.

Par conséquent, les acteurs engagés dans le développement technologique tendent à s'investir directement dans la commercialisation directe au consommateur. Seulement, ces technologies se destinent à des niches souvent fragmentées (différents marchés localisés dans différents pays) et parfois difficiles à atteindre. Par ailleurs, ces acteurs ont majoritairement une culture scientifique et n'ont pas forcément une bonne connaissance du marché. De ce fait, d'importants efforts, surtout financiers, peuvent être demandés pour le développement de l'activité commerciale.

Les difficultés de ce type de développement sont multiples : l'identification des clients potentiels, l'adaptation du discours à différents publics (non scientifique), l'acquisition de la confiance des interlocuteurs, les difficultés de justifier les caractéristiques différentielles et les réglementations, variables selon les pays. Ainsi, malgré un nombre limité d'entreprises spécialisées sur une technologie donnée, la petite taille des marchés locaux oblige les acteurs à essayer une expansion commerciale en cherchant un marché international. De ce fait, des marchés qui pourraient ressembler à des monopoles régionaux deviennent des marchés extrêmement concurrentiels (de type oligopsonie caractérisé par un petit nombre de demandeurs pour un grand nombre d'offres). Par conséquent, la forte concurrence associée à la difficulté de justifier le différentiel technique de chaque acteur demande aux acteurs une grande créativité commerciale. Le plus souvent, celle-ci se remarque par une grande variété de contrats mais les prix s'imposent comme le principal facteur de cette concurrence.

Cette situation donne au consommateur un grand pouvoir de négociation. Logiquement, ce pouvoir augmente à mesure que les acteurs se font connaître sur un marché donné. Dans ces marchés les consommateurs peuvent avoir une force supplémentaire dans la négociation : ils peuvent être simultanément consommateurs et fournisseurs d'une partie de la matière première. Par exemple, dans le cas du clonage, le client fournit au producteur les cellules de l'animal à cloner. Cette transaction (entre le client et le producteur) est certes gratuite, mais le pouvoir du client consiste à décider s'il souhaite fournir les cellules ou non. En cas négatif, le producteur n'est pas autorisé à lancer le clonage de l'animal. Cela peut être le cas aussi dans certains cas de culture de cellules souches.

Nous illustrerons les complexités du marché du clonage équin. Nous traiterons initialement la question de l'approvisionnement, ensuite, les questions liées au marché (stratégies de concurrence des producteurs, consommateurs, réglementations et premières

caractéristiques de développement). Les résultats sont exploités de façon descriptive afin de donner une dimension de la réalité et de l'évolution de certaines situations au long de la réalisation de cette thèse.

- I.2.2.4.1. Difficulté d'approvisionnement

La production de clones est dépendante de la disponibilité en milieux de culture, en équipements spécialisés et en matière première. Cette affirmation semble banale mais, en situation d'innovation, ce n'est pas toujours le cas. Pour des raisons didactiques nous allons les classer selon deux catégories : les fournisseurs de produits et équipements pour laboratoire (fournisseurs spécialisés) et les fournisseurs d'ovocytes (fournisseurs rares).

- Les fournisseurs spécialisés (milieux, consommables et équipements)

A la différence des laboratoires de reproduction assistée classique, ceux spécialisés dans le clonage préparent les milieux selon leurs propres protocoles. Il n'existe actuellement pas de milieu de culture commercial adapté à la culture de cellules, ovocytes et/ou embryons de l'espèce équine. Pour ce faire, les laboratoires achètent les produits de base (acides aminés, vitamines, hormones, etc.) dans l'industrie chimique et préparent les solutions souhaitées au sein de leur propre laboratoire. Les fournisseurs de produits chimiques sont, en général, des laboratoires multinationaux, fournissant des produits chimiques pour l'industrie et la recherche dans tous les domaines. A titre d'exemple nous pouvons citer Sigma Aldrich, Merck et Invitrogen. Certaines molécules telles que les hormones peuvent être obtenues auprès de ces mêmes laboratoires ou encore, dans certains cas spécifiques, auprès de l'industrie pharmaceutique vétérinaire : Merial, Intervet, Betpharm etc.

Les consommables nécessaires pour les manipulations peuvent être achetés auprès de fournisseurs locaux ou nationaux de produits pour la recherche. Les réseaux de ce type de fournisseurs sont normalement bien développés dans les pays sondés.

Les équipements de laboratoire sont fournis par des entreprises spécialisées, basées dans différents pays : Hamilton (EUA), Minitube (Allemagne), Cadence Technologies (Singapour), Eppendorf (Allemagne), Prime Tech (Japon), etc. Cette liste n'est pas exhaustive et sert seulement à illustrer le caractère international des fournisseurs. Localement dans certains pays, comme le Brésil, ou encore la Suède, il est possible de

trouver de nouveaux laboratoires qui tentent de répondre à une demande locale de certains produits, sans pour autant avoir une offre complète.

De manière générale, les fournisseurs de cette catégorie « fournisseurs spécialisés » sont hautement spécialisés dans le domaine des sciences et répondent au marché de la recherche au niveau mondial. Malgré l'existence de concurrence, chaque entreprise domine le marché dans une activité spécifique ce qui lui confère une position favorable vis-à-vis des clients. Les conditions de vente sont bien définies et similaires dans les différents pays. Les prix peuvent varier selon les taxes d'importations imposés par les différents pays.

Ce type de fournisseur adopte une stratégie commerciale assez répandue dans le marché représentée par des négociations valorisant le volume et/ou la fréquence d'achat. Cette stratégie favorise les clients de type grand compte. Cependant, les entreprises qui gèrent leur production par projet sous incertitude de commande rencontrent de difficultés pour planifier des commandes régulières de produits et surtout en grandes quantités. Par conséquent elles ne sont pas concernées par les politiques commerciales des fournisseurs spécialisés. Elles sont alors obligées de négocier des conditions spéciales, parfois à chaque commande. En revanche, il n'existe pas de difficulté spécifique pour des entreprises légalement établies à accéder à ces fournisseurs.

Cependant compte tenu des délais de livraison, parfois de plusieurs jours, cette industrie doit être capable de prévoir à l'avance le stock nécessaire pour la production. Une erreur de planification à cette étape peut entraîner quelques jours voir quelques mois d'arrêt de production compromettant le respect des délais de livraison. La solution à ce problème peut inclure aussi des plans de substitution de composants ou de matériel, comme décrit par Ram et al. (2006). Cependant, les caractéristiques biologiques de chaque type cellulaire peuvent empêcher certaines substitutions. Ces plans doivent alors être bien réfléchis, aussi sous le point de vue biologique. Une dernière difficulté rencontrée à ce niveau est la périssabilité des produits, pouvant générer un important gaspillage pour ces entreprises.

- Les fournisseurs rares (ovaires / ovocytes)

Comme montré dans la Figure 1, la réalisation de cette technologie dépend d'ovocytes de juments. Ces ovocytes sont issus de juments abattues. Les abattoirs équin deviennent alors

les principaux fournisseurs pour le clonage. Comme ce type d'abattoir est rare, ces fournisseurs représentent un grand enjeu pour le clonage équin.

Afin de mieux comprendre les enjeux liés à cette matière première, il est important de comprendre la filière de viande chevaline. L'Annexe II (page 307) permet de retrouver une vue générale de cette filière dans le monde.

Nous rapportons dans cette section les résultats de nos entretiens avec certains des principaux producteurs de viande chevaline dans le monde occidental. Ces entretiens ont été nécessaires pour comprendre les enjeux liés à cette matière première. Ils seront résumés par pays.

- Argentine :

Les premières visites aux abattoirs argentins ont eu lieu en décembre 2008. Les acteurs interviewés étaient respectivement les deuxième et troisième plus grands producteurs du pays. Leur capacité d'abattage s'élevait à environ 30 chevaux/jour d'abattage et l'abattage se faisait 3 à 4 jours/semaine. 50 à 70% des animaux abattus sont des juments adultes, capturées dans les montagnes. La crise de 2008 a ralenti la production, surtout à cause d'une rupture de paiements de la part des partenaires russes.

L'Abattoir 1 est basé à environ 150km de Buenos Aires. Il fournit des cœurs de chevaux pour la recherche aux EUA, ce qui les a obligés à mettre en place un système de livraison de cœurs à l'aéroport de Buenos Aires immédiatement après chaque abattage. Cette logistique coûtait 150US\$/transport et leur permettait en 2008 de livrer des ovaires de juments, à la commande et dans la journée à l'Université de Buenos Aires moyennant un paiement supplémentaire de 150US\$/envoi. Ce paiement concernait le transport et était indépendant de la quantité d'ovaires, ceux-ci étant fournis « gratuitement ». Les interlocuteurs ont montré un intérêt à la participation au développement de la recherche qui pourrait déboucher vers une technologie commercialisable avec pour condition qu'il y ait un contrat de partenariat à long terme. Dans le cas contraire, ils préféreraient continuer à fournir l'Université de Buenos Aires selon les arrangements déjà mis en place.

Le deuxième abattoir interviewé (Abattoir 2) est basé à La Pampa, à 620km de Buenos Aires. Cet abattoir n'avait jamais été contacté pour l'utilisation des ovaires de juments par un autre groupe. Ses propriétaires ont montré un intérêt pour toute opportunité de

participation au processus de développement d'une technologie commercialisable sans pour autant préciser leur offre.

Cet abattoir a été visité à deux reprises (2008 et 2010). Lors de la deuxième visite leur production avait été considérablement réduite. La capacité d'abattage était réduite à 2 jours/semaine. Parmi les causes nous avons constaté : la mort de l'associée majoritaire, un repli du marché russe, un éloignement de la source de juments (le nombre de chevaux dans la région montagneuse proche commençait à être réduit) et, par conséquent, une augmentation des coûts de transport.

Lors de la première visite, aucun des abattoirs argentins n'avait précisé leur offre pour la vente d'ovaires (source d'ovocytes). Ces deux acteurs voyaient plutôt l'opportunité d'une éventuelle utilisation des ovaires comme une possibilité de s'associer à une nouvelle technologie en développement en échange d'une participation aux résultats.

En 2011, nous avons rendu visite à des chercheurs à Buenos Aires et nous avons eu l'information que les ovaires dans les abattoirs proches de Buenos Aires et de Cordoba étaient commercialisés à raison de 5 US\$/ovaire. Cette information montre que le marché fournisseur a commencé à s'organiser mais a surenchéri l'offre. En effet, prenant en compte le prix du kilo de la viande équine (environ 2US\$/kg) et considérant que les ovaires sont des sous-produits de l'industrie il est facile de se rendre compte de la surenchère.

- Brésil :

L'abattoir interviewé (Abattoir 3) a une capacité d'abattage de 30-50 chevaux/jour, fluctuant entre 2 et 4 jours/semaine selon la demande de viande. La population de chevaux abattus est représentée surtout par des chevaux âgés, reformés après plusieurs années de travail dans les fermes d'élevage de bovins. Les juments représentent environ la moitié des chevaux abattus. Lors de la première interview, les deux associés se montraient initialement intéressés par cette nouvelle opportunité. L'opportunité pour ces associés était double : la possibilité de participer à l'industrie de la biotechnologie et celle de valoriser un nouveau produit dans la chaîne (les ovaires).

Le prix commercial d'un clone (150k€ à 200k€ en 2009) a anéanti tout intérêt de cet abattoir pour une participation au clonage en tant que fournisseur ou associé au

développement de la technologie. Un des associés a rapidement rendu son appréciation : « Ce marché ne nous intéresse pas. A ce prix-là, il n'y aura jamais de marché pour les clones ». L'interlocuteur n'a pas voulu réfléchir sur un éventuel prix de vente pour les ovaires.

A la fin de 2011, nous avons été recontactés par un des propriétaires de l'abattoir qui avait compris le rôle qu'il pourrait avoir dans la chaîne de production du clonage. Après avoir vu l'exemple de son concurrent canadien qui s'est associé à l'acteur 4 pour la production, il voyait un intérêt de se lier à un producteur de clones afin de valoriser son sous-produit tout en participant aux bénéfices du négoce du clonage.

- Canada :

L'abattoir (Abattoir 4) a une capacité d'abattage de 150 chevaux, abattus le vendredi, avec environ 50% de juments. Son activité reste stable depuis quelques années. Il n'avait pas encore été contacté pour une commercialisation d'ovaires mais son gérant s'est montré intéressé pour entrer dans la chaîne du clonage en tant que fournisseur d'ovaires sur la base de 5US\$/ovaire.

Le deuxième abattoir contacté (abattoir 5) est le plus grand abattoir du Canada, avec deux unités de production. Une de ces unités de production fournit des ovaires au producteur basé au Canada (Acteur 4 - VGN).

Comme l'abattoir possède une bonne logistique d'exportation il a montré de l'intérêt pour développer une activité d'exportation d'ovaires. Cependant, actuellement, il n'est pas possible de congeler des ovaires ou de les conserver au frais et les ovocytes doivent être récoltés dans un délai maximum de 6 heures après l'abattage. L'exportation d'ovaires vers un autre pays est alors impossible. Le propriétaire de cet abattoir n'a pas expliqué la forme de son partenariat avec le producteur de clones (acteur 4).

- France :

Des quatre abattoirs français interviewés, deux étaient trop petits pour supporter la production de clones. Ces abattoirs n'ont pas été inclus dans ce résumé.

L'abattoir 6 abat environ 20 chevaux tous les lundis et vendredis, dont au moins la moitié de juments, préférentiellement de plus de 15 ans. Le gérant perçoit les ovaires comme un sous-produit dont l'utilisation peut aider le développement scientifique. Il est prêt à donner les ovaires à un partenaire qui vient les récupérer à l'abattoir. Il serait prêt à louer une des salles de ses dépendances pour une éventuelle récolte d'ovocytes surplace.

Le dernier abattoir (abattoir 7) travaille en partenariat avec un négociant qui est le propriétaire des carcasses ce qui confère un caractère beaucoup plus commercial aux négociations. Il s'agit du plus gros producteur de viande chevaline en France avec une capacité de production d'environ 55-60 chevaux/semaine, dont 25-30 chevaux le lundi, 10 chevaux le mercredi et 15-20 chevaux le vendredi. Dans cet abattoir, les négociations se font avec le propriétaire des carcasses et non pas avec l'abattoir. Ce propriétaire des carcasses a rapidement compris qu'il était pratiquement l'unique fournisseur en France capable de fournir une quantité suffisante pour la production commerciale d'une petite quantité de clones. Il envisageait une participation à la chaîne de production de clones en tant que fournisseur d'ovaires au prix de 50€/ovaire.

Après plusieurs discussions, nous avons sensibilisé l'interlocuteur sur la faisabilité économique d'une vente d'ovaires pour le clonage. Cet acteur serait d'accord pour fournir toute sa production d'ovaires pendant six mois et prêter un espace pour le travail de récolte d'ovocytes dans l'abattoir contre un paiement de 4000€.

Depuis le début de cette thèse, deux abattoirs français ont arrêté l'activité « cheval » et deux autres sont toujours menacés de fermeture par inadéquation aux exigences sanitaires liées à la structure et au personnel.

- Pologne :

L'abattoir interviewé (abattoir 8) a une capacité d'abattage d'environ 30 chevaux/jour, 3x/semaine. L'interlocuteur s'est dit intéressé par la vente des ovaires. Cependant il n'avait jamais réfléchi aux conditions de vente. Il n'a pas su montrer de position claire sur son réel intérêt et ses conditions. Il nous a demandé un peu de temps pour y réfléchir, sans jamais nous retourner de réponse. La communication a été une barrière réelle à cette interview puisque l'interlocuteur parlait uniquement le polonais.

- Quels enjeux liés à la chaîne d'approvisionnement ?

A partir des interviews réalisées nous avons formulé quelques constats importants sur la chaîne d'approvisionnement et son interaction avec le clonage :

- pas d'élasticité de l'offre d'ovaires: la consommation de viande est le principal facteur régulateur de la production d'ovaires ;
- le manque d'élasticité de l'offre d'ovaire peut empêcher l'ouverture de nouveaux centres de production de clones et/ou créer une concurrence pour l'acquisition des ovaires ;
- le nombre réduit d'abattoirs peut limiter géographiquement la production de clones ;
- la pression des associations de protection animale peut avoir un impact sur la production de clones ;
- la valorisation des ovaires est un fait nouveau pour la filière de la viande chevaline;
- la proximité entre un abattoir de chevaux et les centres de savoir-faire ou de production de clones peut engendrer une concurrence pour les ovaires et une surenchère des ovaires ;
- les seules options techniques pour l'industrie du clonage afin de devenir indépendante des aléas liés aux fournisseurs d'ovaires seraient d'améliorer l'efficacité de la technologie à partir d'ovocytes récoltés *in vivo* ou de rendre fiable le transport d'ovaires / ovocytes pendant une période d'au moins 24h ;
- dans les Amériques (du Nord et Latine), les abattoirs sont privés et les propriétaires sont les propriétaires des carcasses. Leur objectif est celui d'optimiser l'utilisation des carcasses et des sous-produits ;
- l'utilisation des ovaires est une opportunité que tous les abattoirs ne savent pas bien comment saisir ;
- les abattoirs français peuvent permettre l'utilisation des ovaires à titre de collaboration pour la recherche. Cette situation peut changer si la négociation doit être faite

avec le propriétaire des carcasses qui cherchera à avoir un retour économique de cette activité ;

- la survie des abattoirs de chevaux est fragile ;
- il y a un besoin constant d'adaptation aux normes sanitaires de plus en plus exigeantes (tous les cas) ;
- la consommation de cette viande au niveau mondial reste stable voire en déclin ;
- la production dépend d'un marché extérieur fragile (cas des abattoirs des Amériques) ;
- pression des associations de protection du bien-être animal pour la fermeture des abattoirs (cas des USA, Mexique et Canada) ;
- l'éloignement des abattoirs des grands centres représente une difficulté supplémentaire pour l'installation d'un laboratoire de production de clones ;
- les managers d'abattoirs ne savent pas comment se positionner en tant que fournisseur : donner des ovaires pour la recherche ? Vendre les ovaires ? S'associer à la production de clones afin d'en tirer plus de bénéfices ? ;
- les managers d'abattoirs ne savent pas calculer le prix de ce produit : au poids ? À l'unité ? Au prix d'un sous-produit ? Au prix d'une viande de qualité supérieure ? Au prix du temps passé pour le récolter ? ;

Ce résumé sur les interviews réalisées avec les « fournisseurs rares » montre la complexité de gestion de l'approvisionnement lorsqu'une technologie dépend de fournisseurs et/ou matière première rares. La désorganisation du marché fournisseur représente une difficulté qui doit être surmontée par chaque acteur au moment de son implantation. Il s'agit de décisions stratégiques pouvant impacter la survie et la capacité de production de l'industrie technologique.

- I.2.2.4.2. Des stratégies commerciales variées mais communes :

Seulement un petit nombre d'acteurs est présent sur ce(s) marché(s). Afin de démontrer la « diversité » de stratégies concurrentielles nous incluons dans cette analyse tous les acteurs recensés (6 producteurs et 1 distributeur).

Acteur 1 (CIZ – AVANTEA) : italien, premier à produire un clone équin à partir d'une cellule somatique adulte

Ce groupe est une *spin off* de la Coopérative CIZ – Italie, créée en 2007. Après la scission, le groupe a continué de recevoir des fonds de financement Européens pour la recherche. Cependant ces financements portent principalement sur la transgénèse animale et les cellules souches. Le clonage équin y représente une activité marginale et les coûts représentés par cette production sont supportés par le consommateur qui commande des clones.

Le groupe a initialement orienté son marketing vers les pays nord africains et le Proche-Orient. En 2011, il a démarré une démarche plus agressive de marketing vers les disciplines équestres officielles en Europe en participant à des évènements internationaux.

Les congrès scientifiques internationaux permettent à son directeur de créer des contacts avec des vétérinaires de différents pays pour diffuser son savoir-faire, proposer ses services et élargir ses réseaux sociaux. Par ailleurs il a un site web commercial en italien et anglais. Il n'a pas de force de vente sur le terrain car « le commerce n'est pas son cœur de métier et sa stratégie commerciale est la vente via le site internet ».

Sa politique commerciale se base sur la vente de séances de production d'embryons ajoutées d'une prime pour chaque embryon produit. Parallèlement, le groupe propose au client d'acheter des juments receveuses auprès de ses fournisseurs et de les garder en pension chez un partenaire situé à proximité de ses installations. Les frais vétérinaires pour la préparation du troupeau de receveuses sont à la charge du client (le suivi folliculaire, la synchronisation des juments receveuses, le transfert d'embryons et des éventuels soins de santé). Chaque gestation confirmée par un diagnostic de gestation réalisé à 15 jours génère une nouvelle redevance. Finalement, chaque clone né et en bonne santé génère une dernière prime.

Basé sur les informations commerciales de l'acteur, il est possible de calculer le coût final (C) pour l'éleveur. Ce calcul considère la stratégie de transfert de 2 embryons par jument :

$$C = a.x + b.y + 2.z.(y/2) + s.(2.y/2) + t.(y/2) + d.(y/2) + g.p_1 + e.f_{g2} + c.p_2 + 0,5h$$

Si on accepte $y/2 = i$, alors,

$$C = ax + by + i(2z + 2s + t + d) + gp_1 + e f_{g2} + cp_2 + 0,5h$$

x = n séances réalisées ; (l'acteur ne précise pas de précision sur le nombre d'ovocytes manipulés)

a = prix de chaque séance

y = n embryons produits

b = prime de production (embryon)

z = prix d'achat d'une jument (achat + transfert de propriété)

s = frais vétérinaires de suivi et préparation d'une jument au transfert embryonnaire

t = frais de transfert d'embryons

d = prix du diagnostic de gestation

g = nombre de gestations confirmées

p_1 = prime de gestation

e = coût d'entretien d'une jument / mois

f_{g2} = fonction d'entretien de juments en cas de double transfert (cette fonction doit être établie en fonction des gestations mises en route et des avortements).

c = n clones en bonne santé à la naissance

p_2 = prime par clone né en bonne santé

h = hospitalisation en soin intensif du poulain nouveau-né (coefficient 0.5)

Initialement, les avantages pour le client sont nombreux :

- le « pouvoir » de contrôler le nombre de séances de production et le nombre de gestations souhaitées ;
- le « pouvoir » de contrôler le budget employé afin de produire un clone ;
- une dépense progressive et, en partie, liée au résultat ;
- la possibilité de réduire les dépenses par une gestion optimale des juments

Les désavantages, souvent mal perçus par le client sont :

- la nécessité de s'occuper de l'achat et de la gestion de juments en dehors de son troupeau (au moins jusqu'au moment du diagnostic de gestation) ;
- la nécessité de revendre les receveuses non utilisées ou ayant avorté (ou réabsorbé l'embryon), une fois atteint le nombre de gestations souhaitées ou, le cas échéant :
- d'entretenir ces receveuses dans son troupeau ou dans un autre établissement, ce qui représente un coût additionnel, souvent négligé en pratique ;
- le risque accru de perdre un poulain né par manque de connaissance de la gestion de poulains ayant besoin de soins intensifs lors de la naissance (pendant la période périnatale les poulains clonés sont susceptibles d'avoir besoin de plus de soins que les nouveaux-nés non clonés) ;
- un coût total masqué par les multiples étapes, dont certaines conditionnées au résultat, et par une culture commune dans l'élevage de chevaux de ne pas compter le coût d'entretien des chevaux « supplémentaires » (surtout s'ils intègrent leur troupeau) ;
- le risque de ne pas obtenir un poulain vivant à la fin de la période des gestations programmées (ce risque est dû à la méconnaissance, de la part des éleveurs, du nombre des gestations nécessaire pour produire un poulain vivant) ;

Acteur 2 (TAMU) : américain, important centre de savoir-faire

Cet acteur représente aujourd'hui l'un des plus importants centres de savoir-faire de clonage équin dans le monde. Le centre réalise les recherches et produit les clones à l'aide de fonds, contrats de recherche et donations du public. Toutes ses sources financières confondues permettent de couvrir les dépenses de recherche et d'équipement, estimées à environ 200k€/an. Le groupe a produit une dizaine de clones depuis 2005. Quelques exemples de partenaires finançant directement le clonage sont : Cryozotech en 2003 ; Link Equine Research Endowment Fund et Bio-Arts Research Corporation. L'Université a récemment établi le programme Equine Initiative pour renforcer les collectes de fonds et les collaborations avec le privé pour l'ensemble du département équin où le laboratoire qui réalise le clonage s'insère. Une partie de ce fond est distribué au laboratoire de clonage équin.

Les partenaires du programme institutionnel Equine Initiative sont des acteurs privés ou des fonds de donation tels que The Burnett Foundation (donation de fonds à la hauteur de 2,5 millions de US\$ en 2010); The Legend Premier Stallions Auctions (ce groupe d'éleveurs donne de la semence de chevaux de haute qualité génétique à l'université, la mise en vente aux enchères des donations est consacrée à la recherche de TAMU (Texas A&M University). Entre 2010 et 2011 ces ventes ont rapporté 500k€. Des nombreux autres donateurs de fonds participent à cette initiative (Bloomberg trails ; Butler Schein animal health ; Cowboy Trailer Sales ; Cinch, Cruel girl, Henson, Miller Ranch, Priefert, Purina, Rockies, Rod Patrick, Southern Thread, Weaver Leather).

Cependant, à part ces donations (qui sont réalisées à l'université et ensuite redistribuées aux différents départements), les partenariats réalisés directement entre le laboratoire de clonage et les partenaires privés représentent des contrats de production de clones commandés par les partenaires sous forme de contrat de recherche.

Depuis 2007, suite à la fermeture des abattoirs de chevaux aux EUA, le groupe a changé de stratégie d'approvisionnement (récolte d'ovocytes *in vivo* par ovum pick-up) ce qui a radicalement réduit sa capacité de recherche (et de production). En effet, la recherche sur des ovocytes récoltés *in vivo* est plus laborieuse et le résultat plus long à obtenir car le nombre d'ovocytes récoltés par séance est largement réduit.

Cet acteur n'a pas d'action commerciale dédiée mais une forte capacité de communication principalement sur le plan scientifique. Des actions de communication de vulgarisation

scientifique sont réalisées aux USA. Cette force facilite la rencontre de partenaires prêts à passer de contrats de recherche. Les contrats de recherche assurent au partenaire la production d'au moins un clone à la fin de la période de travail.

Les avantages pour le « partenaire » :

- l'assurance de confier le travail à l'un des groupes les plus sérieux et compétents au monde ;
- l'assurance d'avoir un clone à la fin de la période

Les désavantages :

- comme le contrat n'est pas une simple vente mais une collaboration pour la recherche, sa signature s'avère très bureaucratique ;
- le financeur n'a aucun droit sur le savoir-faire créé à partir de cette collaboration. Son seul bénéfice est l'obtention du clone souhaité.

Acteur 3 (CZT) : français, premier entrepreneur du clonage équin

Cette entreprise française a démarré ses activités en 2001 et a été le premier à annoncer la commercialisation de clones. A l'époque le clonage équin n'était pas encore mis au point. Cet entrepreneur a acheté le droit de cloner ou négocié des partenariats sur la génétique de quatre des meilleurs performeurs internationaux dans les disciplines équestres officielles. En parallèle, il a participé au financement de la recherche développée par les acteurs 1 et 2. Les génétiques achetées ont été utilisées comme matériel donneur de cellules pour la conception de la technologie du clonage sur les deux centres. Les clones produits ont été livrés à sa société pour l'exploitation dans l'élevage. Parallèlement, l'acteur a contacté des éleveurs leaders d'opinion dans ces disciplines pour cloner leurs propres chevaux dans la même optique d'exploitation en élevage.

Le créneau de marché choisi par l'entreprise française a été rapidement établi : les candidats au clonage seraient des chevaux castrés atteignant le plus haut niveau sportif (champions au niveau international). Les disciplines ciblées sont le jumping, le dressage et l'endurance. Les chevaux clonés devraient être exploités en reproduction.

Le choix des disciplines a été conditionné par le niveau de professionnalisme, la valorisation possible des chevaux qui y participent et l'importance de ces disciplines pour le marché du cheval européen. Le jumping et le dressage sont des disciplines traditionnelles, fortement réglementées. Les épreuves de haut niveau international sont obligatoirement rémunérées. De plus, ce sont des disciplines olympiques et l'Europe concentre les meilleurs éleveurs de ce type de chevaux. Cet environnement fait que les meilleurs chevaux de ces disciplines atteignent une valeur de quelques millions d'euros, ce qui *a priori* justifie l'intérêt économique de les cloner. L'Endurance a été choisie parce que c'est une discipline en voie de professionnalisation au niveau mondial et dont le marché au Proche et Moyen Orient est bien développé. Dans ces trois disciplines, la fréquence de hongres dans la population de mâles peut varier de 40 à 80% (Ricard, 2002).

L'entreprise est une TPE (Très Petite Entreprise) et propose à ses clients différents produits liés au clonage: le clonage service, le droit génétique pour le clonage, la semence de clones et des parts des étalons. Le clonage service représente le cœur de métier de l'entreprise. Aux revenus commerciaux s'ajoutent un subside du conseil régional des Yvelines (entre 2007 et 2012), le Crédit d'Impôt Recherche (annuel depuis 2007) et, ponctuellement, l'entreprise a obtenu des petits financements pour la recherche auprès de l'IFCE (Institut Français du Cheval et de l'Equitation, ancien Haras Nationaux).

Nous nous concentrerons ici sur l'activité de vente du clonage service, la plus développée. L'entreprise a entamé une action de communication dans différents pays : France, Espagne, Pays Bas, Belgique, Allemagne, Etats Unis, Emirats Arabes Unis, Brésil, Argentine, sans pour autant établir un programme bien défini et stratégique de communication sur ces pays. Récemment, l'entreprise a commencé à structurer un réseau d'ambassadeurs de l'entreprise dans différents pays selon les opportunités. Le résultat est encore insuffisant.

Actuellement l'entreprise sous-traite toute sa production à l'acteur 4 (VGN), le deuxième acteur commercial dans le secteur. De cette manière, l'acteur 3 (CZT) s'affranchit des risques liés à la production tout en garantissant le résultat à ses clients (au moins un clone vivant, livré dans les 3 ans qui suivent la signature du contrat).

Pour le client, son offre présente l'avantage d'être lisible : le prix total de l'opération est annoncé dès le départ des négociations ; le paiement est échelonné entre la signature du

contrat et la livraison et le résultat est garanti (au moins un clone en bonne santé, âgé d'un mois). Le principal désavantage pour le client est lié à sa position d'intermédiaire dans le marché résultant en prix élevés par rapport au reste du marché.

La politique commerciale de l'entreprise vise à créer une marque de luxe par la vente de seulement quelques exemplaires exceptionnels mais à un prix élevé. Cette politique contribue à augmenter ses prix de vente : comme le nombre de commandes annuelles est faible (1-3 clones) l'entreprise n'a pas un poids important pour obtenir des conditions plus favorables auprès de son fournisseur et ses coûts structurels restent élevés.

L'entreprise présente quelques faiblesses concurrentielles telles que :

- la distance des clients : participation à seulement 1 à 3 événements équestres /an dans l'ensemble des pays contactés et pas de contact soutenu avec les éleveurs, cavaliers et vétérinaires sur le terrain. La plupart des contacts sont faits via email ou téléphone ;
- faible effectif de personnel pour réaliser toutes les actions envisagées : la communication, tant au niveau du site web que sur des congrès scientifiques ; l'entretien quotidien de 20 chevaux ; le transfert embryonnaire sur quelques juments afin de produire des poulains de clones (nécessaires à la démonstration de la valeur de la technologie) et la gestion des problèmes du quotidien ;
- la dispersion du personnel : cette grande variété d'activités rend difficile la concentration des ressources sur des tâches précises et dans les meilleurs délais. Cette dispersion amène le PDG à se retrouver souvent pris par des tâches autres que celles de l'administration et de l'action commerciale, telles que la plomberie ou le dressage de chevaux.

Le respect mondial du sérieux scientifique de son PDG est le grand atout de l'entreprise et facilite l'établissement des premiers contacts avec de nouveaux clients.

Acteur 4 (VGN) : américain, financé par du capital-investissement

Cet acteur a un caractère strictement commercial. Il s'agit d'une compagnie de biotechnologies englobant un secteur de management de brevets (achat, vente, licences) et un secteur d'exploitation de biotechnologies (par exemple : production de clones et animaux transgéniques) financée par le capital venture. C'est la première fois dans

l'histoire que le capital venture a financé le développement d'une technologie de la reproduction dans l'espèce équine.

En 2004, le groupe a acquis le brevet de clonage (Campbell & Wilmut, 1998) auprès de l'entreprise écossaise détentrice des droits. Malgré le succès médiatique du clonage de Dolly en 1996, la technologie n'a jamais contribué au développement d'un produit commercialisable par la compagnie écossaise. Les associés sont devenus prudents avant de financer des nouveaux projets. La compagnie écossaise a ainsi été contrainte de vendre ses droits à la holding américaine afin de financer un projet à grand potentiel (The Guardian, 2004).

L'achat de ce brevet a été largement annoncé sur la presse. Il a été évalué entre US\$1,8 million et US\$45 millions par différentes sources (The Guardian, 2004 ; ABCnews, 2004). Cependant, nous n'avons pas réussi à connaître la valeur réelle de cette transaction.

L'Acteur 4 (VGN) est américain mais possède un laboratoire de production basé à proximité d'un des plus gros abattoirs de chevaux au Canada. Selon son directeur commercial, il a la capacité de produire jusqu'à 100 clones de chevaux par an. Cependant, à notre connaissance la production annuelle de l'entreprise n'a jamais dépassé les 20 clones.

Ses clients sont représentés majoritairement par des éleveurs américains et la compagnie commerciale française (Acteur 3 - CZT) qui, depuis 2006, y produit tous ses clones en sous-traitance. Malgré sa forte liaison avec la recherche surtout sur d'autres espèces de mammifères, l'objectif principal du groupe vis-à-vis de l'espèce équine est purement commercial.

L'Amérique du Nord et l'Amérique Latine ont été les marchés initialement ciblés par cette entreprise. Cette région de la planète concentre plus de 15 millions de chevaux, soit 15 fois le nombre de chevaux en France ou 2,5 fois celui d'Europe (FAO, 2009) dont une race américaine, le Quarter Horse, qui représente 30% du total de chevaux présents sur le sol des EUA et représente un marché très important dans ce pays (AQHA, 2011 ; American Horse Council, 2005).

Cette entreprise a orienté ses efforts initiaux vers la conquête de ce marché. Cependant, l'AQHA, l'association des éleveurs de Quarter Horse a interdit l'enregistrement et la

participation de clones et de descendants de clones à ses concours hippiques. Cette interdiction, officielle depuis 2009, a réduit considérablement les ambitions de développement de cette entreprise dans les Amériques. Il a fallu se repositionner afin de se maintenir sur le marché. L'entreprise a envisagé le développement sur différents marchés pour enfin s'insérer dans celui de chevaux de Polo (argents) et des disciplines officielles (jumping and dressage).

L'acteur est agressif commercialement offrant à ses clients des prix plus accessibles que les prix publics de l'entreprise française tout en se basant sur un contrat similaire : garantie de résultat et d'échelonnement de paiement. L'entreprise se présente aux clients en tant que producteur des clones vendus par l'Acteur 3 (CZT) et place ce dernier comme étant un de ses « distributeurs ». Cette stratégie montre que la position de distributeur dans ce marché est très fragile.

En 2012 l'acteur est passé par une restructuration du personnel (réduction du personnel, surtout sur le clonage d'autres espèces) et en 2013 il a été acheté par un partenaire actif sur le domaine de génétique bovine (Transova genetics).

Acteur 5 (BSS-UBA) : Argentin, premier producteur de clones équins en Amérique du Sud

Cet acteur est basé en Argentine et est le fruit d'un partenariat entre une société privée argentine (Biosidus) et un chercheur de l'Université de Buenos Aires. Biosidus est une entreprise de l'industrie pharmaceutique fondée en 1938 en Argentine. Leur premier partenariat a été envisagé pour la mise en place d'un centre de production d'animaux transgéniques sous le conseil technique du chercheur de l'université. Ce projet a démarré en 1998 et l'entreprise y a investi environ 8 millions de dollars. Ensuite, le propriétaire de la société, passionné de cheval, a entrepris un défi personnel : celui de produire le clone de son meilleur cheval. Cela a donné lieu à un nouveau partenariat pour la mise en place technique du clonage équin dans l'Université. Pour le partenariat, l'entreprise finançait le transport des ovaires, une bourse d'un étudiant en doctorat, quelques équipements et un salaire de 2.000 US\$/mois au chercheur responsable du département.

Un clone est né en 2010, après 5 ans de recherches. Cela représente le premier accès d'un pays émergent à la technologie du clonage équin. Suite à sa naissance, l'entreprise privée a démarré l'activité de commercialisation de clones de chevaux en Argentine. Les clones

commandés seront produits par l'équipe de l'Université de Buenos Aires, au sein de l'université. L'équipe est appuyée par une équipe de recherche sur la reproduction bovine.

Cet acteur vise le marché sud-américain et surtout argentin, dont les animaux de plus grande valeur sont les Poneys de Polo, une race argentine. Il base son offre sur un prix inférieur à d'autres offres du marché. Son prix public est 25% inférieur à celui de l'acteur 4 et 50% inférieur à celui de l'acteur 3. Cet acteur promet une livraison en 2 ans. Il est resté évasif quant à la garantie de l'état de santé du poulain, démontrant qu'il n'était pas disposé à assumer intégralement ce risque.

Nous avons remarqué une certaine naïveté de l'acteur concernant le rendement technique du clonage. Il est persuadé que le rendement de sa technique est supérieur à celui des autres acteurs. Cependant, il a produit seulement deux clones, un nombre très peu significatif pour affirmer que sa technique est supérieure. Par ailleurs, une analyse détaillée de ses résultats publiés dans une revue scientifique (Gambini et al. 2012) montre que son rendement est proche du rendement moyen de la fourchette de rendements calculée pour cette thèse.

Lors de notre dernière rencontre en décembre 2011, l'acteur n'avait pas encore de nouveaux contrats de clonage équin signés.

Le principal avantage de son offre est le prix réduit. Pour les clients argentins, la proximité entre le centre de production et l'élevage, réduisant les coûts de transport et d'importation liés à un achat dans un autre pays. Le principal désavantage est le manque de clarté sur la garantie de livraison d'au moins un clone vivant et, surtout, en bonne santé. Le contrat est opaque en relation à ces questions.

Acteur 6 (Invitro): brésilien, entreprise familiale spécialisée dans la reproduction animale

Ce nouveau concurrent est entré dans le marché du clonage équin en 2010. Il s'agit d'un grand laboratoire de fécondation *in vitro* (FIV) bovine basé au Brésil, produisant environ 200 milles embryons bovins *in vitro* par an. L'acteur a fait un partenariat avec la compagnie américaine Cyagra pour le clonage bovin. L'organisation prévoyait une prise de commandes préalable suivie du déplacement du micromanipulateur de Cyagra jusqu'au Brésil afin de produire les embryons nécessaires pour répondre à la demande.

Le projet du groupe est de devenir l'acteur national du clonage équin. L'association avec l'éleveur d'un étalon mythique dans le pays a été mise en place en 2010 donnant naissance à une nouvelle branche du groupe (une entreprise indépendante du laboratoire mère, spécialisée dans le clonage). L'associé, éleveur de chevaux, fait la commercialisation du clonage et gère le troupeau de juments receveuses d'embryon. Lors de notre entretien, en mars 2012, l'entreprise a annoncé plus de 500 chevaux stockés dans la banque génétique et 6 commandes fermes et prépayées.

Cependant, l'acteur a avoué avoir rencontré des difficultés pour la production. En effet, après la signature du partenariat avec le groupe Cyagra, ce dernier a présenté des problèmes financiers et le partenariat pour le clonage bovin au Brésil n'a pas pu être continué. L'acteur brésilien a alors acheté le savoir-faire au groupe Cyagra et a employé un micromanipulateur chilien, formé au Japon pour cette fin. Ce professionnel est le responsable des micromanipulations des espèces bovine et équine.

Le prix public de cet acteur est équivalent à 44% de celui de l'acteur 4 (VGN), 29% de celui de l'acteur 3 (CZT) et 60% de celui de l'acteur 5 (UBA). Le paiement se fait à la commande et, en cas d'absence de naissance à la fin de 2 ans, l'argent est rendu au client. L'acteur a démontré une méconnaissance sur ses coûts de production et l'absence de préoccupation quant à la lucrativité de l'activité : *« le prix public de Viagen (acteur 3) est de 165k€, alors, on s'est dit qu'on pourrait afficher 150k Reais (équivalent à 73.120US\$) pour pouvoir entrer dans le marché et avoir les premiers clients. Nous augmenterons les prix ultérieurement, une fois les premiers clones nés »*. Cet acteur adopte donc une stratégie de prévente à prix dynamique, même s'il n'annonce pas la possibilité de changement du prix aux clients.

Les avantages de son offre pour le client sont le prix et la garantie d'un clone vivant ou le remboursement. A cela s'ajoute, comme dans le cas antérieur, la proximité entre le centre de production et son public ciblé, ce qui réduit les coûts de transport aérien et d'importation liés à un achat dans un autre pays. L'acteur n'ignore pas le marché européen mais a du mal à former un réseau dans le vieux continent.

Le désavantage de son offre : le principal désavantage pour le client est le risque de ne pas obtenir son clone au bout de deux ans. Le mal est pallié par le remboursement.

L'organisation de la production du groupe est intéressante. L'entreprise de clonage compte seulement deux employés (le micromanipulateur et le commercial) pour assurer toute la production jusqu'à la livraison. Cependant, étant une branche d'une entreprise spécialisée en FIV bovine, qui emploie 65 personnes, les deux branches fonctionnent ensemble dans une grande ferme dotée de toute l'infrastructure nécessaire pour la production d'embryons *in vitro*, l'élevage et même d'une petite unité rudimentaire de néonatalogie. Malgré l'emploi officiel de seulement deux personnes, au moins 5 autres y contribuent directement. Ce sont des spécialistes dans différents domaines liés à la production d'embryons *in vitro* normalement attachés à la branche FIV bovine. Par ailleurs, le personnel animalier et le personnel administratif y contribue aussi. Le modèle pourrait se rapprocher de l'open innovation avec la différence que les contributions diverses proviennent de différentes branches d'un même groupe lié financièrement.

Acteur 7 (Crestview) : entreprise familiale, groupe d'investissement en différents négoce

Crestview farm a été créée en association avec le principal joueur de polo en Argentine, meilleur joueur au niveau mondial et commerçant de chevaux de Polo au niveau mondial. Crest farm est un groupe familial d'investissements dans différents négoce tels que les ressources naturelles, l'hydrocarbure et les produits agricoles.

En 2009, l'acteur 4 (VGN) avait produit des clones du meilleur poney du joueur de polo à titre gratuit. Un de ces clones a été vendu aux enchères afin de vulgariser la technologie en Argentine. L'intérêt de l'acteur en ce faisant était d'entrer dans le monde du Polo où l'utilisation des biotechnologies en général est largement répandue et où les chevaux atteignent une haute valeur financière.

Par la suite, le joueur de Polo s'est associé au groupe Crestview farm et a acheté à l'acteur 4 (VGN) une licence pour la production. L'objectif était de produire localement en Argentine. La valeur de cette transaction ne nous a pas été révélée. Le groupe a confié la production en Argentine à un chercheur d'une Université basée à Buenos Aires (différent de l'acteur 5). Parallèlement, l'acteur bénéficie d'un tarif préférentiel auprès de l'acteur 4 pour produire des clones aux USA, dans le cas où il trouverait des clients dans ce pays et en attendant la mise au point technique en Argentine.

Cet acteur offre des clones à un tarif dégressif. Le premier clone à 100.000 US\$, soit 60% du prix public de l'acteur 4. L'acteur annonce avoir une quarantaine de clones produits par l'acteur américain aux EUA. Nous n'avons retrouvée aucune preuve de cette production et n'avons pas eu l'opportunité d'interviewer l'ACTEUR 7.

Tableau 5: Résumé des 7 acteurs repérés sur l'industrie du clonage équin.

Acteur	Propriétaire	Acquisition de technologie	Organisation de la production	Commercialisation / marketing	Prix public en 2012	Gestion de l'incertitude	Garanties
1	Univ TAMU	Scientifiques de TAMU et embauche d'un micromanipulateur coréen	Laboratoire, centre de transfert embryonnaire et clinique au sein de l'université	sous forme de financement de la recherche; pas de force de vente	100-200kUS\$	Recherche	Clone vivant
2	Cesare Galli et associés	Scientifiques italiens et embauche d'un micromanipulateur russe	Production des embryons au siège social et transfert dans la ferme d'un partenaire (main d'œuvre du laboratoire)	Vente par étapes + primes succès; pas de garantie de résultat; pas de force commerciale; website commercial	Coût total estimé à 124k€	Le client gère son budget et assume les risques	Pas de garantie
3	Eric Palmer et 15 associés	Action d'acquisition de connaissance avortée	Sous-traitance à l'acteur 4	Echelonnement du paiement; garantie du résultat; force commerciale: PDG; réseau de prescripteurs locaux rudimentaire	200k€	Prix fixe élevé, marché de niche	Clone vivant en bonne santé
4	Exeter Life Sciences Inc et Geron (Viagen)	Ex-scientifiques de TAMU et achat du brevet Dolly	Production d'embryons au Canada; transfert d'embryons au Canada ou aux USA dans des cliniques vétérinaires partenaires	Echelonnement du paiement; garantie du résultat; force de vente: directeur commercial; réseau de prescripteurs locaux; commercialisation de licences de production	165kUS\$	Prix fixe, marché de quantités	Clone vivant en bonne santé
5	Biosidus	Formation de micromanipulateur à l'Université de Buenos Aires	Production d'embryons à l'UBA; transfert dans la ferme de Biosidus	Echelonnement du paiement; pas de garantie réelle de résultat; force de vente: directeur commercial	120kUS\$?	Pas de garantie réelle
6	In vitro Brasil et Mme Ieda Fleury	Achat de technologie bovine à Cyagra et embauche d'un micromanipulateur chilien	Production d'embryons au sein du siège social et transfert dans la ferme de Mme Fleury	Paiement à la commande; résultat ou remboursement; force de vente: M et Mme Fleury (associée)	150kR\$ (~73kUS\$)	Equilibre obtenu grâce à l'espèce bovine	Clone vivant ou remboursement
7	Crestview Farm et M. Cambiasso	Achat de licence auprès de Geron/Viagen	?	?; M. Cambiasso (associé)	100k€, dynamique selon quantités	Prix dégressif - quantité	?

En résumé, cette analyse des stratégies commerciales montre une multitude d'offres et de contrats. Cependant, quelques caractéristiques sont communes à tous les acteurs : la concurrence par le prix, la prédilection de la vente directe vers le consommateur et la production simultanée à la conception.

La difficulté d'approvisionnement en ovocytes associée à la difficulté de former la main d'œuvre interne sans apport extérieur de savoir-faire spécialisé en clonage équin a amené l'acteur 3 à avorter son action d'acquisition de connaissance.

- I.2.2.4.3. Des clients exigeants et acteurs actifs dans le processus de conception

Les premiers clients ayant acheté au moins un clone sont des éleveurs dont l'activité d'élevage ne représente pas leur principale source de revenus. Nous avons identifié des industriels (dans le domaine pharmaceutique, logistique ou l'agro-alimentaire), des banquiers, un propriétaire d'agence de voyage, un propriétaire d'un réseau de magasins de décoration, un propriétaire d'une centrale d'achat de produits vétérinaires. Dans la majorité des cas, les clients ont plus de 60 ans.

Les clients sont exigeants et connaissent le produit qu'ils espèrent obtenir en faisant usage de cette technologie. Par ailleurs, il est difficile d'identifier la valeur réelle de ce produit puisqu'il fait partie d'un marché défini par Karpik (2007) comme un marché de singularités où la valeur de l'objet est subjective. Le facteur directeur de cette économie est la recherche du meilleur et c'est ce que le client du clonage cherche en commandant un clone.

Le haut coût de production limite le clonage à la production de quelques unités de modèles bien spécifiques et le destine à une catégorie bien précise de clients :

- propriétaires des meilleurs chevaux d'une discipline qui souhaitent continuer à exploiter cette génétique avec l'espoir de se maintenir au plus haut niveau ;
- passionnés d'innovation qui souhaitent être parmi les premiers à utiliser la technologie dans leur élevage (les pionniers). Cette catégorie ne comprend cependant pas tous les leaders d'opinion car certains d'entre eux sont manifestement contre le clonage et d'autres préfèrent ne pas se manifester publiquement en faveur de cette technologie pour éviter des conflits avec d'autres éleveurs, leurs clients potentiels ;

- passionnés de chevaux, pour lesquels, l'achat d'un poulain nouveau-né pour un prix variant entre 73 et 200k€ peut être envisageable à condition que sa génétique puisse apporter une valeur à son élevage (à nouveau, la définition de valeur est singulière et chaque éleveur a sa propre définition de valeur) ;
- ceux qui souhaitent débiter un élevage de haute valeur génétique en achetant des clones des meilleurs reproducteurs de l'actualité. Pour cette catégorie, il est nécessaire que la génétique des chevaux souhaitables soit disponible pour le clonage. Cette catégorie représente actuellement un marché potentiel en début de développement en Europe et aux EUA ;
- des clients disposés à réaliser un investissement à long terme : 1 à 3 ans pour la livraison du produit, suivi de 2 à 4 ans pour le début de l'exploitation en reproduction et plus 7 à 10 ans pour que la descendance des clones puisse être utilisée en sport de haut niveau. Dans le meilleur des cas, cet investissement peut être raccourci de 2 ans si le client souhaite exploiter son propre clone en compétition sportive de haut niveau. Dans ce cas, il assume le risque de dévaloriser son clone qui peut ne pas être aussi performant que le modèle. Cette question a été discutée par Hinrichs (2006).

Les clients sont en même temps acheteurs, fournisseurs et designers. Ils sont acheteurs parce qu'ils commandent les clones auprès des producteurs et payent la commande selon le contrat. Ils sont fournisseurs parce qu'ils fournissent les cellules du cheval à cloner, leur propre cheval. Ils sont designers parce qu'ils désignent le cheval à cloner, basé sur la qualité estimée du cheval et leurs intérêts à posséder ou multiplier la génétique choisie.

Dans l'avenir, il serait possible que la génétique soit disponible sous forme de cellules commercialisables pour le clonage. Le client pourrait éventuellement choisir la génétique qui l'intéresse dans un catalogue, même si le cheval ne lui appartenait pas. Cependant, le développement de ce marché dépend de la volonté des propriétaires des meilleurs chevaux à céder les cellules pour le clonage (ce qui confère un risque de perdre sa position de dominance) et possiblement de la réduction des prix du clonage service. Jusqu'à présent, seulement quelques clones ont été vendus sous ce modèle.

Cependant, la décision d'adopter la technologie résulte d'un raisonnement évolutif et stratégique impliquant des questions telles que le prix, l'impact sur la société, son acceptation dans un groupe social, l'utilité de la technologie, etc. Comme cette technologie

relève du domaine biologique, l'acceptation peut dépendre aussi de traditions culturelles et/ou religieuses, de peurs parfois associées au principe de précaution, etc.

Ces facteurs impriment une difficulté à établir *a priori* la définition du marché ou de la demande pour une technologie et confèrent plus de pouvoir aux consommateurs vis-à-vis des producteurs.

Comme l'adhésion à la technologie est aussi conditionnée à des facteurs culturels, nous présentons ici les résultats obtenus des interviews réalisées avec les clients potentiels réunis par pays.

En France :

Deux populations différentes ont été retenues : les professionnels du saut d'obstacle et ceux de l'endurance.

Le saut d'obstacle :

Sur les 125 personnes interviewées lors des salons d'éleveurs de chevaux de saut d'obstacles, nous avons rencontré 60% (75 personnes) *a priori* favorables au clonage ; 10% (12 personnes) montrant une curiosité technique ; 20% (24 personnes) *a priori* défavorables sans avoir aucune connaissance de la technique. Enfin, 10% des personnes rencontrées (12) étaient absolument contre le clonage. Dans ce groupe, les interviewés changeaient très rarement leur avis sur le clonage après une discussion pour information technique.

Les points positifs du clonage sont : la possibilité de « copier » un cheval de haut niveau pour la reproduction, mais aussi pour le sport ; de prolonger la carrière reproductive d'un étalon ; de multiplier le nombre de poulains d'une femelle.

Les avis négatifs portaient surtout sur la reproduction « en série » d'un animal choisi, le risque de perte de valeur du rôle de l'éleveur dans la sélection génétique, de perte de la diversité en compétition, de la restriction de l'accès aux meilleurs chevaux aux éleveurs plus fortunés; et finalement, le doute sur la similarité de la qualité génétique entre le clone et le cheval d'origine ; et le fait que le clone peut être dépassé si la sélection évolue rapidement.

Les peurs : curieusement, la peur la plus reportée était celle de l'utilisation du clonage pour cloner des êtres humains ; la deuxième la plus fréquente concernait l'effet – encore inconnu - des mitochondries héritées de l'ovocyte sur le clone et sa descendance ; et ensuite la peur que les clones soient des animaux OGM. Initialement, il y avait aussi la peur que les clones soient infertiles, mais lorsque les premières naissances de descendants de clones ont été annoncées à partir de 2007, cette idée a perdu de l'importance.

Les espoirs : l'espoir de pouvoir reprendre l'élevage d'un cheval dès la naissance afin d'exploiter au mieux son potentiel, l'espoir de produire un cheval encore meilleur que l'original, l'espoir de voir (ou de posséder) des descendants de chevaux mythiques castrés.

L'endurance :

Dix éleveurs de chevaux d'endurance en France ont été contactés. Dans cette discipline, les préoccupations sont différentes. Les chevaux d'endurance sont en majorité de race arabe. Le sport est relativement récent, la première course civile a vu le jour en 1955 aux USA. Les éleveurs préfèrent des chevaux arabes parce que, dans le cas où le poulain n'est pas bon pour le sport, il a encore une valeur de marché grâce au fait qu'il soit de la race « arabe », bien appréciée par les cavaliers amateurs. Or, le studbook du cheval arabe interdit l'inscription de clones ou de ses descendants dans son livre de registres.

De ce fait, le premier aspect négatif lié au clonage pour les éleveurs de chevaux d'endurance est l'interdiction d'inscrire les clones ou leurs poulains dans le studbook arabe, engendrant une dépréciation du produit. En plus, le prix commercial du clonage est prohibitif pour les éleveurs d'endurance français puisque les chevaux n'atteignent que très rarement des valeurs aussi élevées. Certains des éleveurs ont aussi évoqué la peur de sortir « du schéma naturel de reproduction ».

Le fait de pouvoir utiliser la génétique d'un champion du monde castré pour améliorer l'élevage ne semble pas être un argument assez motivant pour l'ouverture de ces éleveurs au clonage. Ces éleveurs évoquent la rapide progression des performances dans ce sport comme un facteur négatif pour l'utilisation d'un clone dans la reproduction. Ils se questionnent sur la cohérence, dans un tel environnement, d'utiliser une génétique qui était excellente 10 à 20 ans auparavant.

- Au Brésil :

Notre premier contact au Brésil a été avec les éleveurs de chevaux Mangalarga Marchador. Cette race, développée localement depuis la fin du XIX siècle, compte environ 290.000 chevaux inscrits dans le livre de registres et les éleveurs sont adeptes des biotechnologies pour accélérer la sélection génétique. Cette quête d'amélioration d'une race via les biotechnologies est un des principaux facteurs qui placent le Brésil en deuxième place mondiale du nombre de transferts d'embryons équins comme nous pouvons observer dans le rapport de l'IETS (Thibier, 2008) et dans l'ANNEXE III (page 317).

Lors de l'entretien, contrairement aux éleveurs français, les éleveurs de Mangalarga Marchador n'étaient pas surpris par la possibilité de produire quelques clones d'un même animal. Bien au contraire, l'idée les fait rêver parce que cela permettrait de multiplier rapidement la production de descendants des meilleurs exemplaires de la race. Ils n'ont pas de recul sur la technologie et l'association est prête à accepter des clones et leurs produits dans le livre de registres. Le seul argument négatif est relatif au prix de la technique. Un des éleveurs s'est interrogé sur l'effet des mitochondries sur l'animal cloné. Les éleveurs se sont montrés très intéressés par la technologie et deux d'entre eux se disaient prêts à investir dans une compagnie de clonage si cela se faisait au Brésil.

Deuxièmement, nous nous sommes entretenus avec des éleveurs de saut d'obstacles. Les représentants de l'Association des éleveurs sont venus à l'entretien afin de savoir d'avantage sur la technique. Le studbook du cheval brésilien de sauts d'obstacles ne s'oppose pas à l'inscription de clones et de produits de clones.

Les éleveurs ont montré un espoir de produire des chevaux clonés encore meilleurs que les originaux tant au niveau sportif qu'au niveau sanitaire. Un éleveur a évoqué, par exemple, l'intérêt de produire le clone d'un cheval malade afin d'avoir un clone préservé de la maladie. Cet argument nous évoque l'amalgame entre clones et organismes génétiquement modifiés (OGM). Cependant, contrairement aux éleveurs français, dans ce pays cet amalgame serait perçu plutôt positivement.

Un vétérinaire, très attiré par cette biotechnologie, a précisé que quelques clients voyaient le clonage comme une façon de « jouer le rôle de Dieu ». D'après lui, ces éleveurs, clients potentiels pour le clonage car éleveurs professionnels, sont persuadés que la production d'un clone signifie la création d'une vie et le désir de se substituer à Dieu dans ce

processus. Cette information est importante puisqu'elle exprime l'*a priori* religieux pouvant être rencontré dans certains pays.

- En Argentine :

Nous avons visité la direction de l'association argentine des éleveurs de chevaux de saut d'obstacle et, séparément, les éleveurs de la discipline. Le directeur de l'association s'est montré concerné par l'impossibilité actuelle de distinguer la production du clone de celle du cheval original, ou encore, dans le cas des multiples clones d'un même animal, l'impossibilité de distinguer les descendants des différents clones. Cela est valable pour les clones mâles car ils ne transmettent pas les mitochondries, héritées par la voie femelle et seul moyen de distinguer un clone de son modèle. Il se souciait aussi de l'interdiction de toute participation de clones aux concours officiels (de la FEI) et de la position non clarifiée de la FEI concernant les descendants de clones. A l'issue de cette réunion, il a déclaré que l'association pourrait ouvrir le droit aux clones et aux descendants dans un « registre provisoire » du studbook, en attendant l'évolution de la position de la FEI et d'autres associations d'éleveurs traditionnelles. En juillet 2012, la FEI a officiellement autorisé la participation de clones et de descendants de clone aux concours officiels. En 2013 l'association argentine AAFE a institué que le test d'ADN mitochondrial serait une exigence supplémentaire d'identification des clones pour autoriser leur utilisation dans les systèmes d'élevage des éleveurs de ce studbook.

Les éleveurs rencontrés étaient curieux de la technologie et prêts à utiliser la semence d'étalons clonés à condition de pouvoir enregistrer les produits dans le studbook argentin. Cette disposition à utiliser la semence d'un étalon cloné était plus liée à la possibilité de produire un descendant d'un cheval mythique qu'à un réel souci d'amélioration génétique. Un des éleveurs était intéressé par l'effet des mitochondries. Un autre a mentionné l'aspect religieux « jouer le rôle de Dieu » sans pour autant critiquer la technologie. Au contraire, il s'est dit enchanté par le progrès technologique.

- En Belgique :

Le plus gros client de l'entreprise d'accueil est hollandais et son élevage est basé en Belgique. Le pays se caractérise par une importante concentration de grands éleveurs et de grands cavaliers internationaux de chevaux de saut d'obstacle. Nous avons été dans ce pays lors d'un championnat international de jeunes chevaux. A cette occasion nous avons pu parler avec des éleveurs et cavaliers belges, hollandais, français, suisse et brésilien

(Tableau 6). La population entendue s'est montrée curieuse et enthousiaste, sans recul par rapport à la technologie.

- Aux Emirats Arabes Unis (UAE) :

Aux UAE, il est difficile d'avoir accès aux scheiks éleveurs en direct. En général, nous rencontrons le vétérinaire, le technicien, le manager de l'écurie ou encore un conseiller personnel. Ces personnes traitent et filtrent l'information puis la transmettent aux cheiks. Suite aux visites, il peut y avoir des échanges d'e-mail pour plus d'information. Il y existe peu d'éleveurs mais ceux-ci ont une capacité d'élevage et une passion considérable par le cheval. La culture y est très différente par rapport à l'Occident.

Le premier trait marquant est le devoir de fidélité des employés envers le cheik qui les emploie. Deuxièmement, la méfiance des gens, ce que les amène à vouloir tout produire chez eux afin d'éviter les tromperies. De plus, la structure appartenant à un cheik ne reçoit aucun cheval de l'extérieur, sauf avec l'autorisation de ce dernier. Les visites ne sont possibles que sous accord préalable. Les élevages sont, dans certains cas, surveillés par des militaires armés.

Concernant le clonage, différentes positions ont été observées. Il est sûr que la religion peut officiellement représenter un frein, ce qui mène à un double discours. Une cavalière et chef de centre d'un cheik a expliqué que son employeur et sa famille voyaient le cheval comme un être sacré et unique qui ne peut pas être cloné. Cependant, six mois plus tard, nous avons su qu'une jument appartenant au frère de ce cheik avait été clonée secrètement au Canada.

Ce double discours génère une situation où le secret sur le clonage devient primordial pour le succès de toute négociation. Ceci est une des raisons pour lesquelles les intéressés demandent toujours une production à domicile. Ils seraient prêts à investir le nécessaire pour cela. Comme le rendement du clonage ne permet pas encore d'envisager la production en l'absence d'un abattoir à proximité pour se fournir en ovocytes, il est pour l'instant difficile d'envisager une production sur place. Ce fait freine le commerce du clonage aux UAE. Les seuls clones produits pour ces clients doivent être produits en toute discrétion.

Le représentant d'un autre éleveur a présenté peu d'intérêt par le clonage. D'après lui, son patron avait investi beaucoup sur quelques animaux auparavant et était déçu de leur

qualité. Depuis, sa stratégie est d'investir des sommes moins importantes par cheval, tout en achetant plus d'animaux afin d'augmenter ses chances d'avoir quelques animaux de très bonne qualité.

Un autre éleveur serait très attiré par le clonage mais son frein quant à l'utilisation de la technologie est l'interdiction des clones dans les courses. Finalement, un frein important pour la technologie dans ces pays est le caractère de long terme du clonage. Les consommateurs dans ces pays cherchent des investissements dont le résultat peut être observé à court terme.

Dans certains cas, les interlocuteurs rencontrés sur place n'ont pas été les plus adéquats pour une discussion concernant cette technologie car l'élevage est délocalisé dans d'autres pays tels que la France ou encore l'Argentine grâce aux bonnes conditions des pâtures et aux faibles prix de production (cas de l'Argentine).

Suite à cette collecte d'opinions auprès du public de différents pays, une comparaison de l'opinion des éleveurs, vétérinaires, cavaliers et techniciens rencontrés a été résumée dans le Tableau 6.

Tableau 6: Perception du clonage équin selon le pays.

Question	Argentine	Brésil	Belgique	France	UAE
Influence de l'opinion religieuse ?	Peut être	Peut être	Non	Non	Peut être
Production en série d'un animal, est-ce un problème ?	Non	Non	Peut être	Oui	Non
Peur de l'utilisation du clonage pour l'homme ?	Non	Peut être	Oui	Oui	Non
Adoption dans l'objectif d'une amélioration génétique ?	Peut être	Peut être	Oui	Oui	Peut être
Rêve de reproduire un animal connu ?	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Souci du prix ?	Oui	Oui	Peut être	Oui	Peut être
Souci du retour sur l'investissement ?	Non	Non	Peut être	Oui	Peut être
Peur de maladies éventuellement causées par la technologie ?	Peut être	Peut être	Peut être	Oui	Non
Peur du vieillissement précoce des clones ?	Peut être	Peut être	Peut être	Peut être	Peut être
Désir de la répétition de la performance du donneur ?	Oui	Oui	Peut être	Non	Oui
Peur de l'effet des mitochondries sur le clone et descendants ?	Peut être	Peut être	Peut être	Oui	Non
Désir de communication sur l'adoption (ex. : annoncer les naissances de clones) ?	Oui	Oui	Peut être	Oui	Non
Attente de l'autorisation officielle (FEI, studbooks) ?	Peut être	Non	Non	Oui	Peut être
Peur de sortir du schéma naturel de reproduction ?	Non	Non	Non	Oui	Non
Amalgame positif avec les OGM ?	Oui	Oui	Peut être	Non	Peut être
Amalgame négatif avec les OGM ?	Non	Non	Peut être	Oui	Non

Cette liste n'est pas exhaustive. D'autres pays, importants dans l'élevage et/ou le sport équestre, comme les EUA, les Pays Bas, l'Allemagne, l'Australie, la Nouvelle Zélande, l'Espagne et le Portugal n'ont pas été inclus dans ces données. Malgré plusieurs contacts avec certains de ces pays, le nombre et le contenu des interviews ont été insuffisants pour dresser un tel tableau.

Toutefois, les interviews ont permis de comprendre que **différentes cultures peuvent imprimer une perception différente de cette technologie. Les attentes et les peurs sont variables selon la culture.** Par conséquent, l'acceptation individuelle peut dépendre aussi d'une acceptation plus large au sein de la société. Suite à cette introduction aux principes culturels de l'acceptation, nous avons étendu la recherche au positionnement des associations d'éleveurs quant à l'autorisation d'une telle technologie dans leur réglementation. Cette recherche a été réalisée surtout à l'aide d'internet en analysant l'actualité des associations d'éleveurs de chevaux, leurs règlements et aussi par des demandes d'information réalisées par email en 2011. Le Tableau 7 dresse la position des principales associations.

Tableau 7: Position officielle des associations d'éleveurs concernant le clonage.

Association	Nombre de chevaux	Position officielle des associations concernant l'autorisation de clones et des descendants				Dernière décision
		Non	Oui	Attente	Compétition	
AAFE*				X		2011
AAPolo*				X		2011
ABCCMM	~290.000b		X			2012
AES			X			2008
APFH (Paso Fino)		X				2010
APSL (Lusitan)*		X				2010
AQHA	3.025.994a	X				2009
Continental studbook			X			2009
FEDEQUINAS (CCC)			X			2012
Hannover verbander*		X				-
Holsteiner verbander*		X				-
IFHA(PS)		X				2012
KWPN				X		2011
NZSH				X		2011
ABBCH (BH)*	~18.000		X			2012
SF*				X		-
Studbook du Poney Français de selle		X				2011
Trotteur français		X				2008
WAHO		X				2011
Zangersheide			X			2003
FEI**	240.343				X	2012
NCHA**					X	2009
WBFSH**			X			2007

Sources : American Holsteiner Horse Association Inc, 2008 ; ACA, 2012 ; APFH, 2010 ; AQHA, 2011 ; FEDEQUINAS, 2012 ; IFHA, 2012; SBBCH, 2012; SPFS, 2011; WAHO, 2011 et communications personnelles.

* ces studbooks ne mentionnent pas le clonage dans leurs textes, ce qui exclut momentanément les clones de leurs livres de registre. Les interviews ont permis de déterminer si cette absence signifiait une interdiction officielle ou plutôt une interdiction temporaire en attente des premiers résultats et des discussions au sein de l'association.

** Institutions régulatrices du sport équestre international. Ce ne sont pas des studbooks en soi. La WBFSH donne des orientations aux studbooks. La FEI régule le sport officiel au niveau international (jumping, dressage, attelage, endurance vaulting et récemment les sports western). Le nombre de chevaux inscrits à la FEI, correspond au nombre total de chevaux participant aux compétitions des disciplines gérées par cette institution.

Il est très difficile de connaître le nombre exact de chevaux de chaque race (inscrits et vivants dans chaque studbook) afin de pouvoir calculer le poids de chaque association sur l'industrie du cheval. Les associations ont été contactées mais la plupart n'a pas été capable de nous fournir cette information.

Nous avons observé que les associations récemment impliquées dans l'amélioration génétique, ou la formation d'une race (depuis le XIX^{ème} siècle) sont plus ouvertes à la technologie du clonage en tant qu'outil permettant une accélération de cette amélioration génétique. C'est le cas des studbooks latino-américains ou des studbooks de sport plus récents en Amérique ou en Europe. Les studbooks plus traditionnels, dont le processus d'amélioration a démarré plusieurs siècles auparavant, ont une culture plus conservatrice en ce qui concerne l'introduction de nouvelles technologies et n'acceptent pas encore le clonage comme une technique de reproduction.

1.2.2.5. Un développement restreint et fragile

Les technologies récentes tendent à s'orienter vers des niches de marché. La niche d'intérêt génétique pour le clonage équin concerne les mâles castrés. Dans le système traditionnel d'élevage, les jeunes mâles passent des épreuves d'approbation d'étalons à l'âge de trois ans. A ce moment, ils sont encore en phase de croissance et commencent juste le débouillage et les premiers parcours sportifs. Ce jugement est basé sur la morphologie, les allures et les gestes spécifiques à chaque discipline. Les mâles non approuvés sont castrés pour poursuivre une carrière sportive. Or, il s'avère que les chevaux castrés peuvent devenir d'excellents performeurs. Ils représentent même plus de 60% de la population de mâles dans la discipline du jumping et s'approchent de 100% dans l'endurance.

Certains indices génétiques ont été mis en place pour aider la sélection génétique de chevaux de saut d'obstacle (ex. : Indice Sur Performance (ISO), Bilan Linéaire Universel Prévisionnel (BLUP)). Ces indices calculent le potentiel génétique d'un cheval en prenant en compte ses ascendants, sa propre performance et celle de ses descendants. Ces indices mettent en évidence l'importance de la performance propre comme paramètre de sélection génétique.

Ricard (2002) a démontré que le clonage des meilleurs performeurs hongres pour ensuite les utiliser en reproduction peut apporter un gain génétique 10% supérieur au schéma

traditionnel d'amélioration si la population de hongres représente plus de 60% des mâles performeurs dans une discipline.

Le clonage peut donc être perçu comme un outil pour le recouvrement de la fertilité par la production d'une copie fertile et un outil pour l'amélioration génétique à travers le clonage des meilleurs exemplaires pour leur exploitation en reproduction par la suite. Il ne s'agit pas d'une biotechnologie destinée à être employée massivement dans l'élevage.

Cette caractéristique différencie le clonage d'autres technologies de la reproduction, sachant que l'Insémination artificielle (IA) est destinée aux reproducteurs en général et que le transfert embryonnaire (TE) est destiné à des reproducteurs de milieu et haut de gamme et aux juments présentant certains types de subfertilité. Le clonage équin est la première biotechnologie développée pour atteindre une niche de marché plus étroite (seulement les chevaux de la tranche supérieure de l'élite génétique).

Cette élite est représentée par une petite partie du produit de l'élevage. Selon une étude des Haras Nationaux (HN, 2008), seulement 2% des poulains produits chaque année pour le sport participent aux épreuves professionnelles au niveau national. De ceux-là, seulement une partie, non définie, participe aux épreuves au plus haut niveau national et international. Or, si le clonage doit être utilisé sur les meilleurs hongres performeurs, nous pouvons déduire que le marché potentiel du clonage doit représenter une sous-population comprise dans cette élite de 2% des performeurs au niveau national. Cette caractéristique restreint le marché potentiel qui n'est, pour sa part, pas extensible à l'infini.

Toute étude sur la demande est actuellement difficile à réaliser. Cela rend difficile de prédire l'avenir industriel du clonage par ce biais. Nous avons proposé une analyse de l'état actuel du marché en vue de proposer des scénarios possibles pour l'avenir à moyen terme (5 - 10 ans).

Dans un contexte de faible nombre de commandes, de faible expectative de rentabilisation immédiate des clones produits, d'introduction de nouveaux acteurs dans le marché et de forte concurrence par le prix, nous nous sommes interrogés sur les variations des prix du clonage (Figure 7).



Figure 7 : Variation du prix du clonage.

Légende : CZT : Cryozootech (acteur 3) ; VGN : Viagen (acteur 4) ; BSS : Biosidus (Acteur 5)

Lorsqu'il n'existait qu'un seul acteur commercial (2003 à 2005), le clonage était dans une situation de *quasi-monopole* et le prix commercial restait stable et très élevé (Figure 7). En 2006, l'arrivée du deuxième acteur commercial a marqué le début de la concurrence, générant une réduction d'environ 40% sur le prix pratiqué auparavant. Finalement, l'arrivée d'un troisième acteur commercial en 2010 aboutira à une nouvelle réduction du prix moyen du clonage (-10%).

En 7 ans, les prix ont baissé de 50% en moyenne sans pour autant que la technologie ait progressé autant. Cela s'explique principalement par l'arrivée de nouveaux concurrents provenant de pays où le coût de production est plus faible. Le marché restreint, l'inexistence d'indices de mesure de la qualité de production et la mondialisation de l'industrie du cheval génèrent une concurrence par le prix.

La baisse des prix observée en 2006 a marqué une légère augmentation du nombre de clones produits. Cependant, dans la situation actuelle il est impossible d'établir l'élasticité de la demande. Les informations recueillies sur l'ensemble des aspects ont permis de dresser 4 scénarios probables pour les 5 à 10 prochaines années (Figure 8). Les scénarios sont basés sur les évolutions possibles du rendement de la technologie, des coûts de production et de l'acceptation du clonage par les éleveurs et les institutions qui régulent les sports équestres et l'élevage telles que la FEI et les studbooks. Les scénarios proposés

reflètent notre compréhension actuelle de la situation et de notre capacité à projeter cette activité dans l'avenir.

Scénario 1: Optimiste	Scénario 2: Continuum	Scénario 3: Pessimiste	Scénario 4: Faux - Optimiste
<p>Le rendement moyen de la technique est amélioré de 0,16% à 0,4% (meilleur résultat disponible dans la littérature) voire 1%;</p> <p>Les studbooks acceptent l'inscription de poulains de clones;</p> <p>La FEI prend une décision positive quant à la participation de poulains de clones à des compétitions officielles;</p> <p>L'AQHA prend une décision positive quant à l'inscription de clones dans son studbook et à la participation de poulains de clones à des compétitions officielles;</p> <p>Le coût de la technique est réduit de 60%;</p> <p>Cet environnement d'amélioration technique, associé à la baisse des prix et à l'acceptation de la technologie par les associations des éleveurs génère une acceptation de la technologie dans les pays occidentaux;</p> <p>Ce même environnement permet une ouverture réelle des marchés des pays en développement tels que le Brésil, l'Argentine ou la Chine;</p> <p>Les descendants de clones se multiplient rapidement;</p> <p>Le nombre de concurrents reste limité, lié à la faible disponibilité de main d'œuvre et au nombre limité d'abattoirs de chevaux;</p> <p>La concurrence se limite à 2-3 concurrents par continent</p>	<p>Le rendement moyen de la technique reste stable à 0,16%;</p> <p>Les studbooks restent indécis quant à l'inscription de poulains de clones;</p> <p>La FEI prend une décision positive en relation à la participation de poulains de clones à des compétitions officielles;</p> <p>L'AQHA reste opposée à l'inscription de clones dans son studbook et à la participation de poulains de clones à des compétitions officielles;</p> <p>Le coût de la technique reste stable;</p> <p>Les éleveurs des pays occidentaux restent réticents quant à l'utilité de la technologie;</p> <p>Les éleveurs des pays en développement, tels que le Brésil, l'Argentine ou la Chine suivent les éleveurs occidentaux;</p> <p>Le nombre de descendants de clones reste faible et se noie dans l'élevage;</p> <p>Le nombre de concurrents reste limité, lié à la faible disponibilité de main d'œuvre et au nombre limité d'abattoirs de chevaux;</p> <p>La concurrence se limite à 1-2 concurrents par continent</p>	<p>Le rendement moyen de la technique reste stable à 0,16%;</p> <p>Les studbooks bloquent définitivement l'inscription de poulains de clones même si la FEI prend une décision positive quant à la participation de poulains de clones à des compétitions officielles;</p> <p>L'AQHA reste opposée à l'inscription de clones dans son studbook et à la participation de poulains de clones à des compétitions officielles;</p> <p>Le coût de la technique reste stable;</p> <p>Les éleveurs des pays occidentaux s'opposent à la technologie</p> <p>Les éleveurs des pays en développement suivent les éleveurs occidentaux</p> <p>Le nombre de descendants de clones reste faible, voire inexistant;</p> <p>Le nombre de concurrents reste limité, lié à la faible disponibilité de main d'œuvre, au nombre limité d'abattoirs de chevaux et au faible rendement de la technique</p> <p>Les acteurs commerciaux disparaissent du marché</p>	<p>Le rendement moyen de la technique est amélioré de 0,16% à 0,4% (meilleur résultat disponible dans la littérature) voire 1%;</p> <p>Les studbooks acceptent l'inscription de poulains de clones;</p> <p>La FEI prend une décision positive quant à la participation de poulains de clones à des compétitions officielles;</p> <p>L'AQHA prend une décision positive quant à l'inscription de clones dans son studbook et à la participation de poulains de clones à des compétitions officielles;</p> <p>Le coût de la technique est réduit de 60%</p> <p>Cet environnement d'amélioration technique, associé à la baisse des prix et à l'acceptation de la technologie par les associations des éleveurs génère une acceptation de la technologie dans les pays occidentaux</p> <p>Le nombre de descendants de clones se multiplie rapidement</p> <p>Ce même environnement permet une ouverture réelle des marchés des pays en développement tels que le Brésil, l'Argentine ou la Chine</p> <p>La concurrence augmente exponentiellement grâce à un accès plus facile à la technologie par les vétérinaires et à la possibilité de réaliser le clonage à partir d'ovocytes récoltés sur des juments vivantes</p>

Figure 8 : Quatre scénarios pour l'avenir du clonage équin commercial.

Par la suite, nous avons dressé une analyse des atouts, faiblesses, opportunités et menaces (AFOM) des différents scénarios proposés (Figure 9).

SCENARIO	ATOUTS	FAIBLAISES	OPPORTUNITES	MENACES
Optimiste	Amélioration de la technique; Réduction des coûts;	Dépendant de décisions externes;	Extension du marché traditionnel; Ouverture de nouveaux marchés	Augmentation de la concurrence; Les décisions politiques des associations;
Continuum	Environnement connu; L'omission des associations permet l'existence	Nombre très réduit de clients; Prolongement du délai pour démontrer les résultats; Coûts de commercialisation élevés; Manque de moyens : développement technologique ralenti	Nombre réduit de concurrents; Développement d'un marché de niche	Demande insuffisante pour générer un franc développement; Réticence des associations peut ralentir toute extension de marché
Pessimiste	Seuls les mieux établis résistent	Restriction du nombre de clients; Les acteurs n'ont pas de force de dialogue avec les éleveurs	Un acteur bien établi peut s'approprier d'une grande partie du marché (quasi inexistant); Le manque de concurrence permet d'établir de prix à la hausse	Les rares clients dictent les règles; Des lobbies peuvent réussir à régler la prohibition Fin de marché
Faux-optimiste	Amélioration de la technologie ; Réduction des coûts;	Dépendant de décisions externes; Réduction importante des marges; Maintien des coûts d'investissement	Extension du marché traditionnel; Ouverture de nouveaux marchés;	L'augmentation exponentielle de la concurrence rend difficile la prise de parts de marché; La survie des acteurs est très difficile

Figure 9: Analyse AFOM des quatre scénarios pour le clonage équin.

Trois facteurs fondamentaux pour le développement du marché du clonage ressortent de cette analyse :

- 1) Les facteurs externes ont une influence aussi importante, voire plus importante, que les facteurs internes et techniques. Ils vont imprimer la vitesse de démonstration des résultats de l'utilisation de la technologie. Des facteurs externes tels que l'acceptation par les studbooks peuvent retarder ou éviter l'adoption de la technologie par les « followers » et le passage du stade d'introduction au stade de popularisation de la technologie ;
- 2) Comme toutes les autres biotechnologies développées dans l'espèce équine, la démonstration de résultats est le principal facteur qui contribue à lever les véto de la part des studbooks. Or, une mini-étude réalisée pour comprendre le processus de

développement des biotechnologies dans l'espèce équine (Annexe III, page 317) a montré que le processus de démonstration de résultats dans cette espèce est long et coûteux. Dans les cas de l'IA et du TE, cette période de démonstration a duré 30 et 15 ans respectivement. Cette durée était liée au temps nécessaire pour mettre la technique au point et pour l'arrivée des premiers exemplaires à l'âge adulte. Comme l'objectif principal du clonage est celui de produire des descendants de clones pour le sport, cette période de démonstration peut s'étendre jusqu'à l'arrivée des premiers descendants de clones en âge de compétition. Ce fait peut provoquer un prolongement d'au moins 5 à 10 ans de la période de démonstration de résultats. Par ailleurs, le modèle de développement du clonage est différent des autres biotechnologies. Lors de l'IA et du TE, l'Etat est le garant du développement en investissant dans l'apprentissage et dans la structure nécessaire pour démontrer les résultats. Actuellement, les Etats se sont éloignés du développement des biotechnologies et le clonage dépend d'une forte teneur d'investissements privés. Il est alors nécessaire de savoir bien gérer la période de « désenchantement » qui suit l'enthousiasme initial des pionniers afin de maintenir l'apport de financements privés nécessaires pour soutenir son développement et fournir les premiers résultats.

3) Le clonage représente l'espoir le plus récent de relancer la croissance des centres de reproduction, actuellement dans un marasme technico-commercial de routinisation de biotechnologies bien stabilisées, voire mures, et en très forte concurrence. Même si la technologie semble encore intouchable pour la plupart des professionnels dans le domaine de la reproduction, nous ne manquons pas d'apercevoir dans certains cas le sentiment que la technologie offrait une opportunité pour améliorer leur chiffre d'affaires et de se différencier dans un marché plutôt saturé. Or, cette situation facilite l'apparition de concurrents se servant d'une concurrence par les prix, même si, parfois, nous observons une méconnaissance totale des coûts de production (exemple de l'acteur brésilien récemment entré dans le marché). Suite à toutes nos analyses, nous pouvons confirmer que le marché du clonage n'est pas extensible à l'infini et qu'une dynamique d'introduction rapide de concurrents peut amener à une saturation rapide du marché.

Dans l'objectif d'estimer le temps nécessaire pour montrer les résultats et populariser le clonage, nous avons rassemblé les informations obtenues pour identifier le cycle de vie espéré de la technologie dans les prochaines années. Il est nécessaire de souligner que, dû au petit nombre de concurrents et surtout au petit nombre de clones déjà réalisé, cet exercice reste empirique.

Nous avons proposé une adaptation de la courbe de tendance de développement des technologies émergentes, proposée par l'entreprise de conseil Gartner, en 2009. Pour cela nous avons élaboré une première courbe pour les premières régions à produire et à commercialiser des clones (Europe / USA), et une deuxième courbe pour les pays émergents d'Amérique du Sud. Ce choix se justifie par les différences de marché qui impriment des différences sur le modèle, et le temps nécessaire pour le développement de biotechnologies dans ces deux régions (Annexe III, page 317). Chaque courbe empirique a été déclinée en trois possibilités : optimiste, moyenne et pessimiste. Dans la courbe optimiste, nous imaginons une vraie reprise de la consommation suite à la phase de désenchantement. La courbe moyenne, envisage une continuation de l'activité, sans pour autant augmenter sensiblement la production annuelle de clones. Et finalement, la courbe pessimiste où l'arrêt de l'activité serait à prévoir (Figure 10).

Chaque phase du développement a été désignée par un numéro (1 à 5) et ensuite la durée de chacune a été estimée. La durée de la phase 1 (lancement) a été définie à partir d'informations obtenues lors des entretiens avec les producteurs, elle inclut le temps nécessaire entre le début des recherches spécifiques au clonage et la première naissance d'un clone. La phase 2 (croissance intense), dont la durée a aussi été déterminée à partir d'observations des acteurs, correspond à l'association de l'effort initial des acteurs pour vendre leur technologie avec l'intérêt initial des pionniers. Dans le cas du clonage, elle n'est pas totalement distincte de la phase 1 parce que cette technologie a été fondamentalement développée avec le financement privé apporté par les premiers enthousiastes. Cependant, nous avons observé que cette phase a dépassé de 1 à 2 ans la durée de la première.

Si nous avons pu calculer aisément la durée des phases 1 et 2, ce n'est pas le cas pour les phases suivantes. En effet, la technologie est dans un état trop précoce de développement commercial pour que nous puissions retrouver des données exploitables concernant les phases suivantes.

Pour cette raison, trois courbes prévisionnelles sont proposées en considérant les informations obtenues tout au long de ce travail. La phase 3 (de désenchantement) a été définie comme étant le temps nécessaire pour prouver l'intérêt de la technologie, du point de vue des éleveurs. En effet, après les interviews avec les éleveurs, nous avons pu établir que la valeur de la technologie sera évaluée lorsque les descendants de clones auront fait

leur preuve dans le sport et ou en reproduction. Ce temps peut être différent selon les régions (Europe/USA vs Amérique du Sud) et les systèmes d'exploitation des chevaux (reproduction et discipline équestre). Par exemple, en Amérique du Sud l'exploitation de chevaux en reproduction peut commencer très précocement, contrairement aux systèmes d'élevage européens.

La phase 4 (reprise de croissance) est aussi dépendante du modèle d'exploitation de chaque région. Lors de la maturité technologique (phase 5), nous avons estimé que, dans le cas d'une évolution optimiste, l'utilisation du clonage par les sud-américains dépasserait son utilisation par les pays développés, et surtout les pays européens. Cette estimation est aussi une extrapolation des observations sur le développement des autres biotechnologies (IA et TE) (Annexe III, page 317). Ces pays sont actuellement plus demandeurs de biotechnologies que les pays Européens. Nous ne sommes pas capables de prévoir la durée de la phase de maturité.

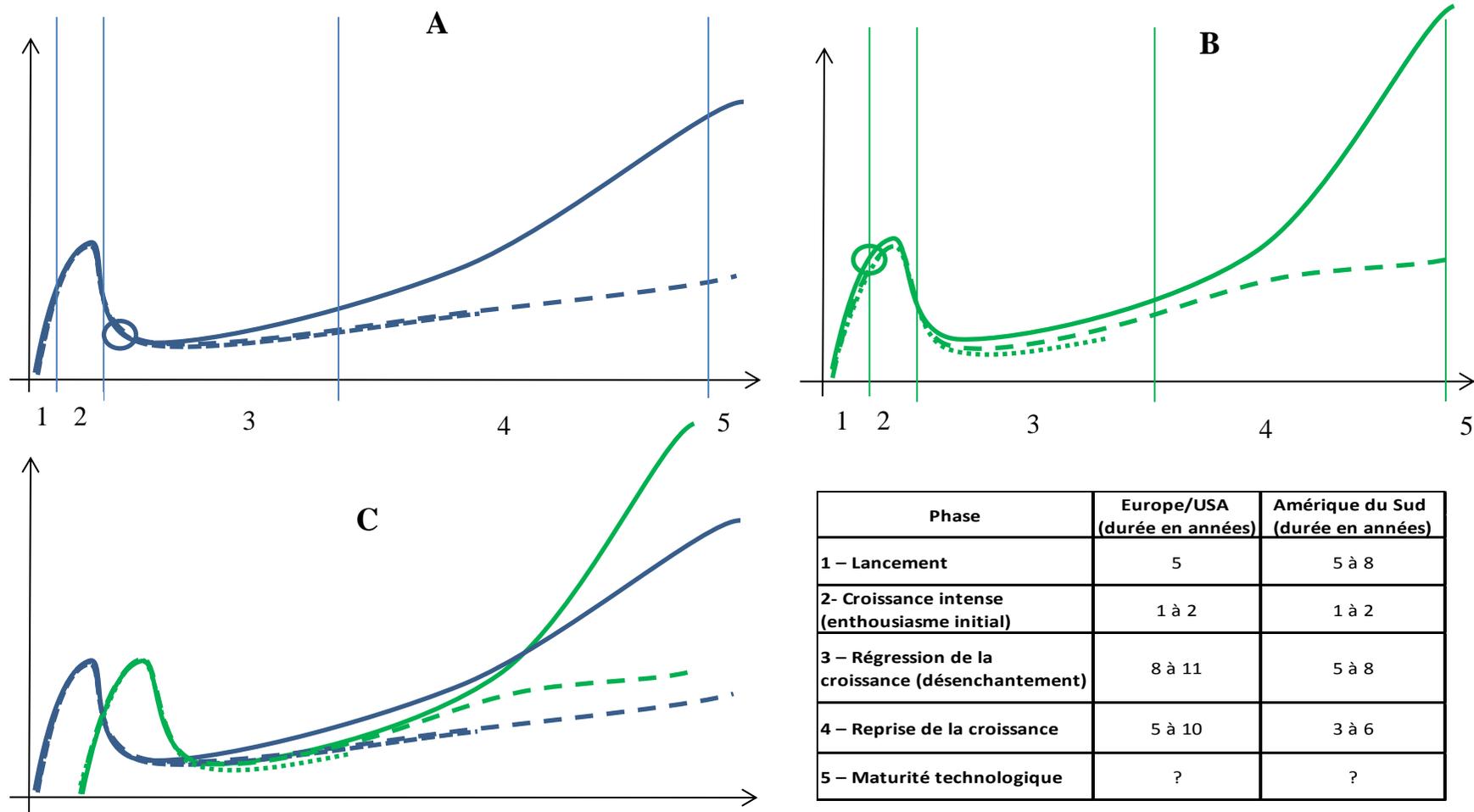


Figure 10: Courbes prévisionnelles empiriques du développement du clonage.

A) Bleu : Europe/USA ; B) Vert : Amérique du Sud ; C) superposition des courbes A et B. Trait plein : optimiste ; Trait interrompu : intermédiaire ; Trait pointillé : pessimiste.

Nous considérons que l'axe Europe/USA se trouve dans la phase de désenchantement (phase 2), puisque les éleveurs sont dans l'attente d'observer les descendants de clones, encore trop jeunes pour être évalués dans le sport. L'axe Amérique du Sud se trouve en fin de première phase, puisque deux acteurs se sont récemment développés dans le continent.

A ce stade de l'étude, il est nécessaire de mentionner la Chine. Nous ne l'avons pas considérée lors de la construction de nos courbes parce que le clonage de chevaux n'est pas encore présent dans ce pays. Nous avons interviewé des membres du gouvernement chinois, chargés du développement du marché du cheval dans ce pays et nous avons constaté une situation particulière. Le pays compte une population d'équidés importante. Cartier (2000) comptait environ 26 millions d'équidés sur le sol chinois, dont la moitié de chevaux. Cependant, ce sont des chevaux presque à l'état sauvage. Depuis les Jeux Olympiques de Pékin de 2008 la population chinoise a commencé à s'intéresser à l'équitation et le gouvernement chinois a commencé à travailler pour développer une race de chevaux de loisir.

D'après un représentant interviewé, l'objectif initial n'est pas celui de produire des champions mais de fournir à la population une quantité importante de chevaux pour l'équitation basique (les promenades et le sport amateur) et surtout, de former les locaux à l'équitation et aux techniques d'élevage.

Le raisonnement du gouvernement chinois est celui de croiser les juments indigènes avec des étalons importés pour augmenter la taille des chevaux chinois, tout en gardant le sang « chinois » dans la race développée. Parallèlement à l'importation d'étalons, il y a aussi l'importation de quelques animaux adultes, pas forcément étalons, pour répondre à la demande dans l'immédiat. Les interlocuteurs interviewés ne voient pas le clonage comme la voie pour réaliser leur projet initial.

D'après notre interlocuteur, l'introduction du clonage dans le pays devrait se faire lorsque celui-ci aura des cavaliers professionnels et par conséquent, un marché pour la génétique de haut de gamme. Si la Chine reste dans cette voie de raisonnement, il y aura une possibilité d'ouverture du marché pour le clonage dans environ 5 à 10 ans. Cependant, si des investisseurs privés chinois se montrent attirés par la technique, le marché peut se développer dans les 2 ans à venir, étant donné qu'il existe déjà quelques cavaliers professionnels occidentaux installés en Chine. Ce marché est tellement inconnu pour le

moment qu'il n'est pas possible de proposer une courbe de développement du clonage pour la Chine.

Certains pays du Proche et Moyen Orient, tels que l'Égypte, les Emirats Arabes Unis ou l'Arabie Saoudite, représentent une zone géographique d'intérêt pour les acteurs du clonage grâce à leur important pouvoir d'achat et la passion pour les chevaux. Le fait que ces pays ne possèdent pas de laboratoire producteur de clones contribue à freiner l'intérêt des clients locaux. Cependant, ils ont été démarchés simultanément aux éleveurs Européens et aux Américains, les premiers clones ont déjà été produits, et donc, l'enthousiasme d'être le premier à avoir un clone dans le pays est déjà estompé.

Ces pays se trouvent donc actuellement dans la phase de désenchantement, comme l'Europe. Par ailleurs, l'optique de ces pays est d'acheter les chevaux gagnants et pas forcément de réaliser de l'élevage. A partir de la phase 4 de la courbe de tendance de développement, il est possible que ces pays empruntent la courbe pessimiste et que la demande de clones y soit inexistante ou presque.

I.2.3. Un impact mitigé des technologies récentes sur l'industrie du vivant

Suite à l'identification des facteurs techniques et socio-culturels déterminants pour l'introduction d'une nouvelle technologie dans le domaine du vivant, nous nous sommes intéressés à l'impact de ces technologies dans la filière pendant les 10 premières années de développement.

Nous observons un certain nombre d'entreprises innovantes. Sur certains domaines, il existe un grand intérêt du capital risque (ex. : biotechnologies destinées au développement de molécules pour l'industrie pharmaceutique) et plusieurs aides publiques (subventions, etc.). Cependant, nous avons observé en général un faible développement commercial. Cette situation s'explique par l'ensemble de constats réalisés auparavant : difficultés techniques, de commercialisation, difficultés des entreprises à se différencier, l'influence culturelle sur l'adoption d'une technologie, une difficulté des acteurs techniques à cerner le caractère singulier du produit, les cycles longs et incertains de production et de conception et de démonstration de la valeur.

Nous avons alors voulu comprendre l'impact commercial du clonage sur la filière équine à travers la simple observation du marché et de sa concordance avec le marché théorique initial (à savoir, des chevaux mâles castrés et appartenant à la tranche supérieure de l'élite génétique).

La première naissance d'un clone (premier aboutissement de la mise au point technologique) a eu lieu en 2003, cinq ans après le début des expérimentations de conception technologique. Malgré une légère augmentation des naissances depuis 2006, le nombre de lignées clonées annuellement dans le monde est resté très faible (Figure 11). Cette augmentation a pu s'expliquer par l'entrée sur le marché d'un nouvel acteur dont l'activité est la production commerciale de clones.

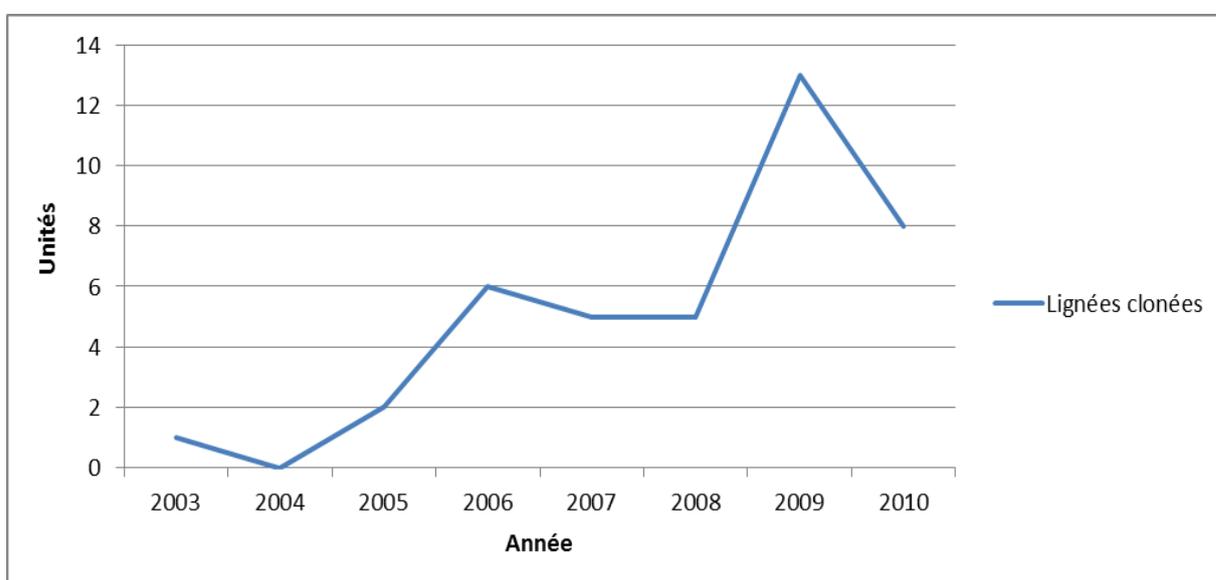


Figure 11: Production mondiale de clones entre 2003 et 2010.

Source : Reis & Palmer (2010).

Afin de vérifier la concordance entre le marché réel et le marché proposé par les initiateurs de la technologie, nous avons établi les raisons pour lesquelles la technologie a été adoptée. Seulement un des clones équins a été produit avec pour seul objectif la recherche. La majorité a été produite pour prolonger la vie reproductive et/ou sportive d'un cheval et 2 éleveurs l'ont fait avec l'intention de remplacer un cheval mort.

Nous avons aussi exploité les questions liées à l'emploi de la technologie. Les initiateurs n'avaient pas fixé un objectif sur le nombre de chevaux clonés par an, l'objectif principal

étant celui d'accomplir la production. Cependant, ils avaient envisagé une utilisation prioritairement dédiée aux hongres performeurs de haut niveau et que ces clones devraient être utilisés en élevage en tant qu'étalons.

L'investigation a permis d'établir que les hongres ne sont pas les seuls animaux clonés et que les différences culturelles semblent pouvoir influencer sur le sexe du cheval à cloner. En effet, aux EUA, les femelles représentaient 45% (n= 11) de chevaux clonés alors qu'en Europe le clonage est équilibré entre étalons, juments et hongres (Reis & Palmer, 2010). Par ailleurs, des 6 hongres clonés en Europe, 3 l'ont été fait pour le compte d'un entrepreneur initiateur de la technologie. Le nombre de chevaux clonés à ce stade (n=40) était insuffisant pour réaliser une analyse statistique concluante sur ces préférences. Mais l'analyse permet d'établir que les consommateurs voient aussi l'intérêt de cloner de femelles et des étalons, qui n'étaient pas spécialement concernés par le modèle initial de développement. Ceci montre que le marché peut nous apprendre sur le potentiel des nouvelles technologies. Il est nécessaire de l'écouter et d'absorber les informations afin de s'en adapter et d'améliorer son potentiel de progression commerciale.

En 2010, il a été réalisé une analyse de l'utilisation de clones pour l'élevage, objectif premier de la technologie. L'utilisation de ces animaux dans les systèmes de reproduction reste pour le moment très marginale (Figure 12). Les principales raisons identifiées pour ce constat ont été l'interdiction d'inscription des descendants de clones dans la plupart des studbooks, le scepticisme des éleveurs quant à la capacité des clones à transmettre les bonnes caractéristiques (surtout dans le cas de clones de hongres – dont les capacités en tant que reproducteur n'avaient pas été testées avant par le donneur de cellules) et l'effet mode (le clone d'un cheval à la mode peut être plus facilement intégrable dans l'élevage que celui d'un cheval dont les performances sont lointaines).

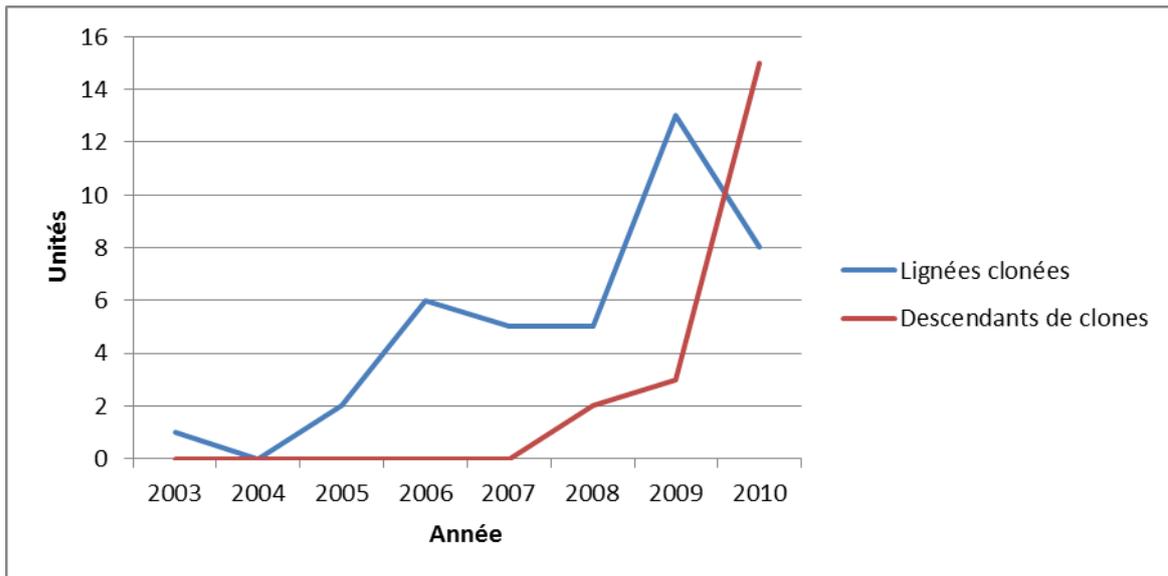


Figure 12: Nombre de clones équins et de descendants. (2003 – 2010).

Note : Le décalage entre la naissance du premier clone et la naissance du premier descendant est dû au délai nécessaire pour que les premiers clones atteignent la puberté.

D'autre part, le fait que les clones ne participent pas encore aux compétitions rend les éleveurs sceptiques quant à leur capacité de réaliser des performances. La rupture représentée par le clonage et la compréhension très partielle de la génétique par la plupart des éleveurs rend difficile la compréhension du fait que le clone peut transmettre une aptitude à la performance, même s'il ne pratique pas le sport et ne prouve pas, par lui-même, qu'il a ces capacités. Cette réaction est le fruit d'une situation d'accumulation de ruptures dans la manière traditionnelle de réaliser la sélection génétique. La première rupture concerne la méthode de sélection du candidat étalon : surtout par des performances réalisées antérieurement à sa propre naissance (la performance du donneur de cellules). La deuxième rupture est la méthode d'obtention de ce mammifère (par reproduction asexuée). Et finalement, la rupture dans la méthode de démonstration de l'aptitude à devenir effectivement étalon (les premiers clones n'ont pas été montrés dans les épreuves d'étalons).

Ce cumul de ruptures augmente la difficulté de compréhension des éleveurs et par conséquent, augmente la méfiance par rapport à la technologie. Un éleveur a récemment accepté de montrer un de ses clones dans les épreuves d'étalons. Ce geste représente un

dégré moindre de rupture, ce qui lui a permis de vendre 30 saillies dans une année, une réalisation importante pour cette industrie. Cette réflexion impose une question : à quel point il faut pousser la rupture imposée par une innovation ? Cette question reste ouverte et est spécifique à chaque technologie.

Ces constats montrent que le marché réel ne correspond pas exactement au marché imaginé par les initiateurs (étalons et femelles peuvent être inclus dans le marché potentiel), que des différences culturelles semblent influencer sur les préférences du marché et que l'effet mode (et appartenance à un groupe) peut influencer sur la décision d'adopter la technologie et d'intégrer le produit de celle-ci dans la chaîne de valeur de l'industrie par la suite.

Par ailleurs, l'observation que le nombre de descendants de clones est plus important que le nombre de clones produits montre que la CBC n'a pas vocation à se substituer à des anciennes méthodes établies dans la filière. Au contraire, pour qu'elle soit utile, elle doit exister en symbiose avec les anciennes méthodes. Mais, malgré ce constat, la production de descendants reste faible. Il est nécessaire de réfléchir sur le niveau de rupture supportable pour la technologie (de la sélection à la mise en valeur du produit).

I.2.4. Connaissance mobilisable dans le domaine de la gestion

Traditionnellement, la littérature de la gestion traite l'innovation comme un processus de conception réglée. Dans ce système, l'entreprise peut être considérée isolément et le processus de conception peut se résumer à des modifications apportées à un design dominant (Anderson et Tushman, 1990 ; Busalla, 1988) afin de générer des améliorations sur le rendement global ou encore de renouveler des produits. Cette littérature traite l'innovation de façon linéaire (idée, études, prototype, fabrication, mise en vente), adaptée à la méthode industrielle traditionnelle. Dans ce système le consommateur a été écarté du processus d'innovation qui se contente de considérer le produit comme l'objet central de l'innovation. Ces modèles se basent sur des longs cycles de vie des produits pour supporter les hauts coûts de la conception linéaire.

Cependant, des évolutions majeures et multifactorielles ont généré une certaine obsolescence de cette méthode traditionnelle et ont changé la notion de compétitivité. Dans ce nouveau contexte l'entreprise n'est plus un élément isolé. Elle interagit avec d'autres acteurs : concurrents, partenaires, clients, fournisseurs. Ces systèmes nommés « systèmes

complexes » (Stacey, 1995 ; Giacomoni, 2002) exige une nouvelle organisation comportant des sous-ensembles relativement indépendants mais fortement interconnectés et interactifs.

Même les industries les plus traditionnelles telles que celle des outils à main étudiée par Vallette (2006) doivent s'adapter à ces évolutions. La conception doit parfois évoluer d'une position centrée sur la réponse technologique à la demande du client (problem solving) à une position d'anticipation de la demande afin de répondre aux besoins réels et de leur permettre d'adopter l'innovation.

Selon Agogué et al. (2012) l'analyse de l'évolution dynamique des connaissances, des compétences, des relations entre acteurs, est nécessaire pour comprendre l'innovation. L'écosystème devient un aspect important de cette compréhension, tout en n'étant pas un objet en soi. Il représente un cadre de référence permettant l'analyse de la nature des liens entre des acteurs économiques et caractérisant les diverses fonctions assurées par un ensemble d'agents au sein d'un milieu.

Différents facteurs influant les systèmes complexes ont été étudiés : la concurrence, la forme de conception, l'interaction entre acteurs, la logistique. Les travaux ont été réalisés séparément, mais ces facteurs agissent simultanément sur et avec l'entreprise. Nous rassemblerons ici les principaux constats de la littérature spécialisée.

Amar-Touati et Sardas (2006) ont montré que l'exacerbation de la concurrence dans l'industrie récente s'est traduite par des exigences de plus en plus fortes en matière de délai, de qualité et de coût et une exigence forte d'innovation. Cette dernière est traduite par certains auteurs comme un besoin de diversification, d'anticipation de la demande par la constitution de l'offre, de la satisfaction des clients, de l'utilisabilité du produit, de la réduction du temps et des coûts de développement en raison du raccourcissement du cycle de vie des produits. Ce constat met en évidence le besoin de ces entreprises de s'adapter pour rester compétitives. Plusieurs approches ont été proposées. Yung et Chauveau (1995) ont proposé de focaliser l'innovation sur les acteurs et leurs pratiques, plutôt que sur les produits. Mallein & Tarozzi (2002) ont remarqué que la compétitivité dépend de la qualité et la valeur d'usage des produits et services. Encore d'autres auteurs se sont focalisés sur l'organisation de la conception et de la production comme facteur de développement. Ainsi, Giacomoni et Sardas (2011) ont remarqué une difficulté de coordination entre

différentes équipes et ont affirmé que cette coordination est un facteur déterminant pour la compétitivité.

Les entreprises innovantes dans des domaines pointus sont marquées par des compétences fortes sur des technologies avancées et sur le comportement des systèmes dans des conditions extrêmes (Giacomoni, 2002). Elles exigent des moyens matériels, humains et organisationnels spécifiques qui les écartent des modèles classiques de gestion dont la philosophie n'avait pas toujours été pensée en relation avec les spécificités de ce type d'industries (Burns et Stalker, 1961). Cette nouvelle face de l'innovation, où les marchés évoluent rapidement et les clients deviennent de plus en plus exigeants, contraint les entreprises à développer de nouvelles technologies et à innover systématiquement et avec pertinence pour survivre sur le marché (Vallette 2006).

Dans ce nouveau contexte tout est à concevoir de manière non linéaire : les moyens, les produits, les offres et les raisonnements. Selon Hatchuel et Weil (2002) et Maxant (2004) le « nouveau innover » suppose l'implication des métiers dans un apprentissage collectif et interdisciplinaire. L'enjeu de la performance de la conception innovante dépend donc de la capacité des acteurs à se mobiliser, se coordonner et surtout à développer une activité de coopération (Sardas, 2000), d'où l'intérêt de la communication. Son efficacité est fondamentale pour la résolution collective d'une tâche (Foulon-Molenda, 2000) et pour développer les connaissances de groupe au lieu de la valorisation de la génialité universelle de certains individus (Rosel, 1994).

Certains auteurs pointent la collaboration comme une des problématiques majeures de la conception (Boullier, 2002 ; Giacomoni et Sardas, 2011). Ce problème est identifié dans des industries de technologie de pointe telles que l'aéronautique et l'informatique (Giacomoni, 2002). Ces industries imposent aux acteurs une gestion simultanée de l'innovation, de plus en plus intensive, et d'une production en séries limitées de produits quasi prototypes.

Selon Giacomoni et Sardas (2011) les entreprises participant à un système complexe doivent gérer des phases de profusion technologique intense avec production de petites séries, assumées ou sous-traitées en tout ou en partie, selon le découpage, la maîtrise et les coûts des procédés stratégiques. Ces systèmes présentent une double difficulté gestionnaire liée à l'innovation intensive et la sériation optimale (Giacomoni et Sardas, 2011).

La maîtrise de la production et de ce besoin constant d'innovation passe donc par la maîtrise des procédés mais aussi des coûts, des délais, des normes de plus en plus restrictives et des défis technologiques permanents liés à une grande incertitude et au besoin de développer des collaborations.

Différentes formes d'organisation peuvent apparaître. Les technologies avancées ont tendance à spécialiser et à concentrer les ressources humaines et matérielles, pour créer une émulation de nouvelles connaissances, favoriser la maîtrise et le développement de savoir-faire spécifiques et accroître la réactivité à l'égard du client (modifications de planning, réallocation de ressources, évolutions techniques, etc.).

L'innovation et la sériation inhérentes à ces systèmes complexes de production engendrent l'instabilité technologique et économique. Ces problèmes modèlent l'organisation et les appareils gestionnaires. Selon Giacomoni et Sardas (2011) intuitivement la solution d'organisation rencontrée est souvent une adaptation aux spécificités de l'activité et aux données environnementales en vue de meilleures performances.

La pluralité technologique et des concentrations spécifiques peut favoriser une organisation en réseau d'unités spécialisées et interdépendantes. Cependant, le fonctionnement de l'intégration et du réseau d'unités autonomes repose sur le respect des nœuds de contrats (Nakhla, 2001 ; Fassio, 2000) de type clients/fournisseurs (Cremer et Riordan, 1987). Mais la compression des cycles accentue les intrications et donc les problématiques liées aux contrats de collaboration, dans un univers de plus en plus soumis à des aléas fréquents et à un renouvellement permanent des processus et des produits.

Finalement, ben Mahmoud-Jouini et Calvi (2004) ont souligné que dans de nombreux secteurs, les projets de développement s'imposent comme des processus collectifs impliquant notamment les fournisseurs les plus importants. Le choix du mode relationnel à instaurer avec les partenaires contribue à la compétitivité de l'entreprise pivot de la relation. Les auteurs soulignent le fait que, dans ces systèmes, la collaboration, et non pas la coordination, est primordiale pour le succès.

I.3. MISE EN EVIDENCE DU CONCEPT : LA CONCEPTION BIOLOGIQUE COMPLEXE (CBC)

Notre travail s'intéresse au développement des nouvelles technologies du vivant. Cependant, dans ce domaine, les technologies sont principalement traitées sous le point de vue technico-expérimental, de façon isolée et en mettant en avant leurs particularités. Analyser l'ensemble des technologies serait une tâche ambitieuse, surtout parce que la littérature en sciences économiques et de gestion dit peu sur le sujet.

Il a été nécessaire de proposer un outil capable de faciliter la compréhension de la dynamique de développement de ces technologies. Nous avons imaginé un concept de caractérisation générique de ces technologies récentes du vivant. Ce concept serait un outil permettant de repérer les principales situations rencontrées dans cette famille précise de technologies. Pour la constitution du concept, nous avons fait appel au cas d'une technologie, le clonage équin.

Il existe une certaine limite quant à l'utilisation de l'étude d'un cas unique pour généraliser une situation. Cependant Hamel et al. (1993), Yin (2003) et Yin (2009) ont largement discuté le fait que la taille relative de l'échantillon (2, 10 ou 100 cas) ne transforme pas une étude de multiples cas en une étude macroscopique. Les auteurs considèrent surtout l'importance de la définition des paramètres qui pourront ensuite être appliqués à toute recherche. Dans cette situation, une étude de cas simple pourrait être validée dès qu'elle atteint les objectifs. Cela veut dire qu'une étude de cas permet de transformer une explication locale en une explication globale. Par ailleurs, Hamel et al. (1993) ont inversement caractérisé cette singularité comme étant une situation de concentration de caractéristiques globales dans le local.

Yin (2009) a détaillé la procédure nécessaire pour satisfaire la rigueur méthodologique requise. D'après l'auteur une étude doit satisfaire le tryptique de la méthodologie qualitative : décrire, comprendre et expliquer. Finalement, Yin (2009) a expliqué que l'étude de cas doit avoir comme objectif la réplication plutôt que la justification de l'échantillon.

Notre approche a cherché à identifier les caractéristiques dominantes de ce type de technologie. Les paramètres choisis ont été les aspects techniques, la voie empruntée pour

l'innovation – surtout au niveau financier et organisationnel – et l'interaction des différents acteurs (scientifiques, fournisseurs, producteurs, commerçants et clients) dans le marché. Le rapprochement des informations obtenues à partir de l'étude de cas avec la littérature de gestion nous a permis d'énoncer le modèle organisationnel générique de ces technologies que nous avons proposé d'appeler : la Conception Biologique Complexe (CBC).

Nous proposons cette appellation parce qu'elle comprend les notions de :

- Conception : toujours présente dans ces technologies. En effet, dans le domaine biologique, la méconnaissance de tous les secrets du fonctionnement des êtres biologiques demande des efforts constants de conception. Une nouvelle phase de conception se succède à chaque nouvelle connaissance créée afin d'adapter la méthode aux informations obtenues grâce à la nouvelle connaissance ;
- Biologique : nous travaillons sur un monde dominé par les limites et possibilités biologiques. L'aspect biologique peut désigner le produit (un clone, un animal transgénique, une molécule) mais aussi les machines utilisées pour l'obtenir (les animaux, les cellules, etc.) ;
- Complexe : les nouvelles connaissances demandent des méthodes de plus en plus complexes qui génèrent de l'incertitude et impliquent plusieurs niveaux de production et plusieurs connaissances pour les exploiter. Par conséquent, une organisation complexe des acteurs est mise en place afin de répondre aux objectifs de conception et de production.

La CBC implique un dualisme entre le produit et la technologie. En effet, lorsqu'un consommateur fait appel à la CBC, il espère obtenir un produit unique ou presque. L'unicité du produit ne dépend pas principalement de la méthode de production et de conception. Elle vient du caractère biologique lié à la biographie, à la génétique de la matière première. Cependant, la technologie employée pour l'obtenir cherche à standardiser un enchaînement d'actions capables de produire de façon plus ou moins uniforme, des objets « uniques ». Il est important de tenir compte de ce dualisme puisque cela permet de mieux cibler le sujet à développer et de prendre compte des particularités de chacun. Le dualisme entre technologie et produit est la première caractéristique d'une CBC.

Le concept de CBC envisage la caractérisation de la technologie. Ce choix s'explique par le besoin de maîtrise de la technologie de la part des acteurs afin de raisonner l'activité industrielle.

Les interviews avec les acteurs et les autres recherches réalisées ont souligné que les complexités de la CBC sont gérées par les acteurs de façon tout à fait intuitive. Ainsi, ce n'est qu'au bout de quelques années qu'un acteur maîtrise suffisamment bien cette complexité pour éviter les retards de livraison ou les échecs complets de production. Ces situations sont fréquentes dans les premières années d'existence d'un acteur par manque d'informations formalisées au niveau de la gestion. La gestion est alors intuitivement un avantage productif pour l'acteur qui la domine.

La deuxième caractéristique dominante de la CBC est la complexité technique. Une CBC se réalise en plusieurs étapes, interdépendantes, en cascade, demandant plusieurs types de connaissances et impliquant plusieurs professionnels différents. Cette complexité est d'autant plus importante que la conception et la production sont directement affectées par la « biographie de la matière première » et par l'état physiologique des « machines biologiques ». Par conséquent, en plus des questions purement méthodologiques, la faisabilité dépend aussi d'aspects biologiques. Ce fait définit la troisième caractéristique de la CBC : l'influence de la biographie de la matière première et le besoin de gérer des machines biologiques pendant le processus.

Pour conclure l'analyse technique, la dernière caractéristique dominante est liée à la durée des cycles de conception et de production. Ceux-ci peuvent être longs : quelques mois, voire quelques années. Ceci génère un certain ralentissement du progrès technologique et a un impact direct sur le coût de développement de la technologie. Actuellement, la concurrence tend à raccourcir le cycle de vie des produits, ce facteur peut avoir un impact très négatif sur la rentabilité d'une technologie.

L'analyse des aspects de gestion montre plusieurs similarités entre la CBC et les systèmes complexes décrits par Stacey (1995) et Giacomoni (2002). La conception et la production sont réalisées simultanément ; le processus peut être décomposable en différentes étapes ; celles-ci nécessitent différents types de connaissances ; la gestion est intermédiaire entre une gestion par projet où toutes les ressources sont mobilisées autour d'un projet et une

gestion linéaire où les composants sont assemblés progressivement. Cet ensemble constitue la cinquième caractéristique dominante de la CBC.

Cependant, les interactions dans l'industrie peuvent écartier légèrement la CBC des systèmes complexes. Tout d'abord, l'interaction entre producteurs et entre ceux-ci et les financeurs. Dans les systèmes complexes, les financeurs de l'innovation ont fréquemment accès à la technologie ou à une partie de celle-ci. Par ailleurs, les acteurs de technologies avancées tendent à se spécialiser et à concentrer les ressources humaines et matérielles pour créer une émulation de nouvelles connaissances, favoriser la maîtrise et le développement de savoir-faire spécifiques et accroître la réactivité à l'égard du client (Giacomoni et Sardas, 2011).

Dans la CBC, la forte concurrence par un marché restreint et privé réduit les possibilités de collaboration entre acteurs du développement technologique stratégique. Les équipes tendent à s'organiser individuellement autour des connaissances nécessaires pour l'ensemble de la production et à protéger leurs connaissances. Des partenariats entre équipes porteuses d'un savoir-faire similaire sont rares. De leur part, les financeurs privés n'ont pas toujours accès à la connaissance produite dans les projets de recherche. Cela génère une fragilité de l'apport de financement pour la conception. En effet, ne pouvant pas profiter de la connaissance, les financeurs privés se réduisent à quelques mécènes – si la politique fiscale du pays le favorise – et quelques partenaires adoptant un rôle très proche de celui d'un consommateur en finançant ponctuellement le processus de conception d'un produit.

Par ailleurs les systèmes complexes ont fréquemment un marché consommateur identifié, bien défini. Dans le cas des industries de pointe comme l'aéronautique, le client peut être même l'Etat. Cela revient à dire que l'innovation a des fortes chances de trouver un marché consommateur plus ou moins développé. Comme la CBC émane du domaine du vivant, sa mise sur le marché peut trouver des difficultés liées à des aspects religieux ou même au principe de précaution.

Ce résultat engendre la septième caractéristique dominante. Le marché restreint, fragmenté et mal identifié pousse les acteurs à agir directement sur le marché auprès des clients, dans un marché construit principalement du producteur vers le consommateur. De cette façon, le marché production – consommation se transforme d'un marché de monopoles à un marché

de type oligopsonne. Cela exacerbe la concurrence, réduit les partenariats de conception et exerce une pression à la baisse des prix. Nous avons observé dans le cas du clonage que ce type de concurrence ne génère pas forcément une augmentation significative du marché.

La huitième caractéristique dominante concerne la désorganisation du marché fournisseur. Cette désorganisation associée à la rareté et la rigidité réglementaire concernant certains fournisseurs et certaines matières premières imposent une difficulté stratégique conséquente. Elle peut contribuer à une autre forme de concurrence, cette fois-ci autour de la matière première et diminuer la possibilité de réalisation de partenariats. Autrement dit, elle peut contribuer à l'éloignement des acteurs.

Cet ensemble de problèmes d'interaction entre acteurs peut ralentir le développement commercial de la CBC jusqu'à une situation extrême de blocage de la dynamique industrielle étudiée par Agogué (2012) dans les systèmes complexes. L'auteure a identifié trois natures de blocage : le blocage cognitif, la dépendance du parcours technologique et le verrou technologique. La CBC peut rencontrer des blocages dans les trois niveaux. Nous ne les discuterons pas dans ce chapitre.

En conclusion, dans cette première partie nous avons caractérisé les technologies récentes du domaine du vivant. Le concept appelé Conception Biologique Complexe révèle une innovation de type complexe comportant 4 caractéristiques techniques et 4 caractéristiques issues du management (Figure 13). Ces caractéristiques se matérialisent dans la complexification de la gestion de l'innovation et de la production et dans la difficulté des acteurs à atteindre l'équilibre économique.

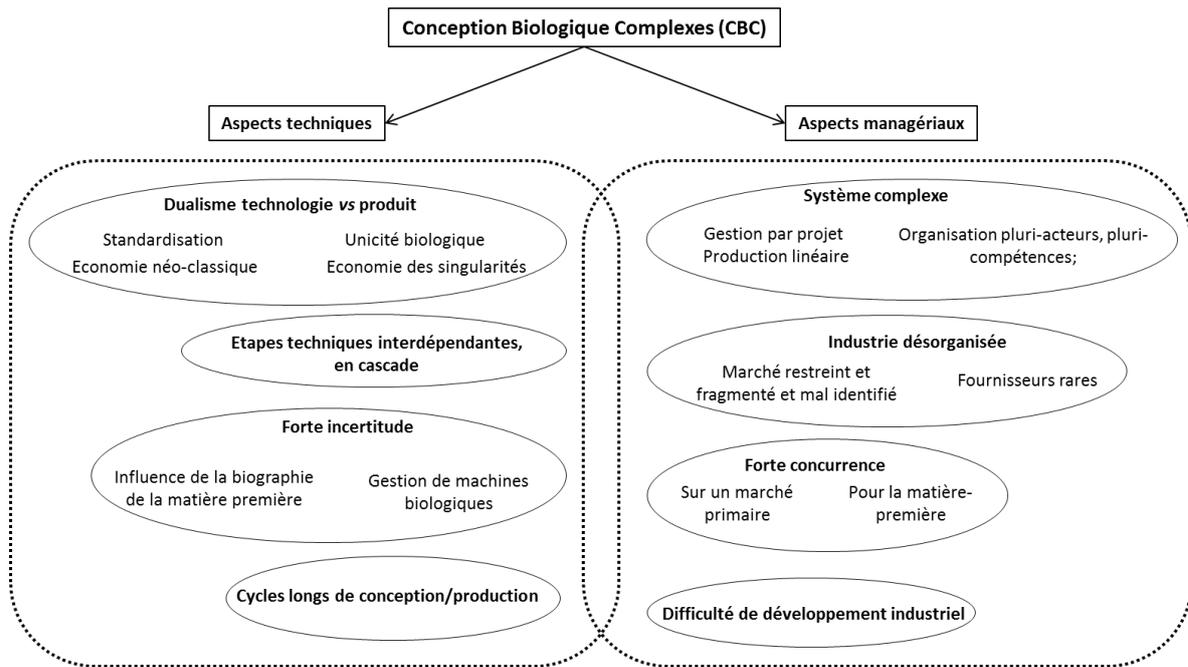


Figure 13 : Les caractéristiques de la Conception Biologique Complexe (CBC).

L'établissement de ce concept nous permet de comprendre que, contrairement à un certain préjugé existant dans le monde des sciences biologiques, les sciences de gestion peuvent être utiles à la réflexion de l'innovation dans le domaine du vivant. Elles permettent de réfléchir aux aspects innovants de l'industrie du vivant de manière rigoureuse afin de structurer le raisonnement et proposer des solutions industrielles à des questions biologiques.

Nous pouvons maintenant réaliser la conjonction $C \rightarrow K$ du concept (Conception Biologique Complexe). Ce concept représente maintenant une connaissance qui nous permet d'affirmer que les technologies du vivant peuvent être exploitées de manière générique sous le point de vue de la gestion. Il sera exploité dans les prochaines parties de la thèse afin de développer des nouveaux noyaux de connaissances. Les deux prochaines étapes traiteront les aspects de la planification de la production et la proposition d'un modèle économiquement envisageable pour la CBC. Dans l'avenir, ce concept pourra être exploité pour toute autre technologie du vivant possédant des caractéristiques similaires.

Le premier noyau du concept (la caractérisation de la CBC) a été réalisé comme montre la Figure 14.

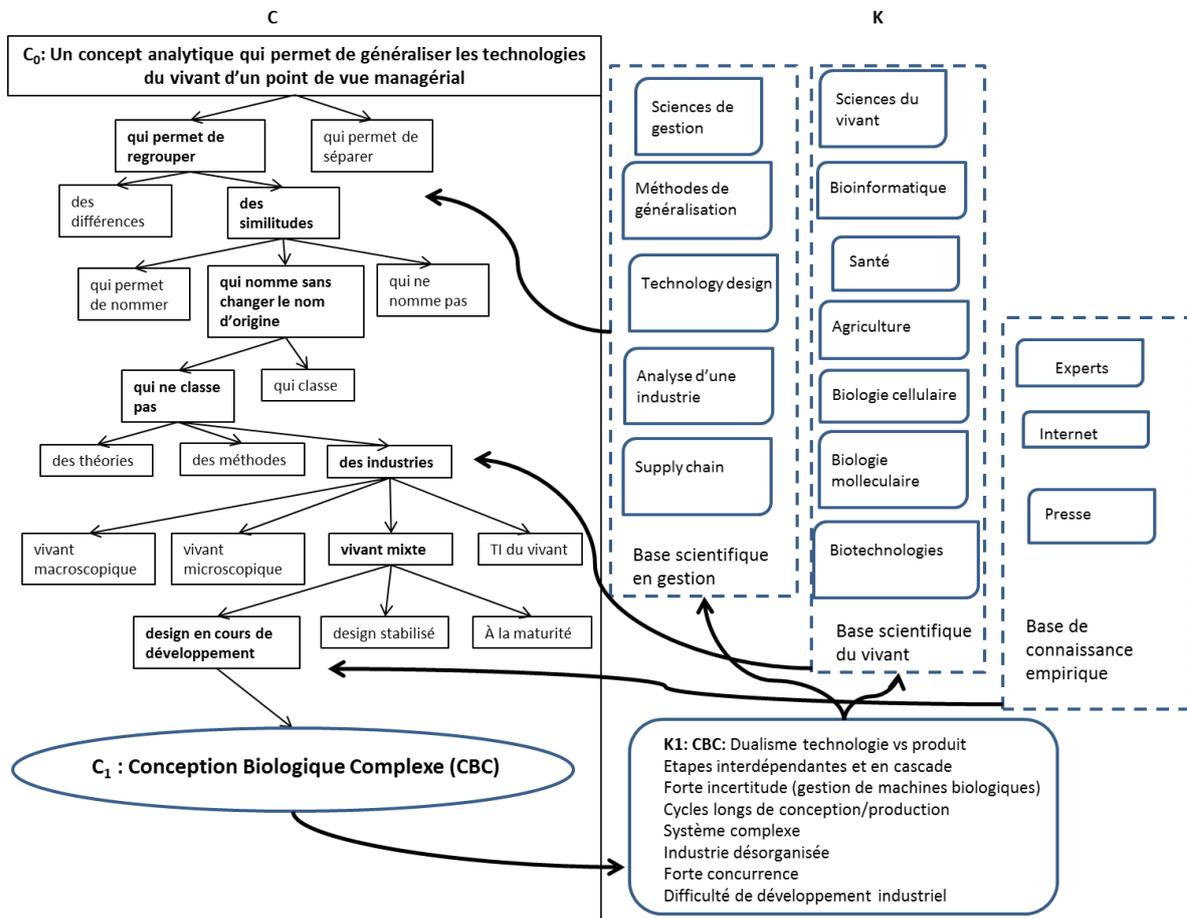


Figure 14: La construction du concept de Conception Biologique Complexe.

Légende : La solution du concept initial proposé (C₀) a été nommée la Conception Biologique Complexe. Les propositions dans l'espace C ont permis de construire progressivement la solution grâce à des interrogations dans l'espace K suivies ou non d'adaptations au concept. Les flèches qui partent d'une brique et génèrent d'autres briques dans le domaine des concepts (C) représentent des partitions successives, nécessaires au raisonnement expansif de la conception. Les flèches sortant du domaine des connaissances (K) vers le domaine C représentent les moments de mobilisation de K pour faire évoluer le concept (disjonction de K en C). La flèche partant de C vers K représente une conjonction du concept en K. A ce moment, le concept à un statut logique et ses principales caractéristiques sont identifiées. Il peut être réintégré dans le domaine K en tant qu'une connaissance nouvelle. Ce concept ira alimenter les bases de connaissance scientifique et de gestion du vivant.

PARTIE II : LA PLANIFICATION DANS LA CBC : CONCEPTION ET
PRODUCTION A LA COMMANDE

II.1. POSITIONNEMENT ET PROPOSITION DU CONCEPT

La construction du premier noyau du concept CBC a mis en évidence la complexité de son environnement. Le producteur doit gérer à la fois l'incertitude liée à une faible maîtrise des facteurs biologiques, à la disponibilité de matière première et à la simultanéité de la conception et de la production. L'impact de cette incertitude est ressenti sur le processus de production. La complexité technique peut générer des situations de non-respect des délais de livraison mais aussi de surproduction.

L'incertitude de la demande contribue à la complexité de la production. Le caractère singulier des produits empêche (ou décourage) le producteur de lancer une production en prévision de commande. En effet, nous avons vu en première partie que le client est aussi *designer* du produit dans le sens où il détermine le produit souhaité et peut agir à la fois comme client et fournisseur d'une partie de la matière première nécessaire pour la production. La production est donc gérée à la commande, sous forme de projet.

Dans cette partie nous irons analyser les informations déjà obtenues en première partie sous le point de vue de la planification de la production/conception. Pour ce faire, nous reprendrons les facteurs techniques principaux et les discuterons en relation avec la connaissance disponible dans la littérature industrielle.

Nous nous interrogerons dans cette partie sur le moyen le plus adapté pour les producteurs de gérer l'incertitude de la production en CBC. La proposition d'un modèle de planification adapté demande une analyse des problématiques organisationnelles et instrumentales (Moisdon, 1991). Les informations disponibles dans la littérature apportent des résultats principalement technico-expérimentaux. Parfois les publications ne comportent pas l'ensemble des étapes de la technologie. D'autres fois, les résultats sont jugés avec l'optimisme d'un créateur qui souhaite démontrer la faisabilité de sa création sur le terrain. Cet enjeu est encore plus important quand les auteurs dépendent de contrats de production pour développer la conception. Il est aussi évident lors des interviews, où la rigueur scientifique nécessaire à une publication ne joue pas un rôle déterminant pour l'acteur.

Les informations technico-expérimentales des différentes technologies sont spécifiques, mais la planification de la production peut suivre des lignes générales, lesquelles nous souhaitons identifier dans cette partie.

Ce deuxième noyau du concept est donc dépendant de la compréhension des caractéristiques de cette production et de notre pouvoir de généralisation des informations locales. Après la proposition initiale, le concept: « établir un modèle de planification de la production adapté à la CBC » sera appliqué au cas du clonage équin. Cette application sera seulement théorique puisque nous n'avons pas réalisé de recherche-intervention pendant notre travail.

Au stade actuel le concept et les connaissances disponibles peuvent être schématisés dans la Figure 15.

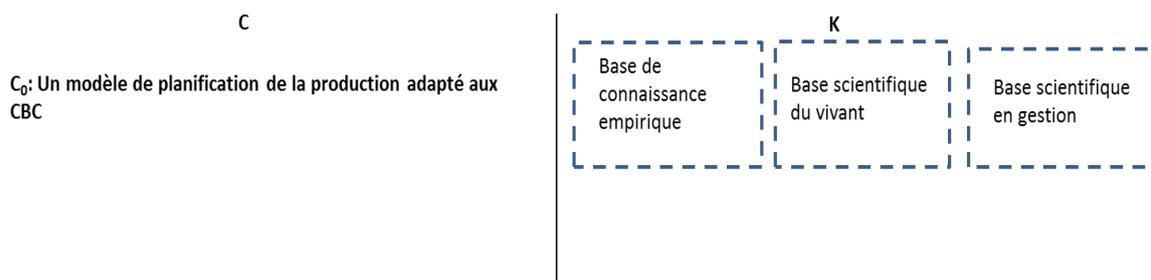


Figure 15 : Conception d'un modèle de planification de la production adapté à la CBC.

Légende : à gauche l'espace des concepts. À ce stade, nous proposons le concept initial qui sera développé dans la partie II grâce aux connaissances mobilisées. À droite, l'espace des connaissances. Cet espace regroupe les connaissances mobilisées pour le développement du concept et les connaissances générées par le développement de celui-ci. À ce stade nous représentons seulement les domaines de connaissances dans lesquels certaines connaissances précises seront mobilisées pour le développement du concept.

II.2. CONNAISSANCES MOBILISEES

Les données liées à la planification industrielle sont rares dans le domaine du vivant. Cette culture du domaine du vivant de focaliser le développement sur les aspects techniques nous impose de répertorier la connaissance disponible en planification industrielle dans d'autres domaines afin de mieux comprendre les enjeux industriels du développement.

L'ambition de cette section II.2 est d'établir, dans un premier temps, un ensemble d'informations sur les difficultés et les méthodes de planification, existantes dans d'autres domaines et mobilisables pour le concept de planification de la production en CBC (C_0). Dans un deuxième temps, l'objectif est de développer un raisonnement biologique nécessaire pour comprendre les enjeux spécifiques de planification en CBC.

II.2.1. La planification industrielle s'établit à trois niveaux

Au sein des entreprises les décisions sont surtout orientées vers l'acquisition, l'utilisation et l'allocation des ressources de production et la séquence de la chaîne de production de façon à permettre de satisfaire aux besoins du consommateur de manière plus économique et efficace.

Les premières notions de planification industrielle telle que nous la concevons actuellement existent depuis le début du XXème siècle avec l'introduction de modèles d'organisation scientifique du travail (Taylor, 1911), initialement appliquées par H. Ford dans l'industrie automobile. Les principaux objectifs de ce pilotage étaient d'optimiser le découpage de postes de travail, et le temps alloué aux différentes tâches, et d'assurer la fiabilité des gammes.

Les concepts de planification industrielle ont évolué au fil de temps. Les années 1960 ont marqué leur popularisation, malgré un premier modèle controversé proposé par Holt et al. (1960). L'histoire de ce modèle a le mérite de montrer que la planification n'est en aucun cas une solution unique et miraculeuse (Nahmias, 2005 ; Diemer, 2010).

Jusqu'en 1965, les planificateurs avaient tendance à classer les activités d'une entreprise en activités de planification et activités de contrôle. Robert Anthony, chercheur de Harvard a critiqué ce raisonnement. Selon sa thèse, la planification et le contrôle sont deux activités très proches. Leur séparation est contre-productive et indésirable (Anthony, 1965). Il a suggéré qu'il était beaucoup plus pratique et raisonnable de regrouper des activités similaires de planification et de contrôle dans des systèmes de caractéristiques homogènes. Il a proposé que les activités de l'entreprise soient regroupées en trois catégories :

Les décisions stratégiques : liées au design de la structure de production et concernant la politique de gestion et le développement des ressources. L'objectif est que l'organisation

puisse répondre à la demande de manière compatible avec les objectifs organisationnels. Ces décisions sont prises par les rangs supérieurs de gestion, concernent des décisions telles que les investissements et leurs effets sont observés dans le long terme. Selon Feng et al. (2005) elles sont déterminantes pour la position compétitive de l'entreprise.

Les décisions tactiques focalisées sur l'utilisation de ressources et ayant un impact à moyen terme telles que l'allocation de la capacité et la disponibilité de main d'œuvre, le stock et les ressources de distribution.

Au troisième niveau, les décisions opérationnelles impliquent les opérations quotidiennes et les problèmes de calendrier qui demandent une séparation totale de l'information générée aux niveaux supérieurs. Les décisions typiques de ce niveau sont la séquence de production et la taille des lots, l'affectation des ordres du consommateur à des machines individuelles, la comptabilité et le contrôle d'inventaire, le traitement des commandes, leur préparation et expédition et l'organisation de la flotte de véhicules.

Ces trois classes de décisions sont fortement interdépendantes et la difficulté pour le planificateur est d'harmoniser la gestion des trois niveaux. Chaque niveau possède ses propres caractéristiques et les méthodes d'agrégation sont typiquement influencées par un nombre de facteurs incluant la durée du plan, le niveau de détail des informations nécessaires et les perspectives, l'ampleur de l'activité de planification, l'autorité et la responsabilité du gestionnaire en charge de l'exécution du plan.

La typologie d'Anthony était très utile. Mais la complexité d'harmonisation des trois niveaux a amené Hax et Meal (1975) à proposer une hiérarchisation de la planification. La hiérarchisation prévoyait que les décisions soient prises dans une séquence. Chaque groupe de décisions à un niveau d'agrégation génèrait des contraintes à partir desquelles des décisions plus détaillées pourraient être établies. A son tour, des décisions détaillées fournissent le feedback nécessaire pour évaluer la qualité de l'ensemble des décisions prises. Cette condition crée des sous-ensembles de décisions cohérentes avec la gestion de responsabilités de chaque niveau. Le modèle doit permettre d'apporter des corrections à chaque sous-ensemble et d'améliorer la coordination des tâches de chaque niveau, selon le besoin.

La planification hiérarchique permet à chaque niveau de se développer selon ses propres besoins en gestion, son champ de planification, le niveau d'agrégation d'information nécessaire et l'horizon de décision. Depuis l'introduction de ce modèle, différents auteurs ont proposé des schémas de planification hiérarchique où les décisions du niveau supérieur de la hiérarchie sont forcément basées sur des modèles généraux. Les auteurs s'accordent sur le fait que le succès de cette approche dépend largement des procédures d'agrégation et de désagrégation et de l'interaction entre les modèles aux différents niveaux (Sacerdoti, 1975 ; Cohen et Feigenbaum, 1983 ; Sebillote, 1987).

Bitran et Tirupati (1993) ont souligné l'importance de cette méthode dans des systèmes caractérisés par la multiplicité de produits, d'usines et d'entrepôts, une large variété d'équipements et d'opérations. Les systèmes qui englobent un large nombre de décisions que peuvent affecter d'autres secteurs doivent bénéficier aussi de cette méthode.

II.2.2. Les difficultés de planification inhérentes aux systèmes complexes

Dans les systèmes complexes, les producteurs s'affrontent à la complexification de la production et l'intensification des préoccupations avec la réduction de coûts. Par ailleurs, le caractère innovant de ces systèmes impliquent une nouvelle organisation. Le concepteur doit concevoir en fonction des besoins réels des utilisateurs, mais avec des moyens de production réduits ou différents, dans des nouvelles optiques de marché et pour de nouveaux comportements d'usage.

La pression concurrentielle entre les industriels a amené à un raccourcissement du cycle de vie des produits. L'évolution rapide des marchés et l'accroissement des exigences des clients ont contraint les entreprises à développer des nouvelles technologies et surtout à innover systématiquement avec pertinence pour survivre sur ces marchés (Vallette, 2006).

Ces évolutions majeures et multifactorielles ne permettent plus de conserver le modèle classique de conception essentiellement linéaire des étapes d'un projet (idée, études, prototype, fabrication, mise en vente) et la séparation entre conception et utilisation. Les systèmes de production linéaire hautement standardisés utilisés par l'industrie traditionnelle doivent être repensés pour s'adapter à des nouveaux modes de production et améliorer la performance.

L'organisation des systèmes complexes se situe entre un système de production unitaire et un système de production en série. Dans le premier, tous les moyens sont regroupés autour du produit. Dans le deuxième, l'organisation se fait en ligne avec circulation de produits. Le système se décompose en plusieurs composants et plusieurs niveaux d'assemblage de nomenclatures. Le découpage de la nomenclature selon les dominantes technologiques conditionne la répartition des étapes de sous-assemblage entre les unités productrices. L'hétérogénéité technologique des produits complexifie l'assemblage et les interdépendances entre les unités du réseau productif et entre ceux-ci et le site d'intégration.

Métaphoriquement, Takeuchi et Nonaka (1986) ont proposé que les nouvelles organisations devraient évoluer d'un modèle de type « course de relais », symptomatique d'une approche séquentielle et stable des actions à accomplir, à une organisation plus proche d'un match de rugby, suggérant une implication simultanée de tous les acteurs dans l'action collective.

Avec cette nouvelle configuration, le principe hiérarchique de la planification est déstabilisé. Par conséquent, l'évolution nécessaire du mode opératoire n'est pas toujours bien coordonnée et peut générer de déséquilibres. Giacomoni et Sardas (2011) et Loufrani-Fedida (2008) ont considéré que la difficulté peut avoir son origine dans la combinaison entre la pluralité d'acteurs et leurs positions individuelles et de ses propres objectifs par rapport au projet. Selon Giacomoni et Sardas (2011), ces déséquilibres observables dans la production des systèmes complexes tiennent à la multiplication des efforts de correction tentés par les planificateurs, eux-mêmes limités à des actions de ré-planification bien souvent inefficaces et même contre-productives.

L'enjeu de la performance de la conception innovante dépend de la capacité de mettre en commun des compétences multiples et de stimuler des acteurs à se mobiliser, à se coordonner, mais aussi et surtout à coopérer (Darses, 2001). Plusieurs auteurs ont étudié la question de complexité des systèmes sous l'angle de la collaboration comme un problème et une solution pour améliorer la performance de la conception (Boulier, 2002 ; Brime, 2007 ; Sardas et al. 2000). Foulon (2000) a d'ailleurs étudié le rôle de la communication comme le ciment de la coopération, dont l'efficacité joue un rôle prépondérant dans la solution collective d'un problème ou d'une tâche.

Giacomoni et Sardas (2011) ont étudié l'impact de la complexification et de la conception sur la production. Les auteurs ont observé que même les outils le plus reconnus de planification, tels que le MRP-I (Material Requirements Planning), le PERT (Project Evaluation and Review Technique) et l'ordonnancement n'étaient pas suffisants pour maintenir l'équilibre de la production. Par ailleurs, la créativité indépendante des acteurs générerait des produits incompatibles avec la production souhaitée. Il y avait donc un paradoxe : les entreprises avaient besoin d'innover pour survivre dans le marché mais les produits de l'innovation ne pouvaient pas toujours être intégrés dans la production.

Après une observation attentive de la situation, les auteurs ont proposé une réorganisation de la structure pour permettre d'absorber l'innovation générée par le système, tout en organisant la production de façon à éviter les efforts constants de ré-planification.

Parmi les propositions, ils ont proposé la création d'une équipe de planification à plusieurs niveaux et unique pour les projets. Ainsi, les différents acteurs restaient indépendants, mais cette planification centrale et indépendante permettrait d'établir des objectifs et des délais pour chaque acteur selon les besoins du projet. Cette organisation permettrait d'éviter les ré-planifications constantes.

D'un autre côté, ils ont proposé de modifier la façon dont les composants sont identifiés afin d'assurer une meilleure identification et une optimisation de leur utilisation sur différents projets. D'après les auteurs, les identifications traditionnelles basées sur le numéro de série et date n'étaient pas adaptées aux systèmes d'innovation intensive. La proposition se basait sur une identification des éléments par leur appartenance ou adaptabilité aux différentes procédures. Ainsi, à chaque nouvelle adaptation, l'élément était susceptible d'appartenir à une nouvelle famille, bien identifiée. Ce nouveau système d'identification permettrait d'utiliser les objets sur différents projets selon le besoin du client.

II.2.3. Les outils de planification de la production

Une multitude de méthodes a été créée pour répondre au besoin de planification des entreprises. C'est le cas du MRP (Material Requirement Planning), et plus spécialement de son adaptation à la variation de la demande et aux aspects financiers (MRP-II - Manufacturing Resources Planning) et de ERP (Entreprise Resource Planning), du

PERT, de l'ordonnancement, du PLM (Product life cycle management), du SGBP (Système de Gestion de base de données relationnelles).

Nous décrirons succinctement le MRP, le PERT et de l'ordonnancement, qui seront utilisés dans notre travail. Le MRP est la partie centrale d'un système de gestion de production informatisé. Sa principale fonction est de permettre la planification de la production en fonction des ressources en personnel, en matières premières, en machines et en temps, par rapport à un besoin. Il permet de minimiser le surplus et les ruptures de stock dans un système de production.

Cet outil repose sur la définition des composants d'un produit (nomenclature) et du besoin en composants (quantité) nécessaire pour lancer une production. Plus précisément, cette nomenclature est une représentation hiérarchique des besoins en composants et sous-composants nécessaires à la fabrication d'un article. A ces besoins sont associés les délais d'obtention des différents éléments.

Le MRP consiste à établir le besoin global de production sur le long terme (Plan Industriel Commercial) suivi de la détermination des besoins de production pour chaque produit fini à un horizon temporel réduit (séance/semaine/ mois) – Plan Directeur de Production (PDP). A partir du PDP, des nomenclatures et des gammes opératoires, il est possible de calculer les besoins en composants et de planifier les ordres d'approvisionnement et les ordres de fabrication d'articles.

Le PERT (Program Evaluation and Review Technique) est une représentation graphique des tâches ou événements et permet de déterminer la durée minimum d'un projet, connaissant la durée de chaque tâche et les contraintes d'enchaînement. Il permet de déterminer le chemin critique qui relie les tâches « critiques » : des tâches dont le retard impliquera un retard effectif du projet. Dans sa version standard, le PERT n'intègre que des contraintes potentielles et l'ajustement charge-capacité s'effectue par simple déplacement de tâches. D'où l'intérêt du couplage PERT et MRP-I.

L'ordonnancement est un outil de décision permettant de décider le moment de lancement de la production en fonction des contraintes matérielles et humaines mais aussi l'organisation de la production selon le temps nécessaire pour réaliser des tâches successives. Il permet aussi de prévoir les moyens matériels (location, etc.) et humains

(main d'œuvre supplémentaire pour faire face à une demande, etc.) nécessaires. Cette méthode est composée de trois phases : la planification des tâches à réaliser, le suivi des tâches en temps réel et le contrôle par comparaison entre le prévu et le réel. Il procède par transfert de charge sans toujours en préserver les caractéristiques (durée, dates de début relatives à une période antérieure, fractionnement éventuel...) (Giacomoni et Sardas, 2011).

Ces trois méthodes sont actuellement utilisées dans les industries complexes. Aucune ne suffit à elle seule à planifier la production complexe. Giacomoni et Sardas (2011) ont observé que même l'association des trois méthodes n'était pas suffisante pour planifier correctement la production dans l'aéronautique sans une unité de pilotage unique.

Les auteurs ont observé que le problème ne provenait pas des outils de planification utilisés mais de la gestion de la production et du processus de conception. En effet cette industrie est organisée en multi-unités de production indépendantes qui produisent en réponse à une commande. Ce fait génère le manque de coordination dans le système parce que chaque acteur organisait sa production selon ses propres besoins et non par rapport à un besoin général, représenté par l'ensemble de la chaîne de production. Par ailleurs, comme les cycles de production sont longs et l'innovation dans ce domaine est rapide, le manque de coordination empêchait l'absorption optimale de l'innovation générée. Il était donc nécessaire de penser à une entité centralisatrice de la planification de la production pour gérer l'ordonnancement de la production et éviter les ré-planifications et d'une méthode adaptée pour absorber l'innovation.

II.3. LA PLANIFICATION DANS LA CONCEPTION BIOLOGIQUE COMPLEXE

Autant les chercheurs ont déjà commencé à comprendre que les outils de planification industrielle peuvent être utiles pour planifier la gestion de la production dans le domaine du vivant (Coléno et Duru, 2005), la production de la CBC est encore « planifiée » de façon semi-intuitive. En effet, pendant ce travail, nous n'avons pas observé de références aux outils de gestion ou aux outils d'optimisation de la production. Cela peut dériver du fait que la CBC possède un caractère expérimental (non routinier) qui prend le dessus dans le raisonnement des acteurs. Cela veut dire que chaque entrepreneur développe

intuitivement et progressivement son propre système de gestion et de planification. Nous discuterons ici quelques points observés et leur influence sur la CBC.

II.3.1. Des collaborations sous incertitude : effets sur l'innovation

Pour faire face à la complexité de l'environnement, les organisations ont adapté leurs formes structurelles (Koenig & Thiétart 1995, Avenier 1996, Brown & Eisenhardt 1997, Allouche & Huault 1998, Romelaer 1998c, Anderson et al. 1999, Eisenhardt 2000, Dhillon & Orton 2001, Raynor & Bower 2001) allant de la généralisation des groupes multi-divisionnels jusqu'au développement d'une « forme d'organisation intermédiaire entre les structures mécaniste et adhocratique – regroupement souple et temporaire d'experts de différentes disciplines autour d'un projet innovant - dont la nature est encore ambiguë (Romelaer, 1998). Ces nouvelles formes ont l'intérêt de simplifier la gestion de différentes compétences pour mener à bien des missions précises.

Dans les systèmes complexes décrits par Giacomoni et Sardas (2011), l'innovation est réalisée par de multiples partenaires innovants et indépendants. La difficulté est de gérer la coordination/collaboration entre différentes structures et l'absorption des innovations indépendantes, ponctuelles, mais nombreuses, sur l'ensemble du réseau.

Dans le domaine des industries culturelles, la stratégie est de s'appuyer sur la formation d'un réseau de partenaires permettant de reproduire des compétences dans la réalisation de projets éphémères. Les producteurs d'un projet font appel à des collaborateurs dont les compétences sont clairement identifiées et permettent de mener un projet à bien. Dans ce domaine, les compétences tendent à rester stables car la succession d'activités temporaires rend difficile la formation du personnel et favorise les comportements de reproduction. C'est à travers ces réseaux institués que se construisent et se cristallisent collectivement, au-delà des seuls individus, la mémoire de l'activité, les formes d'organisation de production, les solutions développées, les compétences construites. Mais ce modèle de gestion rencontre des difficultés à assurer la disponibilité et le plein engagement des partenaires (Benghozi, 2006).

La CBC se trouve dans une situation intermédiaire, l'incertitude technique et de la demande et la concurrence intense génèrent un effet particulier. Comme dans les systèmes complexes, la CBC dépend de partenariats pour se développer. Les difficultés de gestion

de la collaboration (délais, gestion de l'information...) sont aussi présentes. En revanche, comme dans la gestion de projets culturels, la CBC privilégie des formations comprenant un petit nombre de partenaires de compétences bien identifiées où chacun participe à la production à son niveau de connaissance.

Une série de projets initiaux est réalisée intra et inter-structures afin de stabiliser le découpage technique et, une fois atteint l'objectif, la situation se modifie. L'identification du découpage technique permet une augmentation de l'autonomie des acteurs dans le processus. Les partenaires participant aux étapes moins innovantes du processus assument un rôle de collaborateurs périphériques, similaire à celui des intérimaires du domaine de la culture. Le(s) acteur(s) faisant partie des étapes plus innovantes, eux, continuent à développer de connaissances à chaque projet et à les absorber à l'intérieur des centres (sans échange avec les partenaires). Si des problèmes techniques sont clairement identifiés à la transition dans le découpage technique, alors des projets ponctuels peuvent être mis en place pour solutionner le problème² (Figure 16).

² Nous faisons une parenthèse pour les cas particuliers lors du financement public des projets de CBC (le cas de financements européens). Dans ces cas, plusieurs acteurs innovants peuvent être amenés à développer certains aspects de l'innovation en groupe. Cependant, les innovations générées sont exploitées individuellement par la suite. La logique principale n'étant pas de développer un produit fruit d'un partenariat, mais d'obtenir le financement nécessaire pour développer des « noyaux de connaissances » indépendants qu'iront augmenter le savoir-faire interne de chacun des partenaires.

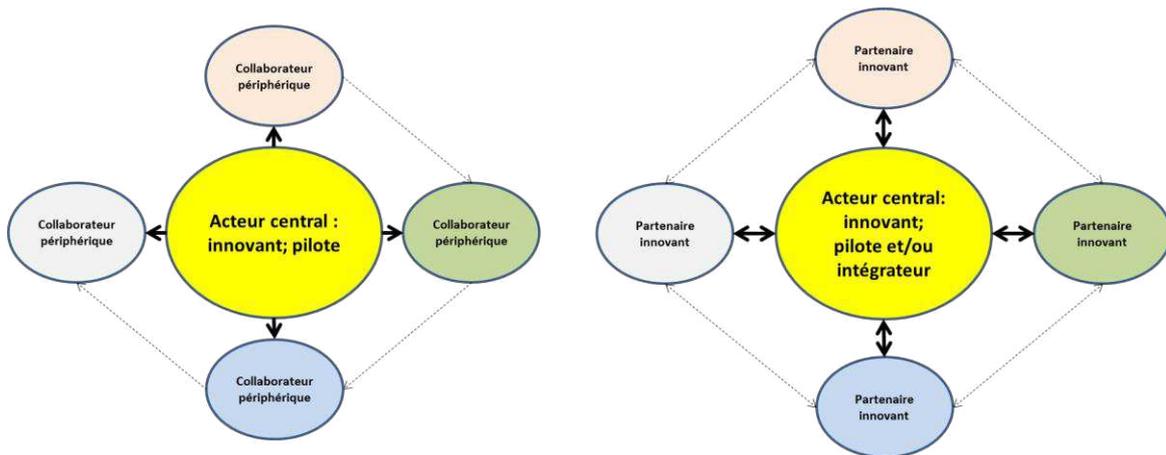


Figure 16 : Formation des partenariats pour la production dans : la CBC (gauche) et les systèmes complexes (droite).

Légende : Dans la CBC l'organisation de la production est centralisée par l'acteur central qui est le producteur de l'innovation. Les partenaires, spécialistes dans leurs domaines exécutent les ordres ponctuelles de l'acteur central et ne participent pas forcément à la recherche pour l'innovation dans la CBC, sauf en cas de besoin détecté par l'acteur central. Dans les systèmes complexes, il existe un acteur central pour harmoniser le processus de production mais les différents acteurs de la chaîne possèdent des projets innovants indépendamment ou en partenariat avec l'acteur central et/ou les autres partenaires du système.

La gestion de l'innovation est donc abordée de manière simple et centralisée selon un modèle de course de relais (Takeuchi et Nonaka, 1986). L'acteur centralisateur génère et maîtrise l'information liée à l'innovation. Cependant, dans cette situation, le processus d'innovation est allongé puisque dépendant de la capacité innovante d'un seul acteur. Par conséquent, malgré la simplicité et le pragmatisme de ce type de gestion, cette situation engendre le risque de limitation de la créativité. Par ailleurs, l'incertitude technique peut persister.

II.3.2. Stabilité vs flexibilité : la difficulté de la gestion par projet

L'incertitude de demande complexifie la gestion de stock, le lancement de la production et la stabilisation des équipes. Osborn (1998) a synthétisé la problématique rencontrée par les entreprises complexes sous le nom de 'paradoxe de l'agilité'. Selon l'auteur, les changements rapides des marchés globaux imposent aux entreprises un double enjeu : la flexibilité afin de répondre aux menaces concurrentielles et une stabilité suffisante pour apprendre et croître à partir des forces internes.

Cet enjeu est d'autant plus réel pour les acteurs de la CBC. La stabilité de la structure est nécessaire pour générer des connaissances et innover. La flexibilité peut faciliter la gestion de l'incertitude liée à la production par projets et à la faible maîtrise des facteurs biologiques. Cependant, la gestion de la structure permanente et des productions par projets limitées dans le temps peut se compliquer à cause des problèmes liés aux différents horizons d'action de chaque partenaire. Cette caractéristique est commune à d'autres formes de gestion impliquant la participation de multiples acteurs dans la gestion de projets (Giacomini et Sardas, 2011 ; Benghozi, 2006).

Ces problèmes génèrent une situation de nervosité due au risque d'abandon de projet ou de non-respect des délais de livraison et résultent en une difficulté d'atteindre l'équilibre financier. Dans la CBC cette situation est renforcée par le caractère intuitif de la gestion de la production associé à la variabilité du matériel biologique. En effet, la forte incertitude liée aux aspects biologiques complique la recherche de solutions structurées pour leur gestion.

II.3.3. La CBC implique la gestion de « machines biologiques »

Des êtres vivants peuvent être amenés à participer à la production dans la CBC. Dès les simples organismes unicellulaires jusqu'aux animaux les plus complexes, ils peuvent se voir attribuer une fonction déterminée dans la chaîne de production.

Contrairement à l'homme, ils ne possèdent pas un contrat de travail ni ne reçoivent de salaires pour réaliser des tâches. Nous pouvons donc établir que ces êtres vivants ont un statut particulier dans la chaîne de production.

Afin de faciliter leur appellation et par conséquent, la compréhension de leur rôle dans la production, nous adopterons le terme « machine biologique ». Le terme est un rapprochement rude avec le statut de « machine » que les animaux de rente et de transport avaient jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle. En effet, les animaux étaient considérés comme de simples instruments de production, dont on ignorait toute forme de sentiment ou d'intelligence.

En empruntant ce terme nous ne considérons pas que cette notion de machine empruntée auparavant soit parfaite. Seulement, nous souhaitons faire comprendre que des êtres

vivants participant au processus de production réalisent des tâches et doivent être correctement entretenus pour les réaliser. Cette considération est plutôt valorisante pour ces êtres vivants puisqu'elle souligne leur importance dans le processus et permet de planifier au mieux leur activité et leur entretien.

Cette observation a une implication directe sur les questions de planification. Tout d'abord, l'entretien de ces machines biologiques demande une source d'énergie spécifique, parfois chère, parfois volumineuse et contraignante. Il demande aussi un entretien journalier, indépendamment de l'état de marche. Une machine biologique au travail consomme à peine plus qu'une autre au repos. Par ailleurs, tout déséquilibre dans la provision d'énergie peut engendrer une chute dans la production et des « pannes » plus fréquentes. La manutention demande une main d'œuvre spécialisée dans le domaine biologique (vétérinaire, maréchal ferrant, palefrenier, etc), une main d'œuvre qui connaisse suffisamment bien cet « engin » afin d'identifier tout problème biologique le plus tôt possible et éviter la « panne totale ».

Parallèlement, les cycles biologiques déterminent leur capacité de production. Cela revient à dire que le management de ces machines biologiques implique une optimisation de leur utilisation prenant en compte les aspects physiologiques impliqués dans le processus. La connaissance de ces aspects permettra la maîtrise des cycles biologiques et la compréhension sur le moment de démarrer ou écarter une machine du processus de production.

Les acteurs de la CBC s'occupent prioritairement de la gestion physiologique de ces machines biologiques sans pour autant formaliser l'optimisation de leur utilisation. De cette façon, les coûts liés à leur entretien peuvent être négligés ou sous-estimés. Dans le cas du clonage équin, ces coûts représentent jusqu'à 80% du coût de production. Tout en ayant l'air très simples, ces spécificités liées aux machines biologiques rajoutent une dimension de complexification à la CBC.

II.4. LA PLANIFICATION OPERATIONNELLE DANS LES CBC : VERS UN MODELE ADAPTE³

En l'état actuel des connaissances, nous ne souhaitons pas proposer de modifications dans l'organisation du système de production. L'objectif de ce concept est de formaliser le raisonnement de l'adaptation d'outils de planification industrielle aux besoins de la CBC. La première étape de l'exercice a été une adaptation ou la création d'une équivalence entre certains termes industriels et le langage biologique. De ce fait, nous avons par la suite une petite liste de termes adaptés.

Les termes nécessitant une adaptation à la CBC :

- Composant : un élément de base d'un processus biologique. Il peut s'agir d'une cellule, d'une molécule, etc.
- Assemblage de composants : une manipulation effectuée sur un ou plusieurs composants afin d'obtenir un élément plus complexe ou plus approprié pour une utilisation ultérieure. Dans le cas du clonage : l'énucléation d'un ovocyte, suivi de l'injection d'une cellule et leur fusion, représente une séquence d'assemblage.
- Atelier : espace où se réalisent les activités d'un sous-ensemble de la production.

Caractérisation du système de production :

Le système de production est envisagé pour supporter la conception et la production de quelques produits selon un système de « quasi-prototypage ». La production est gérée sous forme de projets. Les produits sont obtenus par l'assemblage de n composants issus de manipulations biologiques dans m ateliers (ensemble de laboratoires) organisés en cascade.

Les défis de la production :

Les défis économiques (survie, stabilité, flexibilité, respect de délais de production, contrainte d'innovation) sont évidents. Par ailleurs, les capacités de production ne sont pas toujours très suffisantes et parfois sont très coûteuses. Il est nécessaire de réaliser des

³ Ce chapitre s'appuie sur l'article « **Reis A.P, Nakhla M.**, 2012. Conception et planification dans les biotechnologies innovantes. Le cas du clonage équin. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 31 :1, p.35-58 ».

efforts de planification de la production afin de satisfaire aux besoins du consommateur de manière plus économique et efficace.

La rareté des fournisseurs, le caractère expérimental de la production et la variabilité biologique et l'intégration de machines biologiques à la production sont les principaux facteurs à l'origine des difficultés de la formalisation de la planification. Par conséquent, un programme adapté de planification doit prendre en compte l'horizon de production, la nomenclature et le découpage technique représentant le passage de responsabilités entre les équipes.

Le concept de planification de la production propose de mettre en évidence les principales phases de la planification : la détermination de l'horizon de production, la variabilité du rendement technique, le découpage technique et l'interaction entre composants de chaque article dans une nomenclature spécifique. Ce sont des étapes typiques de la planification industrielle. La spécificité du concept proposé concerne les trois difficultés spécifiques à la CBC :

- La variabilité biologique. Actuellement cette caractéristique est prise en compte de manière presque aléatoire. Nous la prendrons en charge en considérant que chaque article est le résultat d'un processus d'expérimentation biologique où l'on accepte un certain nombre d'échecs (avant l'obtention d'un succès), ce qui peut être représenté par une loi de Pascal. La nomenclature peut être considérée comme un vecteur de probabilité de réussite des différentes étapes de la CBC ;
- Le possible éloignement géographique des ateliers qui contribuent à la fabrication des différents articles qui s'approvisionnent auprès d'un nombre réduit de fournisseurs. La prise en compte de cette question comprend le raisonnement sur l'éloignement maximal accepté entre les ateliers.
- Gestion de machines biologiques. La prise en charge de cet aspect de la gestion comprend la considération des facteurs physiologiques et des incertitudes biologiques associées à ces machines afin d'optimiser l'affectation de tâches et réduire les coûts d'exploitation.

Le concept suppose une combinaison des méthodes MRP, PERT et de programmation linéaire (pour l'affectation de tâches aux machines biologiques) Nous décrirons brièvement les principales pistes poursuivies pour le choix de ces outils.

II.4.1. Le stock comme levier essentiel

La périssabilité et les caractéristiques physiologiques de la matière première de la CBC rendent son stockage difficile. Cependant, l'utilisation d'outils pour la gestion du stock nous permet d'approcher la question de l'approvisionnement sous incertitude. Cette incertitude est représentée surtout par la variabilité biologique du matériel et les variations de capacité de production des fournisseurs. En plus, cette approche permet d'évaluer, au niveau stratégique, la capacité d'un fournisseur à supporter la production.

Ainsi, la littérature apporte différentes approches de la prise en compte des aléas dans la planification basée sur MRP :

- La modélisation de l'incertitude par des variables aléatoires et le calcul à chaque niveau de la nomenclature de la variance de la demande en composants, permettent de dimensionner la taille des stocks de sécurité (Büchel, 1982).

- La protection contre l'incertitude en majorant ou en allongeant artificiellement les délais d'obtention (Wijngaard et Wortmann, 1985 ; Guerrero, et al., 1986 ; Buzacott et Shanthikumar, 1994 ; Molinder, 1997 ; Chang, 1985). Cette stratégie de majoration des délais a pour inconvénient d'aboutir à une accumulation d'encours aux différents niveaux de la nomenclature sauf s'il s'agit de contrer un problème de qualité d'un composant par une majoration correspondant à une moyenne de composants défectueux.

- la possibilité de se protéger contre l'incertitude par des délais de sécurité en analysant l'arbitrage entre stocks de sécurité et délais de sécurité en fonction de la fiabilité des prévisions, des capacités de production, du coût de possession et du coût de rupture (Buzacott et Shanthikumar, 1994).

D'autres auteurs ont examiné la question de la localisation des stocks de sécurité dans une planification MRP de produits standardisés. Leur objectif est de maximiser le niveau de service en répartissant sur les différents niveaux de la nomenclature une valeur donnée de stock de sécurité par une approche analytique (Lagodimos et Anderson., 1993).

En présence d'existence d'aléas sur les délais et la qualité, Camisullis et Giard (2010) et Camisullis et al. (2011) ont montré que si le Besoin Brut à couvrir par le lancement en production est connu, il est possible de se protéger contre une rupture de stock liée à la

possibilité que chaque pièce à livrer ait la probabilité de ne pas être conforme par l'utilisation d'un stock de sécurité.

II.4.2. Dépendance de l'interaction entre différents niveaux

Hatchuel et Sardas (1992) ont étudié l'interaction entre les étapes de planification et d'ordonnancement dans un système de planification de la production hiérarchique. Les auteurs ont montré que le respect des délais résulte d'une bonne combinaison entre MRP et PERT. Ces résultats ont été basés sur un modèle de simulation intégrant des stratégies de planification multi-niveaux. Dans l'approche proposée, le problème global est décomposé en sous-problèmes plus simples. Tous ces sous-problèmes exigent une planification qui correspond à une couche de prise de décision.

Pour le calcul des besoins, l'approche s'appuie sur un modèle de simulation. L'entreprise simulée fabrique, à la commande, une grande variété de produits, sans tenir compte des composants communs entre plusieurs produits, dans trois ateliers en cascade, chacun dédié à un niveau de nomenclature. A chaque produit, on affecte une gamme et on identifie chaque opération de la chaîne par un numéro machine et un temps opératoire standard, généré suivant une loi uniforme $\mu(1,99)$. Pour avoir une vision plus réaliste de l'environnement, on multiplie ce temps par un coefficient k généré aléatoirement. On obtient ainsi un temps « réel » et on considère que chaque machine peut réaliser une infinité d'opérations.

Pour anticiper les aléas d'assemblage, les auteurs introduisent dans le calcul du délai de réalisation de chaque article, un temps inter-opératoire pour modéliser l'existence des files d'attente à l'entrée des postes de travail et une marge d'ordonnancement, qui sert à anticiper les pannes, les retards d'approvisionnement et même les changements des besoins des clients. Des marges sont ensuite attribuées aux articles situés sur le chemin critique.

D'autres auteurs comme Ng et al. (2003) simulent le fonctionnement d'un système de production composé de N échelons, avec des délais d'approvisionnements aléatoires et comparent différents types de politiques de stock. Martel (2003) s'intéresse au fonctionnement d'une chaîne logistique composée de trois niveaux, qui utilisent des politiques de re-complètement périodique avec des délais d'approvisionnement

prédéterminés, pour définir des politiques de planification glissante permettant de gérer efficacement les flux.

Ces approches reposent implicitement sur une coopération entre différents niveaux de la chaîne et n'envisagent pas l'autonomie décisionnelle de chaque maillon. On se place donc ici dans le cadre d'une autonomie décisionnelle des maillons de la chaîne. Au niveau de chaque atelier, chaque manipulation comporte un risque de mise au point et donc de rupture du flux à son niveau.

Dans le cas de la CBC, l'obtention du produit final suit une distribution qui correspond à la combinaison d'aléas correspondant à des probabilités de réussite des processus de conception de chaque composant. Si ni le délai, ni le plan de conception et de production ne sont flexibles, le recours à une nomenclature flexible peut aider à faire face à des situations d'aléas.

Ram et al (2006) ont mobilisé ce concept pour faire face aux aléas en utilisant MRP pour planifier les besoins en articles dépendants et substituables. Ces auteurs ont élaboré un modèle qui permet de générer, selon le profil du plan de production, des nomenclatures avec des quantités optimales choisies, pour chaque composant, parmi un ensemble de quantités possible.

Selon ces auteurs, les exigences énoncées dans le plan de production sont remplies, en temps opportun en permettant la substitution des éléments les uns des autres en cas d'une pénurie. Un modèle d'optimisation permet de calculer ensuite ces quantités optimales. Le modèle identifie un «mélange» d'éléments de niveau inférieur qui répondent à la pénurie et minimisent l'écart par rapport à la nomenclature par défaut. Ram suppose connu l'ensemble des valeurs possibles de chaque composant et une substituabilité, ce qui n'est pas notre cas ici.

II.4.3. L'optimisation des coûts liés à la gestion des machines biologiques

La combinaison des connaissances zootechniques (ou biologiques) à la recherche opérationnelle (RO) permet d'améliorer la gestion des machines biologiques. La recherche opérationnelle permet d'optimiser les coûts et d'augmenter la performance industrielle. Ses méthodes favorisent la gestion de la production face aux aléas de demande et

d'approvisionnement (Peidro et al., 2009). La multitude de questions abordables par la RO a généré une multitude de méthodologies puisque des planifications et stratégies industrielles différentes demandent une stratégie spécifique de planification opérationnelle (Kreipl et Pinedo, 2004).

La production animale emploie la recherche opérationnelle pour atteindre des objectifs variés tels que l'optimisation de la consommation et de la production des animaux de rente – viande ou lait (Gaffy et Gyles, 2003 ; Wang et al. 2000) ou encore l'optimisation du statut sanitaire d'un cheptel (Hart et al. 1998). Ces méthodes peuvent être aussi utilisées pour optimiser la gestion du remplacement d'animaux (Dijkhuizen et al. 1989, Demeter et al. 2011 ; Heikkilä et al. 2008).

Nous utiliserons cette approche pour optimiser l'affectation de tâches aux machines biologiques. Cette application est fondamentale lors que le processus inclut une forte incertitude liée à ces machines (reabsorptions, avortements, réticence aux traitements hormonaux, etc).

Les connaissances zootechniques sont spécifiques à chaque type de machine biologique et sont nécessaires pour proposer la formulation du problème opérationnel.

En conclusion, un concept de planification pour la CBC doit considérer, de façon hiérarchique :

- Les difficultés d'approvisionnement, la variabilité biologique de la matière première (et le temps correspondant pour l'obtention d'un article) et la gestion des machines biologiques.
- La combinaison d'outils de planification industrielle tels que le MRP, le PERT et la recherche opérationnelle (par exemple : la programmation linéaire) permettent de comprendre et pallier les problèmes et difficultés de planification rencontrés par les acteurs.

Ce modèle permettra d'optimiser les coûts de production tout en respectant les délais de livraison.

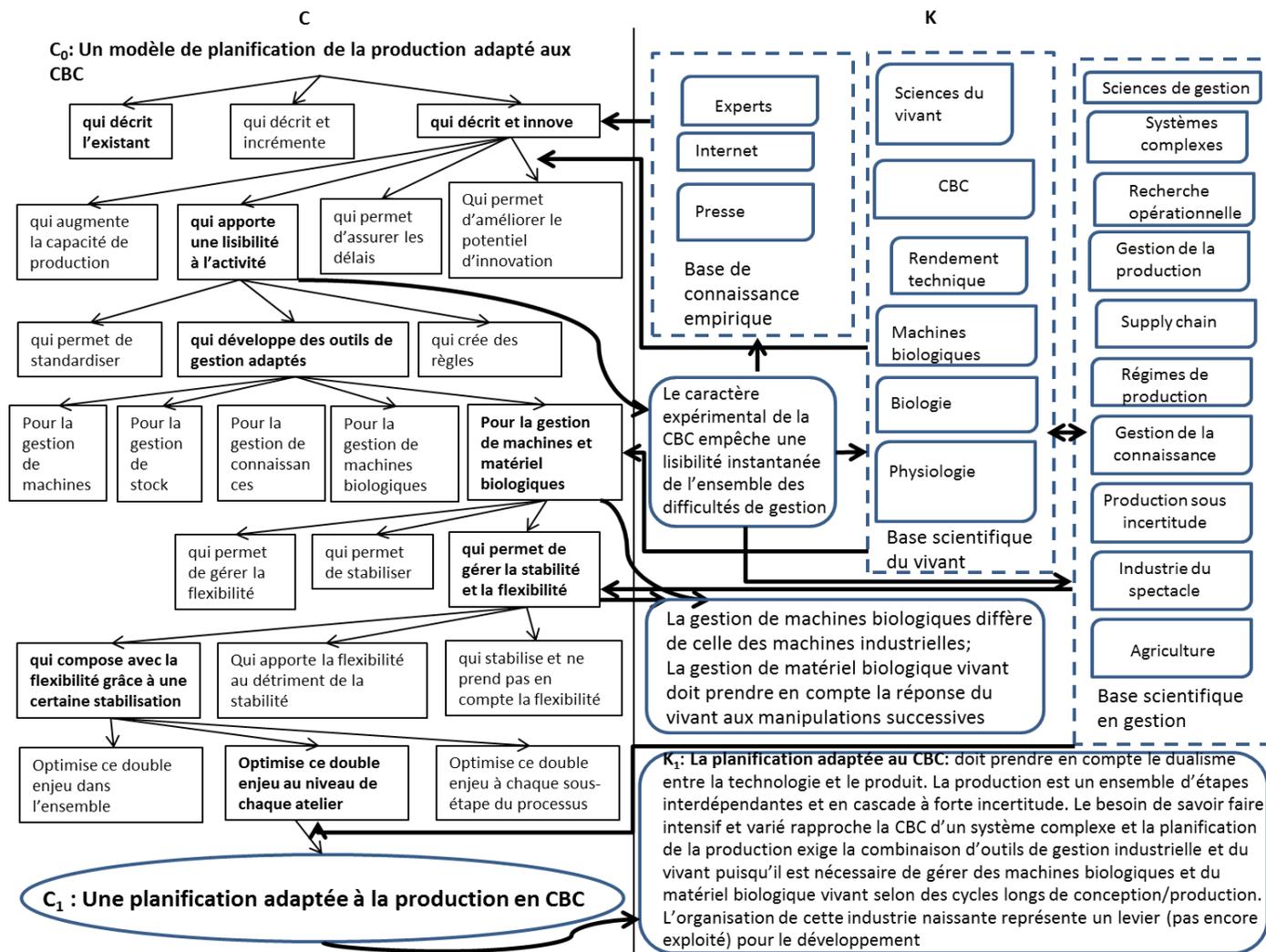
II.5. FORMALISATION DU CONCEPT DE PRODUCTION EN CBC

A partir des analyses théoriques des difficultés de planification rencontrées par les acteurs, nous avons identifié trois niveaux importants pour la planification de l'activité de CBC : la planification de la production proprement dite, la génération d'innovation et la gestion de partenariats pour la production et pour l'innovation.

La planification de la production proprement dite dépend i) de la détermination de l'horizon de production et de l'identification des ateliers de production, permettant d'identifier les connaissances et savoir-faire nécessaires, ii) de la coordination de l'interaction entre les différents partenaires de la production et iii) d'une formalisation des étapes de production de façon à identifier les composants, à inclure une zone de flexibilité adaptée à la variabilité biologique et à formaliser la gestion des machines biologiques.

Au niveau de la génération d'innovation, un acteur de la CBC doit apporter un regard sur des possibilités alternatives de valorisation de la technologie ou sur des utilisations différentes de la technologie. Parmi ces alternatives nous citons le développement de produits ou de technologies intermédiaires et/ou complémentaires commercialisables. Par ailleurs, il serait possible de se demander et de réfléchir sur d'autres formes de développement possibles si l'objet étudié était modifié : le produit et/ou le client. Ce champ peut être riche en propositions.

Finalement, les formes de partenariat et leur gestion pour l'innovation dans la CBC sont importantes. La forme actuelle de partenariats (un acteur central qui dicte le rythme de la production et qui concentre les efforts d'innovation sur soi) semble contribuer au ralentissement du progrès technologique. D'autres formes de partenariat, impliquant tous les partenaires dans le processus d'innovation, peuvent contribuer au potentiel d'innovation et à la performance des acteurs par une amélioration du rendement sur l'ensemble de la chaîne de production. Par ailleurs, une unité de pilotage adaptée à l'industrie permettrait de coordonner production et innovation en accordant les activités des différents acteurs.



Note : Le concept initial proposé (C₀) a résulté dans une solution adaptée pour la planification de la production dans la CBC. Les propositions dans l'espace C ont permis de construire progressivement la solution grâce à des interrogations dans l'espace K suivies ou non d'adaptations au concept. Les flèches qui partent d'une brique et génèrent d'autres briques dans le domaine des concepts (C) représentent des partitions successives, nécessaires au raisonnement expansif de la conception. Les flèches sortant du domaine des connaissances (K) vers le domaine C représentent les moments de mobilisation de K pour faire évoluer le concept (disjonction de K en C). Les flèches partant de C vers K représentent des conjonctions de (C) en K. A ce moment, le concept à un statut logique et ses principales caractéristiques sont identifiées. Il peut être réintégré dans le domaine K en tant qu'une connaissance nouvelle. Ce concept ira alimenter les bases de connaissance scientifique et de gestion du vivant.

Figure 17 : Processus de définition du Concept de production en cas de CBC.

II.5.1. L'application du concept au clonage équin

La complexité du processus du clonage demande une analyse des données de production sous forme de sous-ensembles de façon à faciliter la hiérarchisation des décisions. L'objectif final est d'obtenir plus de précision sur le contrôle de l'activité de production et de permettre l'harmonisation des chemins critiques en assurant un découpage pertinent des postes de travail et des responsabilités des ateliers. Les données ont été obtenues à partir d'observations, de la révision de la littérature et d'avis d'experts.

Pour appliquer le concept, un maximum d'informations « entrantes » a été réuni pour être ensuite combinées afin de générer les possibilités d'organisation, comme illustré dans la Figure 18.

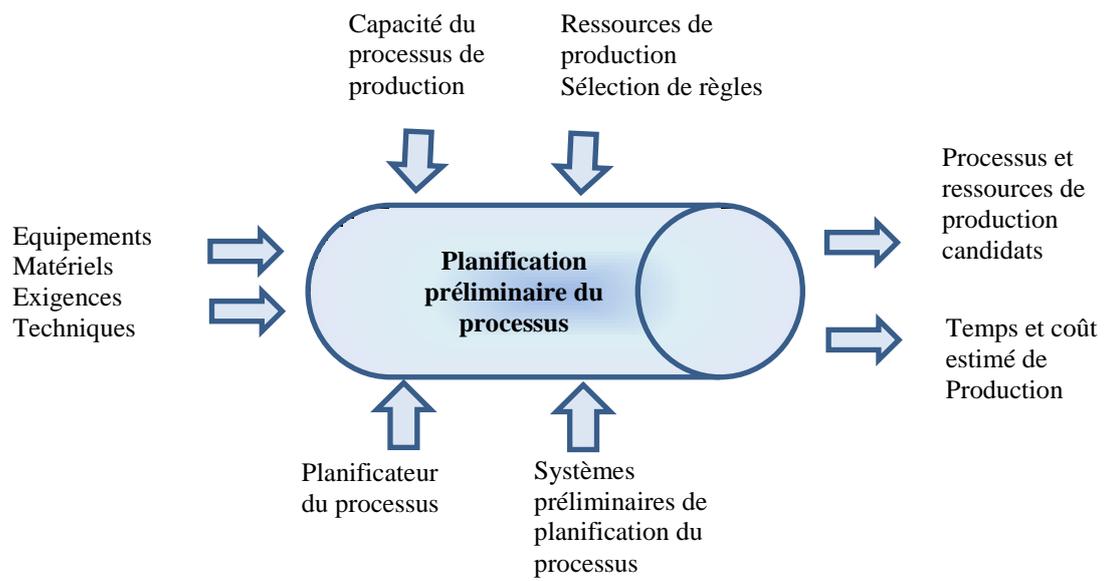


Figure 18: Processus de planification préliminaire de l'activité.

II.5.2. Identification des ateliers de production

Les systèmes de production du clonage sont constitués de trois ateliers principaux : un atelier de cellules, un atelier d'ovocytes et un atelier d'animaux (Figure 19).

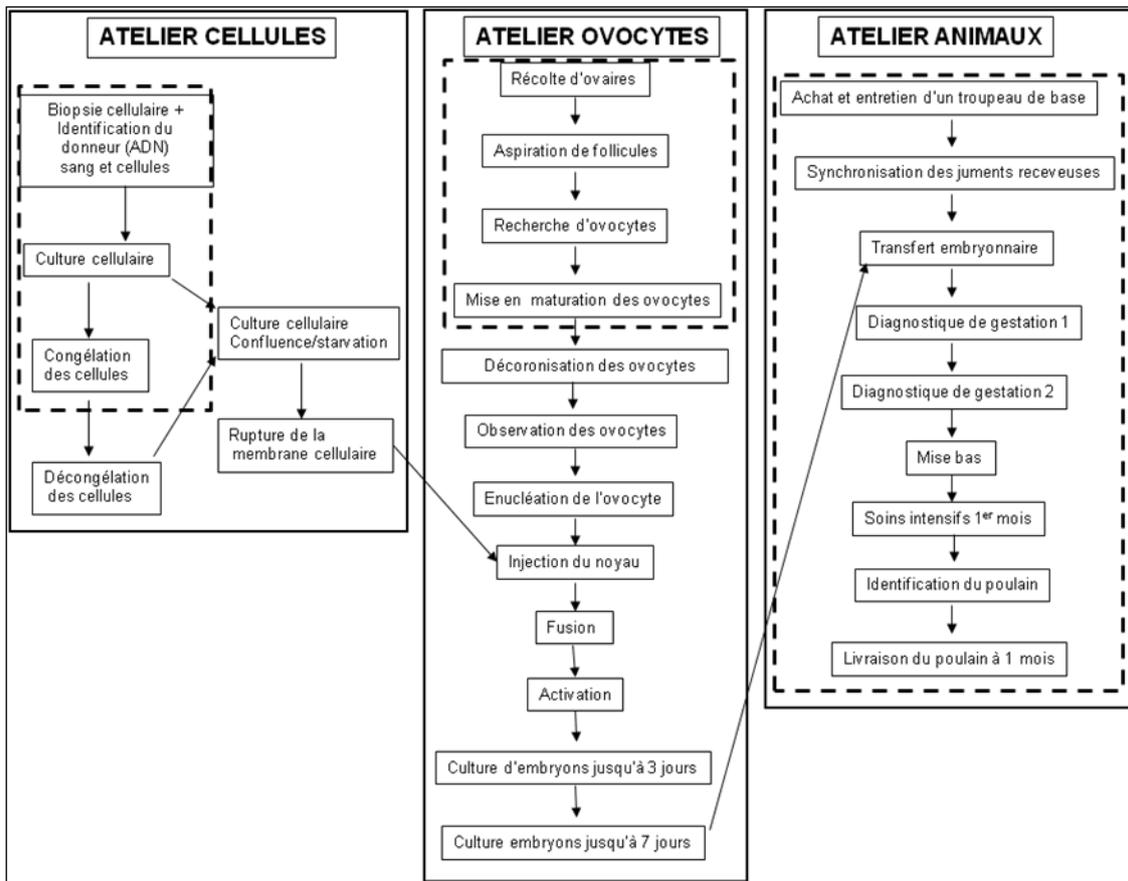


Figure 19: Les trois ateliers d'un système de production du clonage équin.

1 Partie de l'atelier passible d'être indépendante du laboratoire de clonage.

Dans l'atelier cellules, les biopsies sont préparées pour la culture, les cellules sont multipliées et ensuite celles qui ne sont pas destinées à une utilisation immédiate sont congelées et stockées. Lors du clonage proprement dit, la préparation des cellules pour cette fin se fait dans cet atelier. Cette préparation comprend la décongélation des cellules stockées et leur mise en culture jusqu'à une confluence de 95% ou en privation de sérum, de façon à ce qu'elles soient au stade du cycle cellulaire idéal pour le clonage. Cet atelier est relativement simple, nécessite peu d'équipements, peu de main d'œuvre et présente un faible pourcentage de perte.

Le deuxième atelier, « ovocytes », est plus complexe. Il nécessite des équipements technologiques de pointe et dont la valeur ajoutée est élevée. C'est ici que le clonage proprement dit est réalisé à travers l'enucléation d'un ovocyte et l'injection d'un noyau de

cellule somatique. La main d'œuvre requise est très spécialisée. Le choix des équipements à utiliser dans cet atelier doit être rigoureux afin d'éviter des problèmes d'incompatibilité entre l'équipement et la fragilité des cellules à manipuler et d'aider à optimiser la performance de la micromanipulation. Par exemple, un bain-marie dont la température oscille légèrement peut être nocif à la qualité des ovocytes.

Dans cet atelier, plusieurs étapes se succèdent dès la récolte d'ovocytes jusqu'à la culture embryonnaire. Dans l'état actuel de cette technologie, cet atelier présente un fort taux d'échec lié à la variabilité du matériel biologique.

Le troisième atelier, « animaux », demande des équipements relativement simples mais s'avère très coûteux et demande une bonne capacité technique d'entretien et de gestion des animaux. Il sert au transfert des embryons produits dans l'atelier ovocytes dans des juments receveuses. Une bonne maîtrise de la technique de transfert embryonnaire est requise. Le coût lié à cet atelier est dû principalement au grand nombre de juments nécessaires, à leur entretien et au suivi vétérinaire des juments et des nouveau-nés.

Ces trois ateliers peuvent être intégrés dans une même organisation ou éclatés entre plusieurs structures appartenant ou non à une même entreprise intégratrice. Les activités passibles d'être sous-traitées sont la préparation des biopsies pour la congélation, la récolte et la mise en maturation des ovocytes et les activités liées à la gestion des « animaux » (Figure 19).

II.5.3. Caractérisation industrielle de la production

Les ateliers identifiés sont les entités participant à la production de clones. Leur activité pourra maintenant être examinée en tant qu'activité industrielle permettant de proposer des méthodes de planification adaptées à la CBC.

II.5.3.1. Production en quasi-prototypage et des cycles de conception longs et incertains

La planification opérationnelle de l'activité s'approche de celle de la production de prototypes où il est nécessaire de gérer les priorités des commandes différentes et la répartition des ressources rares.

Les cycles de conception unitaires peuvent aller de plusieurs mois à plusieurs dizaines de mois. La planification de cette activité peut donc être assimilée au MRP où le lancement d'un produit à partir d'un plan de production se calcule au plus tard en partant d'une décomposition en activités (articles), l'ensemble constituant une nomenclature.

L'horizon de planification se décompose en un horizon gelé et un horizon non-gelé. La durée de l'horizon gelé ne peut pas être modifiée. Ce dernier définit le point de découplage entre les différentes activités. Dans le souci de générer un plan préalable de planification de la production, nous avons identifié les activités inscrites dans ces deux types d'horizons (Figure 20).

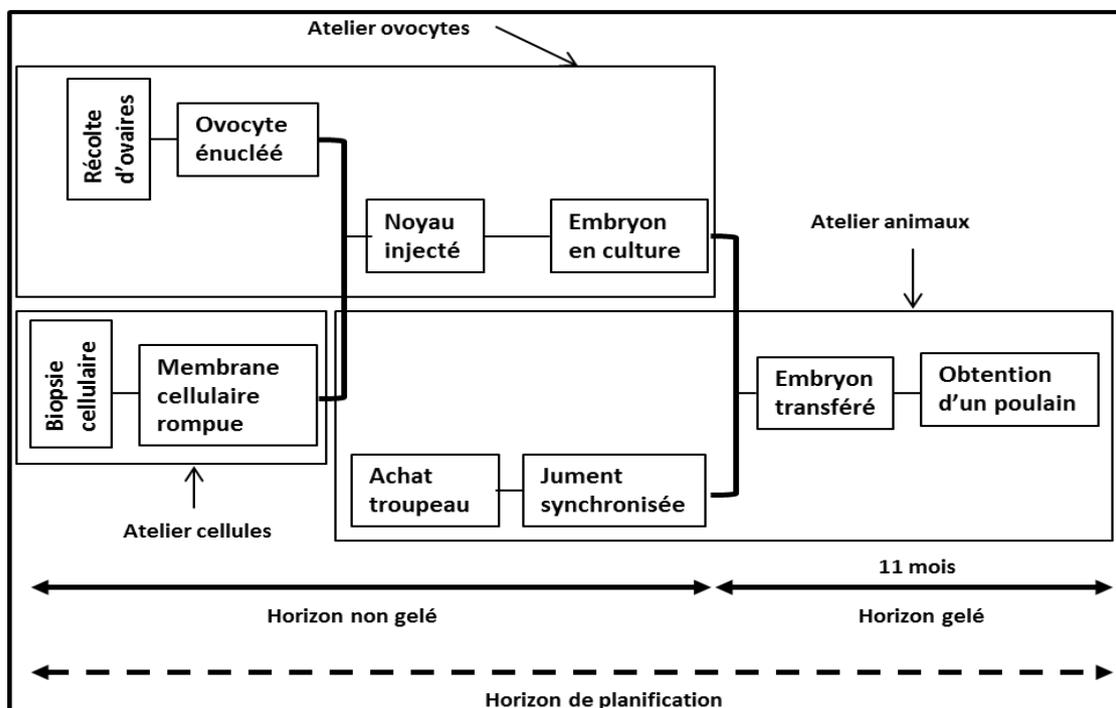


Figure 20: Système de production du clonage.

II.5.3.2. Une nomenclature d'apparence simple

La connaissance de la nomenclature arborescente permet de décider sur l'ordonnancement et la gestion des priorités en regard de la planification d'ensemble et les ré-planifications qui déstabilisent les prévisions.

Plusieurs logiques d'action sont proposées (Adam et al. 1987 ; Bean et al. 1991). Notre modèle partira de la définition des lead times (LT) des différents composants. Ceux-ci sont extrêmement variables. Les manipulations peuvent durer moins d'une minute ou plusieurs jours. Cette nomenclature est supposée être la nomenclature par défaut.

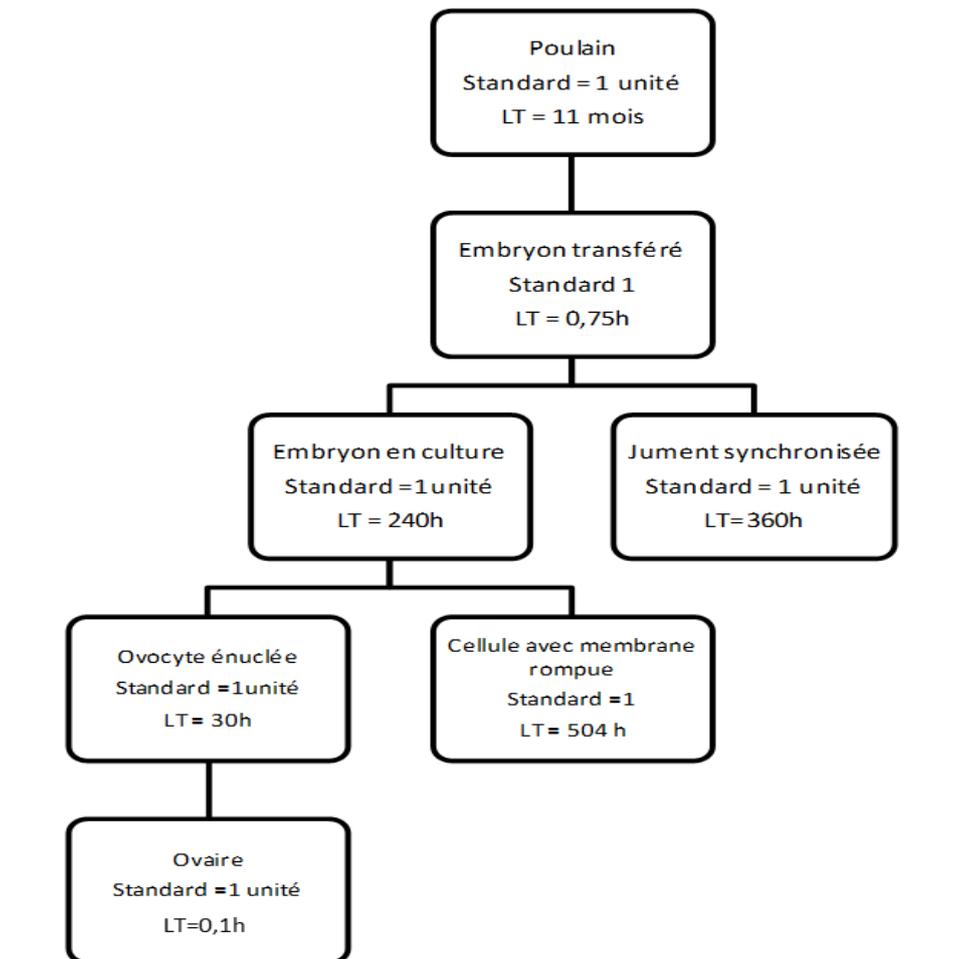


Figure 21: Nomenclature standard avec quantités fixes.

II.5.3.3. Détermination des quantités de composants

La prochaine étape consiste à établir la quantité de composants nécessaire au processus. Elle permettra de proposer une nomenclature flexible reposant sur l'allocation d'une zone de tolérance à chaque composant intermédiaire. Les limites de cette flexibilité sont Q_i (la quantité standard du composant i), l_i (limite inférieure), et u_i (limite supérieure).

Pour construire ces limites, nous avons constitué une base de données à partir des informations fournies par les laboratoires visités et les publications ayant abouties à des clones vivants et viables à 1 mois après la naissance (Hinrichs et al. 2007 ; Hinrichs et al. 2006, Lagutina et al. 2005). Les études menées jusqu'au stade blastocyste n'ont pas été prises en compte pour éviter d'introduire un biais sur le rendement global.

Nous supposons que la nomenclature de planification C décrit la structure moyenne d'utilisation des composants pour un produit fini. Chaque produit fini fait appel à un même ensemble de composants différents biologiquement et contribuant à la diversité finale. Ce vecteur C peut être considéré comme un vecteur de probabilité d'utilisation de composants alternatifs (Camisulis et Giard, 2010). Dans ce contexte, l'utilisation d'un ensemble de composants peut être assimilée à une loi multinomiale $M(N,C)$ dans laquelle N est le nombre d'expérimentation dans un atelier donné et C l'ensemble d'activités concernées.

Tableau 8: Fourchette de rendement du clonage équin.

Phase	Rendement		
	Minimum (%)	Moyen (%)	Maximum (%)
Mise en maturation	100	100	100
MII	61,09	63,19	64,98
Enucléation	89,24	91,39	92,59
Injection de cellule	91,09	92,05	92,83
Fusion/Activation	79,90	81,46	82,45
Clivage	56,39	57,95	59,54
Blastocyste	5,05	6,03	7,15
Transfert / 1/3 gestation	11,89	17,14	23,60
Terme vivant	54,55	84,62	98,08
Vivant à 1 mois	39,03	72,73	93,98
Rendement global	0,03	0,16	0,43

L'agrégation des rendements de chaque étape successive permet de quantifier l'incertitude de cette technologie (Rendement global – Tableau 8).

En faisant l'hypothèse que l'obtention d'un composant peut être représentée par une variable aléatoire X qui suit une loi de Pascal de paramètres r et p . X admet alors une espérance :

$E(X)=r(1-p)/p$ et une variance $V(X) = r(1-p)/p^2$

p étant la probabilité d'obtenir un composant viable

X le nombre d'échecs précédant le r -ième succès

Les résultats de ces estimations sur 1000 mises en maturation sont donnés dans le Tableau 9.

Table 9: Estimation des probabilités de rendement.

<i>Phases</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart type</i>
Mise en maturation	1000	-
Dénudation	979,9	8,44
MII	619,19	32,30
Enucléation	565,885	44,31
Injection	520,897	47,644
Fusion	424,323	48,106
Clivage	245,895	37,1
Blastocyste	14,827	5,895
Gestation avancée	2,541	2,363
Arrivé à terme vivant	2,15	2,727
Vivant 1 mois après	1,564	2,932

Les estimations ont été obtenues à partir de la mise en maturation de 1000 ovocytes.

Ces résultats sont repris dans la nomenclature de la Figure 21. La «nouvelle nomenclature» n'est pas utilisée directement (Ram et al., 2006). Les valeurs Q_i sont calculées en résolvant un programme d'optimisation avec la contrainte principale de s'approcher le plus possible de la nomenclature standard. Les calculs des besoins sont effectués en utilisant les résultats du modèle d'optimisation.

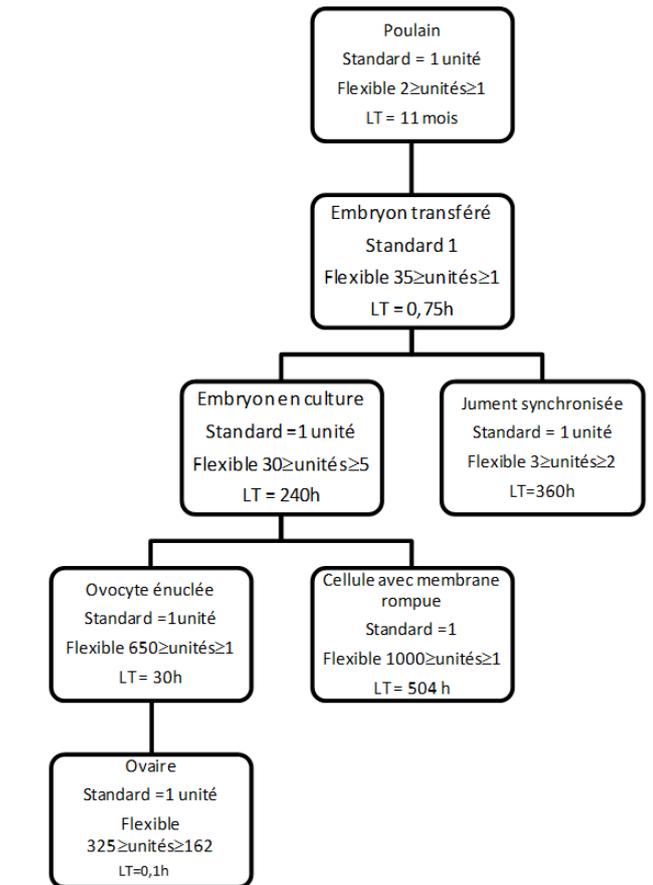


Figure 22: Nomenclature avec quantités variables.

En posant :

Q_i : la quantité standard du composant i nécessaire pour l'obtention d'un clone

Q_i la quantité ajustée du composant i nécessaire à l'obtention d'un clone

Δ_+ et Δ_- : Respectivement l'écart positif et négatif de Q_i par rapport à Q_i^s

BB_t : Besoin brut en période t de clones

St_t : Clones en stocks

RA_t : Clones en cours de livraison

l_i : limite inférieure en quantité du composant i

u_i : limite supérieure en quantité du composant i

n : nombre de composants rentrant dans la nomenclature, ici $n = 6$.

Le programme d'optimisation en nombres entiers est donné par la minimisation de l'écart entre la nomenclature standard et la nomenclature flexible : $\text{Min } \sum \Delta_i^+ + \Delta_i^-$ avec $i = 1, \dots, 6$

Les contraintes principales concernent le respect des limites de variation des Q_i et les délais d'obtention des composants LT (Lead Time).

La confrontation de nos résultats aux pratiques des laboratoires visités et aux résultats publiés dans la littérature montre une focalisation sur deux composants, considérés comme critiques, le composant « ovocyte énucléé » et le composant « jument synchronisée ».

Un des principaux facteurs pouvant influencer sur le composant « ovocyte énucléé » est la distance entre l'abattoir et le laboratoire de production. Cette question émane du domaine de la négociation entre acteurs et de choix stratégiques tels que la localisation de l'atelier. Le composant « jument synchronisée » est un facteur déterminant de la planification opérationnelle puisqu'il interfère au moment du découpage technologique. Il est un problème à part entière et sa grande complexité fait appel à la programmation en vue d'optimisation. Cette question sera étudiée par la suite.

II.5.4. La gestion des machines biologiques⁴

Dans le cas du clonage équin, les machines biologiques sont représentées par le troupeau de juments qui doivent être synchronisées pour la réception d'embryons et les porter jusqu'à la naissance. La gestion de ce troupeau est la responsabilité de l'atelier « animaux ». La complexité de cet atelier est liée à l'incertitude biologique inhérente à la CBC. Lors de la détermination de la nomenclature flexible de la planification du clonage, nous avons constaté que l'atelier « animaux » est marqué par un nombre élevé d'échecs. Ils

⁴ Ce chapitre s'appuie sur une communication en colloque « **Reis A.P., Nakhla M., Abdou O.M., 2013.** Optimization of the recipient's herd in a program of horse cloning. Proceedings of the 26th European Conference on Operational Research (EURO 2013). Rome, 1-4 juillet, 2013».

peuvent être des échecs dans la synchronisation des juments pour recevoir des embryons, des réabsorptions embryonnaires (perte embryonnaire avant le 45^{ème} jour de gestation) ou des avortements (lorsque la gestation est arrêtée après le 45^{ème} jour de gestation). Ces échecs génèrent une complexification de l'organisation de cet atelier à cause des problèmes liés à l'affectation de tâches aux juments et à un éventuel besoin de re-planification de l'activité.

En effet, la production d'un clone exige le transfert de plusieurs embryons. Pour ce faire, les juments doivent être préparées pour les recevoir (grâce à un traitement de synchronisation). Certaines juments peuvent ne pas répondre au traitement de synchronisation et ne pourront pas recevoir d'embryon. Celles qui répondent au traitement pourront recevoir un ou plusieurs embryons. Chaque transfert embryonnaire peut être suivi de réabsorption, d'avortement ou de la naissance d'un poulain viable pour la livraison ou non. Cependant ces échecs ont un caractère aléatoire empêchant la détermination anticipée de la jument qui va échouer. Cet aspect influe sur la gestion du troupeau en vue d'obtenir des « juments synchronisées » pour la réception des embryons

Le Problème de la Gestion de Troupeau (PGT) peut être optimisé grâce à la recherche opérationnelle. La gestion de juments est le résultat d'une attribution dynamique de tâches à des juments selon leur disponibilité afin de répondre à un besoin de production. Le problème s'approche du problème d'ordonnancement de machines dans les systèmes de production flexible décrits par Kusiak & Finke (1987).

Afin de définir un programme de gestion de troupeaux permettant d'optimiser son utilisation et éviter les re-planifications il nous a été nécessaire d'éclairer le problème. Le travail de modélisation du PGT a été réalisé comme montre la Figure 23.

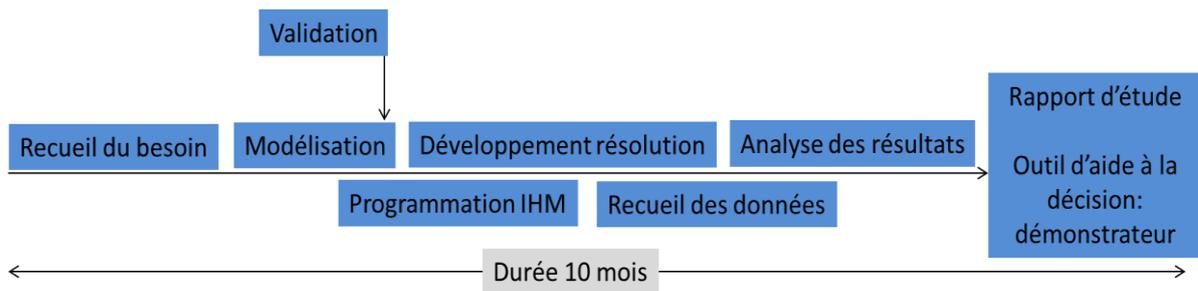


Figure 23: La modélisation du PGT.

Légende : IHM : interface homme machine

II.5.4.1. Le PGT : Une cascade d'évènements

Chaque jument joue un rôle dynamique dans le troupeau (Figure 24). D'abord, selon le besoin, les juments receveuses et quelques juments excédentaires (stock) sont achetées. Ensuite, elles sont préparées pour la réception d'un embryon (synchronisation). Puis, environ 10 jours après le TE, les juments sont soumises à un examen échographique. Les juments gestantes restent dans le troupeau de gestantes, un deuxième diagnostic de gestation est réalisé à environ 30 jours de gestation. Les juments pleines reçoivent les soins nécessaires pour assurer le bon suivi de la gestation (alimentation, vaccination, vermifugation, etc.). Tout au long du processus les juments non pleines (stock) et celles ayant réabsorbé ou avorté retournent au troupeau pour recevoir un autre embryon aussitôt que possible. Après le poulinage les juments restent dans le troupeau pendant 1 mois et ensuite accompagnent les clones livrés au client. En cas de besoin de soins spécifiques destinés au poulain nouveau-né, la jument l'accompagne en unité de traitement.

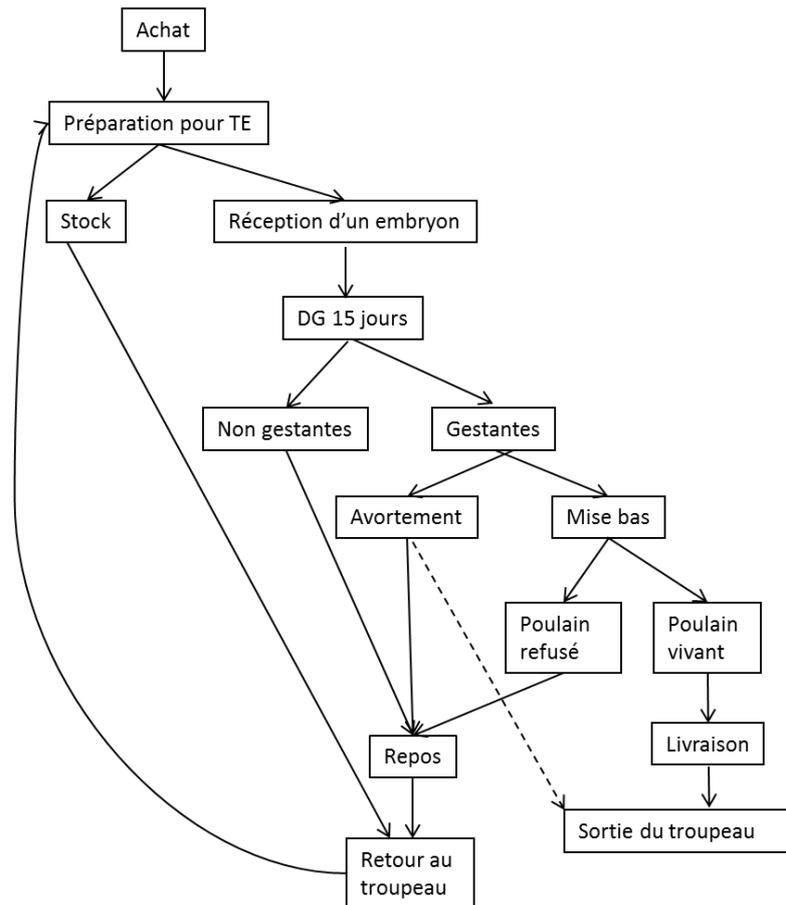


Figure 24 : La gestion des juments receveuses.

Physiologiquement, les juments ayant avorté avant le 40^{ème} jour de gestation (environ 32 jours après le transfert d'embryon) et celles ayant avorté dans le dernier mois de gestation peuvent retourner en œstrus dans le mois qui suit. Celles ayant avorté à partir de 40 jours de gestation risquent de ne pas revenir en œstrus avant la date prévue de mise bas. Le temps de repos est donc dépendant du moment de l'avortement. Ainsi, afin de simplifier le problème, nous avons considéré qu'une jument est soumise à un repos court lorsqu'elle avorte dans les 30 jours qui suivent le TE ou dans le dernier mois de gestation. Par ailleurs, un repos long est imposé aux juments ayant avorté entre 31 jours après le TE et le 9^{ème} mois de gestation.

Il existe aussi un repos hivernal, plus accentué dans l'Hémisphère Nord que dans le Sud. Dans le premier ce repos peut être réduit à l'aide d'un traitement de lumière (Guillaume et

al. 2000) ou à l'aide de l'hormone GnRH (Thorson, 2013). Dans l'Hémisphère Sud ce repos est moins marqué et peut même être inexistant dans des régions ensoleillées, surtout si les juments sont bien nourries (Cintra Filho et al. 2004 ; Camargo 2008 ; Carneiro, 2010).

Cet ensemble de facteurs variables génère la complexité du problème. La main d'œuvre ne représente pas un enjeu réel pour cet atelier car, malgré le haut niveau de spécialisation demandé, elle est facilement disponible dans les pays où l'élevage de chevaux est développé. De ce fait, le sujet central de la gestion de ces machines biologiques est la « planification du troupeau de juments ».

II.5.4.2. Les paramètres déterminants du PGT

Les paramètres déterminants pour le PGT sont :

- Le délai commercial pour la livraison ;
- Le nombre de juments nécessaires pour la production ;
- Le nombre de gestations initiales nécessaires pour la production ;
- Le profil des échecs (reabsorption, avortement) ;
- La durée de la gestation ;

Les contrats commerciaux existants prévoient un délai de 36 mois pour la livraison d'un clone. En pratique nous observons que ce délai est en général compris entre 12 et 36 mois.

Ni la littérature ni les acteurs commerciaux ne révèlent des données mensuelles détaillées sur les avortements. Même lors des interviews, les réponses restent imprécises et empêchent la détermination de limites supérieure et inférieure de pertes mensuelles. Nous avons donc construit un tableau rapportant le pourcentage moyen d'avortements à chaque mois de gestation en croisant les données de rendement technique moyen avec les données sur la fréquence plus probable des avortements, fournie par le laboratoire d'accueil. Le résultat est présenté dans le Tableau 10.

Tableau 10: Profil des avortements pendant la gestation de clones.

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Action	TE-DG	G	G	G	G	G	G	G	G	G	N	MN
Avortement et mort péri-natale (%)	57	16,7	20	0	0	0	50	0	0	0	0	50
Temps de repos si avortement(months)	1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	–

Légende : TE: Transfert d'Embryon ; DG: Diagnostic de gestation ; G:Gestation ; N: perte à la naissance; MN : Mort périnatale*

*Pour faciliter les calculs, toutes les morts (à la naissance ou en période périnatale ont été comptabilisées dans la période périnatale)

Face à ce tableau de pertes, nous nous sommes interrogés sur les stratégies de transfert embryonnaires possibles.

- II.5.4.2.1. Les stratégies de transfert d'embryon

Stratégie classique (mono transfert)

La stratégie classique consiste à transférer un embryon par jument. Cette stratégie est celle pour laquelle nous disposons de plus de données sur le rendement (école américaine et laboratoire d'accueil). Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 10. En utilisant cette stratégie nous pouvons espérer utiliser, en moyenne, 14 juments pour le transfert de 14 embryons frais afin de produire un clone livrable.

Stratégie de double transfert

Cette deuxième stratégie consiste à transférer 2 embryons par jument. Elle vise à réduire le nombre de juments nécessaire pour produire un clone, puisqu'on a mathématiquement deux chances sur trois d'avoir une gestation après un double transfert au lieu d'une chance sur deux lorsque l'on utilise la stratégie classique. C'est la stratégie de l'école italienne.

Si aucun des deux embryons ne meurt, un des deux doit être écrasé manuellement car il n'est pas souhaitable d'avoir une double gestation. Ce diagnostic est réalisé lors de l'examen échographique à 15 et 28 jours de gestation. Macpherson and Reimer (2000) rapportent les procédures et risques liés à ce type d'intervention.

Théoriquement, nous pourrions accepter que chaque embryon ait la même capacité de produire une gestation, un avortement ou une naissance. Cependant, cela revient à considérer que tous les embryons sont identiques, ce qui n'est pas le cas en pratique. Par ailleurs, il est encore difficile de classer les embryons morphologiquement pour l'obtention de couples identiques et donc les chances de gestation/transfert similaires.

Ce fait représente une difficulté pour la proposition d'un programme d'optimisation à partir de cette stratégie. Pour une meilleure modélisation du problème, il faudrait ajouter un facteur aléatoire pour les pertes (un transfert de 2 embryons peut donner 1 ou 0 gestation) mais ceci rend plus complexes les calculs. De plus, nous n'avons pas d'accès aux résultats mensuels pratiques de cette stratégie, ce qui nous empêche de développer un travail sérieux à son sujet. Par conséquent nous ne la considérerons pas lors du travail de modélisation. Mais cette stratégie reste intéressante puisqu'elle pourrait permettre de réduire considérablement les coûts liés à la gestion du troupeau. Elle représente une perspective de recherche impliquant différents partenaires (le producteur des embryons et le transféreur d'embryons) pour promouvoir l'innovation et améliorer la performance du système de production.

Stratégie de transfert d'embryons congelés

La troisième stratégie consiste à utiliser des embryons congelés/cryopréservés. Ceux-ci représentent une grande souplesse pour le système de production. En effet la décongélation pouvant se faire le jour souhaité permettrait de réduire le nombre de juments nécessaires par clone car nous pourrions gérer seulement une jument par transfert et avoir un « stock de sécurité » de juments moins important.

De plus, cette stratégie permettrait un suivi vétérinaire plus souple et moins coûteux. Elle serait aussi intéressante pour la régulation de la production d'embryons. En effet, même en l'absence de demande en clones, le laboratoire pourrait produire des embryons de certaines génétiques souhaitables qu'il congèlerait pour une future utilisation, ce qui permettrait d'éviter le chômage technique du laboratoire de production d'embryons et de faire face à une demande irrégulière. Elle permettrait aussi de faire face à un nouveau marché : celui de clones choisis dans un catalogue préparé par le producteur.

Toutefois, il existe une perte de qualité des embryons congelés. Sur des embryons récoltés *in vivo*, la congélation peut provoquer une réduction de 20 à 86% du taux de gestation selon les sources (Slade et al. 1985 ; Eldridge-Panuska et al.2005). Pour pallier à ce problème, il pourrait être intéressant d'utiliser une stratégie mixte : utiliser des embryons congelés pour un double transfert.

Actuellement, aucun groupe n'a publié de résultats sur l'utilisation d'embryons clonés congelés/cryopréservés. Le manque de données sur cette stratégie nous empêche de continuer le raisonnement. Cette stratégie peut représenter une grande innovation dans le clonage en permettant de réduire les coûts de suivi vétérinaire du troupeau et les coûts d'entretien de juments, de permettre une meilleure gestion de la main d'œuvre de l'atelier ovocytes, rendant même possible l'exportation d'embryons.

Malgré la multitude de pistes de transfert embryonnaire à suivre sur la planification du troupeau, leur adoption de façon « industrielle » dépend de la réalisation de partenariats de recherche entre les producteurs et les transféreurs d'embryon pour la production de données exploitables par l'industrie. Pour le travail présent nous avons sélectionné la stratégie du mono-transfert pour laquelle nous avons obtenu plus de données. L'objectif est de montrer qu'il est possible d'optimiser la gestion de machines biologiques en situation d'incertitude. La solution proposée dans le cas présent n'est pas unique mais peut servir de base et/ou être adaptée à d'autres scénarios d'utilisation de machines biologiques.

II.5.4.3. La gestion du troupeau est soumise à plusieurs contraintes

La complexité de l'atelier animaux vient de la multitude de contraintes existantes. En voici les principales :

- Production de N clones/cycle, pour chaque année de la durée T ;
- En moyenne, 14 juments sont utilisées pour recevoir les embryons nécessaires à la livraison d'un clone (une jument par embryon transféré) ;
- quelques juments excédentaires sont maintenues dans le troupeau pour recevoir un embryon en cas d'incident ;
- Après l'achat chaque jument sera soumise à une quarantaine et sera préparée pendant 1 mois pour recevoir un embryon ;
- un clone doit être réalisé sur 2 mois maximum.

Par souci de simplification, nous ne prendrons pas en compte :

- La variation de la durée de repos ;
- Le repos hivernal* ;
- Le rapatriement de la jument porteuse (la jument ayant mis bas accompagne le poulain pendant ses 4-6 premiers mois de vie) ;
- Des stratégies de TE différentes de la stratégie classique (transfert d'un embryon /jument) ;

*Plusieurs stratégies médicales permettent de réduire ou contourner le repos hivernal : le traitement à la lumière (Guillaume et al., 2000) permet d'avancer la saison reproductive ; le GnRH délivré par une pompe osmotique (Thorson, 2013) permet aussi d'avancer la saison reproductive et de raccourcir la période d'inter-saison ; finalement, un traitement de 3 jours à l'œstradiol suivi de 4 à 7 jours de supplémentation en progestérone permet de préparer des juments anovulantes pour la réception d'embryons (Rocha Filho et al. 2004; Greco et al. 2012). Ce dernier traitement permet aussi de préparer des juments réticentes aux traitements standards de synchronisation.

II.5.4.4. Les difficultés liées au PGT

L'objectif de la planification du troupeau est de minimiser les coûts globaux en réduisant le coût lié à l'acquisition des juments et leur entretien. La principale difficulté rencontrée est le caractère aléatoire des avortements.

La difficulté réside dans le fait que nous ne savons pas exactement quelle jument va jouer quel rôle et donc nous ne connaissons pas l'affectation « tâche » / jument (où la « tâche » est le rôle à jouer par la jument).

Pour illustrer ce problème, nous donnons ici l'exemple simple de la production d'un seul clone. La production de ce dernier va dépendre directement de la vitesse de production d'embryons (intensive ou moins intensive).

	Month 1	Month 2	Month 3	Month 4	Month 5	Month 6	Month 7	Month 8	Month 9	Month 10	Month 11	Month 12	Month 13
Mare 1	Black	Black	Black	Black									
Mare 2	Black	Black	Black	Black									
Mare 3	Black	Black	Black	Black									
Mare 4	Black	Black	Black	Black									
Mare 5	Black	Black	Black	Black									
Mare 6	Black	Black	Black	Black									
Mare 7	Black	Black	Black	Black									
Mare 8	Black	Black	Black	Black									
Mare 9	Black	Black	Black	Black									
Mare 10	Black	Black	Black	Black									
Mare 11	Black	Black	Black	Black									
Mare 12	Black	Black	Black	Black									
Mare 13	Black	Black	Black	Black									
Mare 14	Black	Black	Black	Black									
Mare 15	Black	Black	Black	Black									
Mare 16	Black	Black	Black	Black									
Mare 17	Black	Black	Black	Black									
Mare 18	Black	Black	Black	Black									
Mare 19	Black	Black	Black	Black									
Mare 20	Black	Black	Black	Black									
Mare 21	Black	Black	Black	Black									

Figure 25 : Production d'un seul clone selon une production intensive d'embryons.

Légende: **Noir** : gestante; **Gris foncé** : au repos; **Gris intermédiaire** : sortie du troupeau ; **Gris clair** : stock ; **Blanc** : disponible.

Dans le cas de production intensive, si les juments sont prêtes à recevoir les 14 embryons (nombre moyen d'embryons nécessaires pour produire un clone) dès le premier mois le plan de production (ou d'allocation de juments) sera toujours le même. En effet, dans ce cas, les juments jouent un rôle similaire et quel que soit la combinaison de l'affectation « tâche »/jument le résultat sera similaire.

Or, lorsque la production d'embryons est moins intensive ou plus généralement quand les TE sont réalisés sur plusieurs mois (2 mois dans notre exemple), plusieurs affectations sont possibles.

	Month 1	Month 2	Month 3	Month 4	Month 5	Month 6	Month 7	Month 8	Month 9	Month 10	Month 11	Month 12	Month 13
Mare 1	Black	Dark Grey	Light Grey										
Mare 2	Black	Dark Grey	White										
Mare 3	Black	Dark Grey	Dark Grey	Dark Grey	Dark Grey	White	White						
Mare 4	Black	Dark Grey	Dark Grey	Dark Grey	Dark Grey	White	White						
Mare 5	Black	Black	Black	Light Grey									
Mare 6	Black	Black	Light Grey										
Mare 7	Black	Dark Grey	White										
Mare 8	Black	Dark Grey	White										
Mare 9	Black	Dark Grey	White										
Mare 10	White	Black	Dark Grey	White									
Mare 11	White	Black	Dark Grey	White									
Mare 12	White	Black	Dark Grey	White									
Mare 13	White	Black	Dark Grey	White									
Mare 14	White	Black	Dark Grey	White									
Mare 15	Light Grey	Light Grey	White										
Mare 16	Light Grey	Light Grey	White										
Mare 17	Light Grey	Light Grey	White										
Mare 18	Light Grey	Light Grey	White										
Mare 19	Light Grey	Light Grey	White										
Mare 20	Light Grey	Light Grey	White										
Mare 21	Light Grey	Light Grey	White										

Figure 26 : Exemple d'affectation « jument-tâche » selon une production moins intensive d'embryons.

Légende: Noir : gestante; Gris foncé : au repos; Gris intermédiaire : sortie du troupeau ; Gris clair : stock; Blanc : disponible.

L'exemple (Figure 26) montre que la disponibilité des juments va dépendre de l'affectation donnée. Ce problème peut affecter directement le délai de livraison.

La première possibilité pour contourner ce problème, et garantir la livraison dans le délai promis au client, est de trouver la pire affectation et de se baser sur celle-ci pour assurer que toute autre affectation sera valide par rapport au plan de production établi.

Intuitivement la pire affectation possible semble être celle qui affecte la(es) mises bas aux juments ayant reçu des embryons plus tardivement (Figure 27), générant ainsi le plus long délai de livraison possible.

	Month 1	Month 2	Month 3	Month 4	Month 5	Month 6	Month 7	Month 8	Month 9	Month 10	Month 11	Month 12	Month 13
Mare 1		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 2		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 3		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 4		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 9	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 10	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 11	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 12	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 13	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 14	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 15	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 16	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 17	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 18	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 19	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 20	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mare 21	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figure 27 : Autre exemple d'affectation « tâche-jument » selon une production moins intensive.

Légende: Noir : gestante; **Gris foncé :** au repos; **Gris intermédiaire :** sortie du troupeau ; **Gris clair :** stock; **Blanc :** disponible.

Cependant, comme le processus de production est dynamique et que ces juments seront utilisées pour les prochaines productions, cette affectation n'est pas la pire. En effet, elle suppose qu'une majorité des juments (n=7) seront déjà disponibles pour recevoir les prochains embryons à partir du troisième mois.

Dans le cas de production moins intensive, l'optimisation de la gestion du troupeau demande une modélisation mathématique.

II.5.4.5. La modélisation expérimentale du troupeau

Pour modéliser ce problème sous forme d'un programme plusieurs approches peuvent être utilisées. Ces approches sont basées sur des variables de décision comme celles sur l'affectation « jument-tâche-clone » par exemple.

Cette approche serait très lourde et trop complexe à modéliser. En effet, le troupeau se renouvelle régulièrement et le nombre de juments nécessaire pour une période de travail n'est pas connu à l'avance ($N \cdot T \cdot J$ variables de décision où N représente le nombre de clones à produire par période, T le nombre d'années et J le nombre total de juments).

L'approche utilisée est basée sur des variables de décisions qui permettent de connaître les caractéristiques du troupeau à chaque étape sans différencier les juments entre elles (les variables de décision sont donc liées au troupeau et non aux juments).

Avant d'exposer les variables et de décrire la fonction, il est important d'introduire les concepts de **cycle de production** et de **période**. Les juments sont toujours achetées avant l'utilisation. Ces deux concepts sont importants pour déterminer les limites du programme et lisser les effets de l'achat sur la production (les achats sont réalisés, en majorité pendant le premier cycle de production). Un **cycle de production** correspond à l'ensemble de tâches réalisées dans l'atelier animaux, dès l'achat des juments jusqu'à la livraison d'un clone. La durée maximale d'un cycle de production a été fixée à 2 ans. La deuxième année du premier cycle (gestations et livraison du clone) coïncide avec la première année du deuxième cycle (achats supplémentaires, préparation de juments et ET). La **période** est le temps nécessaire pour accomplir 2 cycles. Une période (T) a une durée de 3 ans.

Les variables de décisions sont :

a_i : Nombre de juments achetées au mois i

t_i : Nombre de transferts d'embryons au mois i

Les variables auxiliaires utilisées :

d_i : Nombre de juments disponibles au mois i

r_i : Nombre de juments au repos au mois i

p_i : Nombre de juments pleines au mois i

x_i : 1 si 14 ET réalisés au mois i

La formulation du problème utilise les variables auxiliaires pour plus de lisibilité. Le modèle est décrit ci-après :

$$\min \sum_{i=1}^{12*T} 6a_i + d_i + r_i + p_i$$

s.c

- (1) $d_i \geq 21x_i \forall i \in \{1, \dots, 12*T\}$
- (2) $\sum_{i=1}^{12} x_{i+12*t} = N \forall t \in \{1, \dots, T-1\}$
- (3) $d_i = a_{i-1} + 8x_{i-2} + 2x_{i-11} + x_{i-12} - 14x_{i-1} + d_{i-1}$
- (4) $r_i = 2x_{i-11} + 2(x_{i-10} + x_{i-9} + x_{i-8} + x_{i-7}) + 8x_{i-1}$
- (5) $p_i = 6x_{i-1} + 5x_{i-2} + 4(x_{i-3} + x_{i-4} + x_{i-5} + x_{i-6}) + 2(x_{i-7} + x_{i-8} + x_{i-9} + x_{i-10})$
- (6) $x_i = t_i / 14$
- (7) $t_i \leq 14$
- (8) $d_i \geq 0 \forall i \in \{1, \dots, 12*T\}$
- (9) $a_i \geq 0 \forall i \in \{1, \dots, 12*T\}$
- (10) $t_i, a_i \in \mathbb{N} \forall i \in \{1, \dots, 12*T\}$

La fonction minimise les coûts du troupeau (achat et entretien) considérant :

- Au moins 21 juments disponibles sont nécessaires pour réaliser 14 ET. 14 juments pour recevoir les embryons (stratégie classique) et 7 juments en plus (stock) qui sont maintenues dans le troupeau pour remplacer une jument en cas d'incident (non réponse au traitement de synchronisation, ou maladie) ;
- La production de N clones/an, pour chaque année de la période T, à l'exception de la troisième année qui représente la deuxième année du deuxième cycle (2). Dans cette année, aucune gestation n'est attendue, étant donné que la période concerne seulement 2 cycles de production ;
- Après l'achat, chaque jument est soumise à une quarantaine et à la préparation pour la réception d'un embryon. Cette « tâche » a une durée de 1 mois. Après avortement, une période de repos est imposée. La période de repos est variable en fonction du moment de l'avortement (3, 4, 5) ;
- Un maximum de 14 ET est réalisé dans un mois (IS) (7)

Nous avons initialement traité la gestion du troupeau dans le cas de la production intensive, dite solution intensive (SI), à savoir, tous les transferts embryonnaires nécessaires pour produire un clone sont réalisés dans un seul mois. Dans ce cas, la variable t_i accepte seulement deux valeurs possibles 0 (si aucun TE n'a été réalisé dans un mois i) ou 14 (si tous les TE pour produire un clone ont été produits dans le mois i).

Par la suite nous avons traité la gestion de la production dans le cas moins intensif (transfert d'embryons sur plusieurs mois) (SMI) en considérant que la variable t_i prend des valeurs entières entre 0 et 14.

Finalement, nous avons proposé la solution dite relâchée (SR) en considérant que la variable t_i accepte toute valeur entre 0 et 14 et la variable a_i peut prendre toute valeur positive comprise dans le monde des numéros réels.

L'ensemble des solutions peut donc être défini comme suit :

- Solution Intensive (SI) : $t_i \in \{0,14\}$
- Solution Moins Intensive (SMI): $t_i \in \{0,\dots,14\}$
- Solution Relâchée (SR): $t_i \in [0,14]$ et $a_i \in \mathbb{R}^+$

La SR représente la meilleure solution mathématique puisqu'elle permet d'évaluer un maximum de combinaisons. Cependant, elle n'est pas réalisable sur le terrain. Dans ce cas, elle est utile pour comparer le degré d'optimisation des SI et SMI.

La Figure 28 présente une comparaison des coûts totaux (P) générés par chacune des solutions, à tous les niveaux de production (de 1 à 12 clones/cycle), pendant une période T, soit 2 cycles de production.

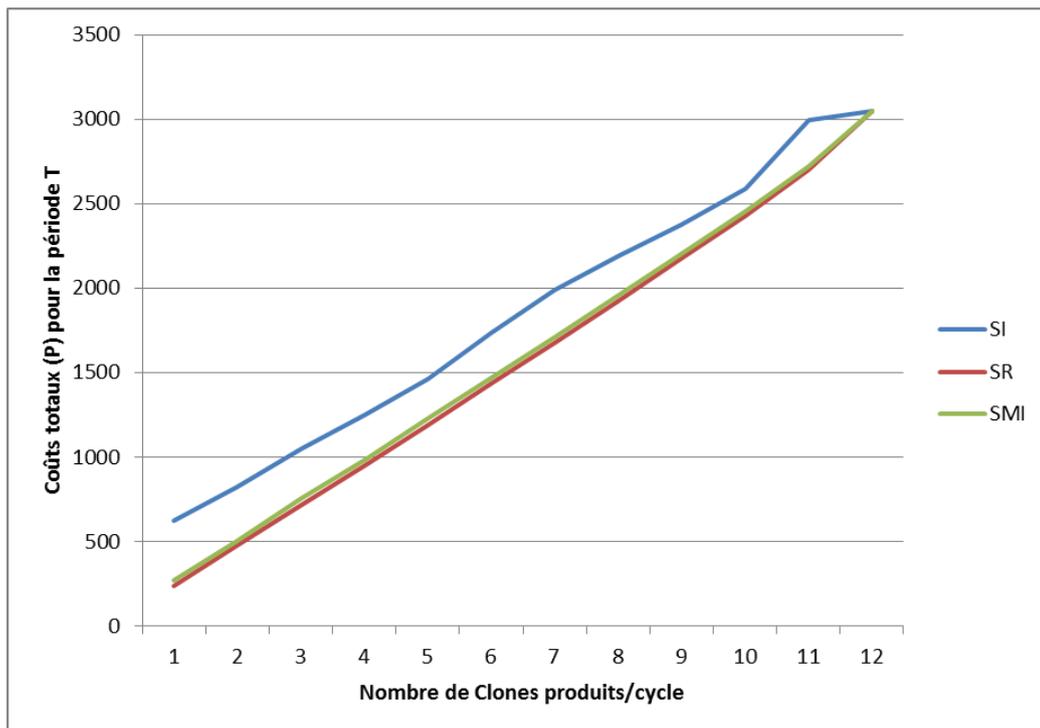


Figure 28 : Coût d'entretien du troupeau selon les trois modèles d'optimisation.

Coûts totaux (en unités P) correspondant à une période T = 3 ans (2 cycles de production).

La SMI se rapproche de la meilleure solution mathématiquement (la SR) à tous niveaux de production (écart global : 3%), alors que l'écart de la SI par rapport à la SR est globalement supérieur. Dans le cas de la SI plus la production/cycle est faible, plus l'écart est important (ANNEXES IV et V pages 341 et 343, respectivement).

Le niveau d'optimisation atteint par la SMI s'explique par la réduction du besoin d'achat de juments suivie de la réduction des coûts d'entretien grâce à une bonne gestion de l'affectation de tâches aux juments.

Ce modèle est imparfait car nous n'avons pas été capables d'identifier les marges de sécurité liées aux activités de cet atelier. En effet, au moment où nous avons réalisé cette recherche le nombre de clones produits était trop faible pour permettre de réaliser ce calcul avec précision. Cependant, il permet de démontrer qu'il est possible d'apporter des améliorations significatives à la performance économique de cet atelier à l'aide d'un programme d'optimisation de l'affectation de tâches aux juments receveuses d'embryons.

De plus, ce modèle met en évidence le besoin d'harmonisation entre la préparation de juments et la production d'embryons afin d'éviter des réorganisations de la planification de la production. Par ailleurs, il montre qu'un rythme moins intensif de transfert embryonnaire permet d'intégrer l'incertitude technique dans la planification.

II.5.5. L'ordonnancement : évaluation de la structure et des ressources

Les difficultés d'ordonnancement de la production dans la CBC proviennent de la difficulté de gérer la stabilité nécessaire à la survie et à la génération de l'innovation et la gestion de projets ponctuels et éphémères. En plus, comme la CBC émane du domaine du vivant (biologique), il est nécessaire de combiner les solutions industrielles avec les spécificités liées à la gestion du vivant pouvant influencer la production. L'ordonnancement de la production de clones équins prend aussi en compte les particularités du vivant qui affectent les modes de gestion.

L'ensemble des facteurs traités dans cette section porte principalement sur :

- La structure physique et la localisation stratégique des ateliers ;
- L'allocation des ressources ;
- La gestion de l'aspect vivant des juments ;
- Le découpage technique (atelier ovocytes – atelier animaux) ;
- L'adaptation de la production à la demande ;
- La détermination du point d'équilibre

Dans cette section nous soulèverons les principaux points de réflexion concernant ces questions sans pour autant les traiter de manière détaillée sous l'angle opérationnel. Pour une information plus détaillée, le lecteur peut s'adresser à l'Annexe VI page 345.

II.5.5.1. Main d'œuvre

La gestion de la main d'œuvre comprend la préoccupation avec la stabilité stratégique de la structure et la gestion opérationnelle de chaque projet. Dans ce chapitre nous discuterons seulement la main d'œuvre jugée critique pour la production. La discussion portera sur l'aspect stratégique et l'aspect de la gestion de l'ordonnancement de chaque projet. Les savoir-faire et connaissances nécessaires à la CBC sont principalement liés au domaine des sciences du vivant.

Le travail au niveau de la culture cellulaire impose une main d'œuvre spécialisée en techniques de laboratoire et de culture cellulaire, soucieuse des règles de bonnes pratiques de laboratoire (BPL). Cette main d'œuvre assure les manipulations techniques et la traçabilité de la production, nécessaire pour éviter l'échange de matériel biologique de différents projets et assurer le contrôle des activités *a posteriori*. Malgré le niveau de spécialisation requis, la main d'œuvre spécialisée en techniques de culture cellulaire est suffisamment développée et disponible sur le marché international. Cependant, le souci de maintenir un standard de production et la répétabilité des résultats nécessaires pour la compréhension des données et pour promouvoir l'innovation, imposent le besoin de stabiliser cette main d'œuvre au sein de la structure.

La main d'œuvre spécialisée en micromanipulation, elle, n'est pas facilement disponible sur le marché. Il s'agit d'une main d'œuvre hautement qualifiée et spécifiquement formée aux méthodes de micromanipulation cellulaire. D'après les informations obtenues auprès de différents acteurs, sa formation peut durer environ 5 ans. Cette main d'œuvre est hautement impliquée dans le processus innovant de la CBC. Il est stratégique pour la structure de la stabiliser au sein de l'organisation afin de faciliter l'ordonnancement de la production et de promouvoir le processus d'innovation.

Finalement, l'emploi de la main d'œuvre au sein de chaque projet concerne directement l'ordonnancement de la production. En effet, il existe une discordance entre le LT (lead time) pour l'obtention d'un composant biologique et le temps de travail réellement dispensé pour son obtention. En effet, le matériel biologique nécessite un certain temps d'attente entre les différentes manipulations. Pendant ce temps d'attente, le personnel peut réaliser d'autres actions, sur d'autres composants ou d'autres projets. L'optimisation de l'utilisation de la main d'œuvre dépend de la prise en compte de cette particularité biologique lors de l'ordonnancement de l'exécution d'un projet.

La difficulté à gérer la stabilité de cette main d'œuvre et les projets éphémères ponctuels impose la réflexion sur l'équipe minimale nécessaire et sa capacité de production.

II.5.5.2. Structure physique

La structure physique des ateliers doit être capable d'assurer les meilleures conditions de gestion des aspects vivants du matériel afin d'éviter des pertes de matériel biologique.

Elles doivent inclure : la séparation des zones sales des zones propres et celles de stérilisation du matériel ; la séparation totale des activités de biologie cellulaire de celles d'élevage ; permettre de contrôler (éviter) la transmission de maladies et la contamination du matériel ; une communication et un accès faciles entre ateliers ; un accès aisé au fournisseur ; la réalisation du travail d'assemblage dans les délais nécessaires et l'hébergement et la manipulation des animaux vivants.

La localisation des ateliers est dépendante de facteurs qui conditionnent la survie cellulaire et interagit directement avec les questions d'ordonnement. Trois points critiques à la production peuvent être distingués : la réglementation sanitaire du transfert de matériel biologique entre ateliers, la survie du matériel biologique entre le moment de récolte et le début de la production et le temps de survie du matériel biologique pendant le transport entre ateliers.

Lorsque la matière première est rare, la localisation des ateliers peut être conditionnée à la présence de fournisseurs dans une région spécifique. Dans ce cas, la localisation de tous les ateliers sera dépendante des spécificités liées à l'approvisionnement en matière première. Dans le cas du clonage l'atelier ovocyte conditionne la localisation des autres ateliers. La forte réglementation sanitaire pour le transport de matériel biologique imposera à une structure de production des efforts administratifs afin de régulariser le matériel biologique stocké dans les différents ateliers.

Ainsi, une réflexion sur la localisation des ateliers est nécessaire pour la réalisation d'une structure de CBC. La Figure 29 illustre la problématique avec le cas du clonage équin.

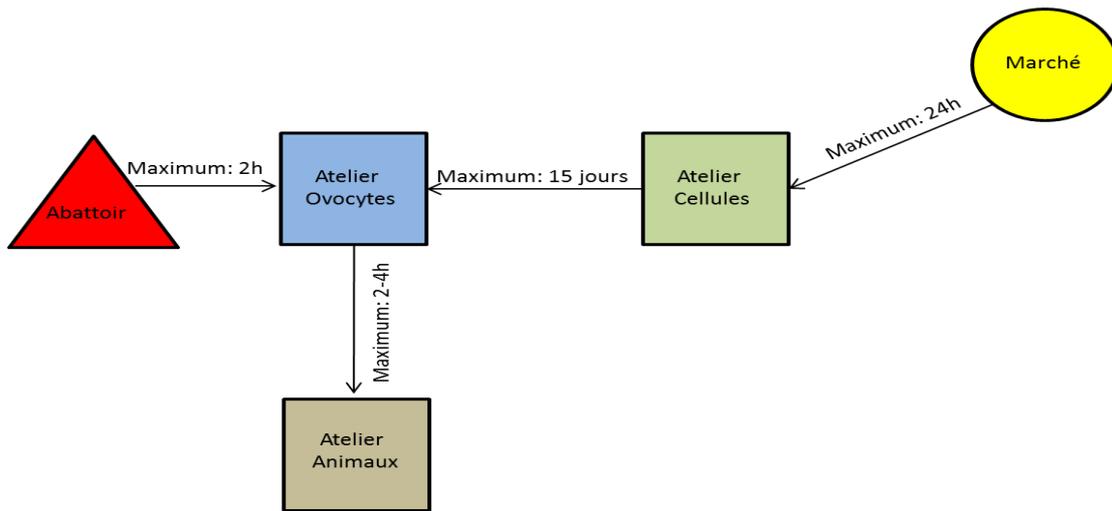


Figure 29: Distances maximales entre les différents acteurs du processus de production.

Les distances maximales sont données en « temps de transport » car elles correspondent au temps maximal de survie ou de maintien de la qualité du matériel biologique en condition de transport. Les cellules congelées ont une survie de plusieurs années, nous avons considéré le temps de transport maximal de 15 jours parce que ces cellules doivent être transportées dans un container contenant de l’azote liquide (dry-shipper). Ces containers de transport ont une autonomie d’environ 15 – 21 jours.

II.5.5.3. Equipements

Dans le domaine des équipements scientifiques, il existe une offre très large tant au niveau des prix que de la qualité technologique. Deux pièges sont possibles: s’équiper avec des équipements moins chers et moins performants avec l’idée que le talent du manipulateur surpasse tout besoin technologique pour la manipulation. Ou, au contraire, s’équiper avec des équipements très performants afin de fournir toutes les possibilités technologiques disponibles au micromanipulateur. Or, il s’avère que les deux options peuvent représenter de risques pour la performance.

Dans les ateliers de CBC des équipements inadéquats peuvent compromettre la qualité du matériel biologique. En effet, l’incompatibilité entre les exigences spécifiques de différents

types de cellules ou matériel biologique et les caractéristiques techniques des équipements peut aboutir à une mort cellulaire, un ralentissement du travail ou encore un besoin d'utiliser des substances potentiellement toxiques pour accomplir le travail. Ces conditions peuvent contribuer à une perte de qualité des ovocytes et doivent faire partie de la question sur les ressources nécessaires. Par ailleurs, un « excès de technologie », peut engendrer un alourdissement du coût d'investissements insupportable pour une industrie fragile. La réflexion sur l'investissement en équipements doit être soignée afin d'éviter un impact négatif sur les résultats économiques du projet (Feng et al. 2005).

II.5.5.4. La gestion de l'aspect vivant des machines biologiques

Dans la CBC les animaux ou d'autres systèmes biologiques sont considérés comme machines biologiques participant à la production. Ces machines ont des besoins spécifiques à des êtres vivants.

La gestion de l'aspect vivant de ces animaux peut générer des structures de coût extrêmement variables (structure, aliments, main d'œuvre nécessaires). Après avoir optimisé leur utilisation en tant que machines il est nécessaire de réfléchir au système de gestion du vivant correspondant qui favorise la stabilité de la structure.

Cette question est complexe et demande une connaissance zootechnique spécifique à chaque espèce. L'objectif ici n'est pas de fixer de règles pour ces décisions mais de rappeler l'importance de cette réflexion pour l'ensemble de la structure. L'exemple pratique de la gestion de cet aspect dans le cas du clonage peut être observé dans l'Annexe VI (page 345).

II.6. A RETENIR SUR LE CONCEPT DE PRODUCTION EN CBC

Jusqu'à nos jours la CBC est vue comme une activité expérimentale, presque artisanale et pas forcément comme une activité industrielle. Malgré cela, nous avons remarqué l'existence d'acteurs privés orientés vers la production commerciale de la CBC. Les aléas de cette production affectent directement les acteurs en générant des difficultés de gestion et des problèmes de compétitivité.

La rationalisation de la production représente une valeur ajoutée à la CBC. A partir d'une méthode de planification spécifique à la CBC les acteurs sont capables de réfléchir à leur

structure de production et à l'optimisation de la performance générale. Les candidats à l'entrée dans un marché CBC peuvent utiliser cette méthode pour orienter la prise de décision d'entrer ou non dans le marché et comment le faire.

La mise en valeur de cette méthode demande une connaissance des facteurs impliqués dans la production, des variabilités liées aux différentes étapes et des méthodes de planification. Dans ce travail nous avons développé chaque étape isolément. Beaucoup de temps a été nécessaire pour définir les paramètres et réunir toutes les données importantes et les traiter manuellement.

Une possibilité d'élargissement de cette recherche est le développement d'un outil informatique capable d'orienter l'acteur dans l'identification des paramètres importants et du traitement des données disponibles en fournissant une solution rapide et adaptée au besoin.

PARTIE III : DES MODELES ECONOMIQUES POUR LA CBC

III.1. POSITIONNEMENT DU PROBLEME

Dans les parties précédentes, nous avons montré que la CBC se caractérise par une forte incertitude liée à l'innovation technique mais aussi au caractère aléatoire des réactions biologiques des manipulations. Cette double incertitude se traduit commercialement par une dualité entre technologie et produit, difficile à comprendre par le consommateur, générant une troisième source d'incertitude pour l'industrie, celle de la demande.

En effet, le marché de la CBC reste difficile à développer. Souvent, la CBC s'oriente vers une niche précise, parfois fragmentée (sur différents pays, ou différents types de clients). Il manque d'intermédiaires pour faire la distribution. Lorsqu'un marché présente des distributeurs, les coûts de ces intermédiaires peuvent être insupportables pour la chaîne de valeur. Intuitivement, les producteurs s'impliquent directement dans le développement du marché.

Cependant, les technologies du vivant peuvent susciter certaines peurs et certaines réactions liées à la culture ou à la religion, comme discuté dans la Partie I. L'acceptation de ces technologies demande un effort important de communication et de démonstration de résultat. Des résultats statistiquement prouvés peuvent être longs à obtenir et difficiles à mesurer puisqu'il y a une multitude de facteurs externes pouvant les influencer. En plus, dans le monde actuel, où la politique de financement de la recherche pousse à une réduction du délai entre la conception et la commercialisation, le développement de la recherche et la démonstration des résultats avant la commercialisation devient de plus en plus difficile. Mais cette transition de raisonnement n'est pas évidente pour le consommateur du vivant, habitué à connaître les résultats initiaux de la recherche avant de s'engager dans son utilisation.

Par conséquent, ce sont les propres entrepreneurs qui s'investissent dans la communication et la démonstration de résultat en vue de développer le marché. Pour ce faire, ils possèdent un carnet d'adresse qui leur permet de démarrer une activité commerciale, principalement auprès de clients pionniers mais ce travail initial ne suffit pas pour démontrer les résultats et élargir le marché. Cet élargissement dépend d'une excellente connaissance du marché et d'un effort de communication plus large.

Les difficultés de communication sont multiples. Il existe des problèmes purement informationnels tels que le besoin de communiquer sur la technologie auprès d'un public non-scientifique afin d'éclairer les consommateurs, montrer les valeurs et rassurer les clients par rapport à la technologie. Mais le discours doit aussi être adapté à des publics possédant des expériences et des cultures différentes.

Par ailleurs, les efforts de communication sont coûteux : des investissements en publicité, des déplacements, la participation à des événements, etc. Dans un marché où les acteurs sont souvent en activité commerciale sous-optimale, ces efforts peuvent être négligés ou réalisés sans une vision stratégique. En plus, la structure du marché fait que la communication est réalisée par des membres directement impliqués dans le développement technologique (en général le propre entrepreneur). Chez certains clients potentiels (et selon la culture) ce type de communication, réalisée par l'industrie, peut générer un certain scepticisme sur les informations fournies.

Parallèlement, tous les acteurs (chercheurs, producteurs commerciaux et les rares distributeurs) convergent vers un même marché, celui du consommateur de la technologie en achetant des clones. Comme le marché est restreint et fragmenté, les acteurs n'ayant pas réussi à développer tout le potentiel commercial d'un marché se lancent dans le développement d'autres segments du marché tant au niveau national qu'international. Notre expérience auprès de l'acteur français du clonage équin a permis de comprendre qu'un même client peut être abordé par plusieurs acteurs. Cette dynamique alimente la concurrence favorisant une guerre de prix. Si l'emploi de la technologie n'est pas urgent, le client peut choisir de reporter son achat en attendant de meilleures conditions commerciales. Ce comportement de substitution inter-temporelle est appelé dans la littérature de « comportement stratégique du consommateur » (Gallego et van Ryzin, 1994).

Cette situation peut générer un cercle vicieux qui rend le développement de la CBC de plus en plus difficile. Cette situation peut être de plus en plus critique à mesure que des nouveaux acteurs entrent dans le marché.

III.1.1. La proposition de modèles d'affaires

La problématique de la CBC, explicitée ci-dessus, met en évidence le besoin de réfléchir aux schémas de développement existant et aux alternatives potentiellement capables d'améliorer le développement de l'industrie. Lors de la réalisation de ce travail mais aussi lors de la participation à des congrès du domaine du vivant, nous avons observé que les acteurs de ce domaine se focalisent sur le développement technico-scientifique d'un sujet mais peuvent parfois manquer de connaissances managériales pour développer le potentiel industriel d'une technologie à son maximum.

La proposition d'une réflexion sur les modèles d'affaires existant et sur les alternatives possibles peut être de l'intérêt de toute industrie innovante et/ou qui présente de signes de fragilité, comme c'est le cas de la CBC. Cette réflexion pourrait se reposer sur un concept de type « penser la technologie autrement ». En effet, généralement un seul aspect de la technologie est exploré économiquement par les acteurs alors que différents aspects pourraient l'être. Cependant, compte tenu des cycles longs nécessaires pour développer une innovation dans le domaine du vivant, ce type de proposition pourrait être très long à mettre en place. Il demanderait aussi une réorganisation des partenariats d'innovation déjà mis en place afin d'accélérer le processus d'innovation. Mais le principal inconvénient de cette proposition est qu'elle ne permettrait pas forcément d'interrompre de manière efficace le cercle vicieux des difficultés de développement commercial.

L'objectif de cette partie est donc de proposer des leviers commerciaux permettant d'améliorer la visibilité de l'industrie de la CBC vis-à-vis des clients, tout en améliorant le potentiel de partenariats entre les acteurs.

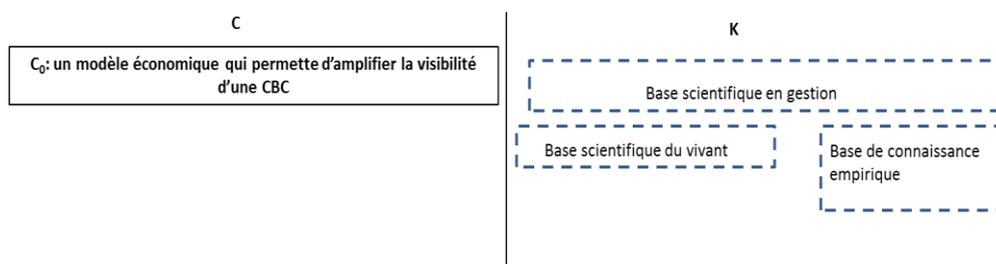


Figure 30 : Proposition d'un modèle d'affaire adapté à la CBC.

Légende : à gauche l'espace des concepts. À ce stade, nous proposons le concept initial qui sera développé dans la partie III grâce aux connaissances mobilisées. À droite, l'espace des connaissances. Cet espace

regroupe les connaissances mobilisées pour le développement du concept et les connaissances générées par le développement de celui-ci. À ce stade nous représentons seulement les domaines de connaissances dans lesquels certaines connaissances précises seront mobilisées pour le développement du concept.

Il ne s'agit pas de questionner la CBC selon un point de vue micro-économique et de discuter des politiques de prix et de profitabilité. Le propos est d'analyser l'organisation de l'industrie afin de proposer une organisation de l'ensemble capable d'éviter une concurrence destructrice et de favoriser la génération de valeur en identifiant des opportunités à partir des caractéristiques de cette industrie.

III.2. LES CONNAISSANCES MOBILISEES

La complexité du développement commercial de la CBC et le manque de littérature économique directement liée impose la mobilisation d'une littérature variée. La littérature consultée pour ce concept implique dès le processus de création de l'innovation jusqu'aux aspects spécifiques du marché de singularités.

III.2.1. Le développement dépend du parcours emprunté par les acteurs

La littérature sur le processus d'innovation apporte des enseignements importants, surtout sur les aspects de sa structuration progressive de développement. Nous présentons dans cette section un ensemble de littérature concernant le processus de développement d'un parcours technologique sous le point de vue de l'innovation technologique. Ces notions seront utilisées ultérieurement pour faciliter la compréhension des situations déjà installées au niveau du marché et aider à la réflexion des propositions de modèles d'affaires.

L'exemple de la nanotechnologie étudié par Walsh (2004) montre que la difficulté de développement d'une innovation démarre au début du processus. En effet, traditionnellement, un cahier des charges bien défini permet de mieux comprendre la technologie, son potentiel et ses limitations. Ce cahier des charges inclut la définition de l'étendue, des limites, des moteurs et des cibles d'une technologie mais aussi l'identification du produit qui pourrait être privilégié. Dans le cas de l'innovation, surtout

l'innovation de rupture, le manque de données sur l'innovation et son potentiel empêche la réalisation de ce cahier des charges. Il est donc difficile de l'utiliser pour réaliser de pronostics d'exploration et d'applications futures (Kappel, 2001 ; Myers et al., 2002).

Il est alors nécessaire d'inclure une flexibilité d'anticipation et de reconnaître que la science/technologie émergente possède nombreuses applications possibles, en fonction des liaisons avec d'autres domaines. Ces possibilités sont développées tout au long du parcours technologique.

Mais ce développement dépend du parcours technologique. A ce stade précoce de développement ou d'émergence, ce parcours commence à émerger (ou est créé), se développe et puis se stabilise. Il peut être complètement nouveau ; une extension de parcours déjà existants ; ou encore, un parcours déjà existant et inchangé. L'objectif d'un cahier des charges flexible pour l'innovation est de gérer le développement vers la trajectoire la plus désirable, que ce soit au niveau national, international ou dans un projet ou une entreprise. Cependant, la difficulté se présente lorsque certains indicateurs et variables ne peuvent pas être définis ou lorsqu'ils changent rapidement.

Dans les stades initiaux, les discours diffèrent beaucoup à l'intérieur d'un parcours d'une technologie. Mais avec le temps, lorsqu'un champ de développement émerge, il y a un alignement autour de discours et pratiques plus au moins partagés. La cristallisation du phénomène de direction d'une dynamique d'acteurs agit comme des points d'ancrage qui orientent le domaine par la suite.

David (1985) et Arthur (1990) ont développé le concept de dépendance du parcours pour expliquer pourquoi certaines technologies deviennent dominantes même si elles sont sous-optimales. D'après les auteurs, la dépendance d'un parcours est un processus de consolidation hors du contrôle des acteurs impliqués. Elle restreint l'action stratégique des acteurs à l'exploitation d'une option technologique plutôt que l'exploration de choix technologiques possibles. La création de parcours, quant à elle, met l'accent sur le rôle de l'action stratégique des acteurs à chercher et suivre des options alternatives.

Parallèlement, la littérature combine la dépendance et la création du parcours pour créer la notion d'irréversibilités émergentes (Callon 1991, Callon 1992, Rip 1995, Rip and Kemp 1998). Cette notion combine la structure émergente (de la littérature de la dépendance du

parcours) avec l'agence (de la littérature de création de parcours) cherchant des indicateurs d'alignement et de stabilisation dans l'évolution de nouvelles (ou émergentes) sciences et technologies. Les irréversibilités émergentes sont des ponctuations dans l'évolution d'un champ technologique qui le guident et le stimulent. Elles facilitent des parcours technologiques spécifiques (rend plus facile d'agir et d'interagir) et restreint d'autres (rend plus difficile de faire une autre chose) (Merkerk et Robinson, 2006).

Cela veut dire que les acteurs rencontrent plus ou moins de résistance pour les différentes options qu'ils essayent de développer. S'opposer aux irréversibilités demande un certain effort. Plus l'irréversibilité est installée, plus difficile pour un acteur de s'y opposer. Avec le temps, l'émergence et l'accumulation des irréversibilités, certaines options deviennent moins visibles et probables, alors que d'autres gagnent plus de support et force permettant le développement d'un parcours technologique. L'irréversibilité d'un parcours amène à un blocage qui rend difficile l'éloignement d'un parcours même si cela n'est pas impossible (Robinson et Propp, 2006).

Agogué (2012) a travaillé sur la question de blocage de l'innovation dans l'entreprise de systèmes complexes. Selon son approche, l'entreprise n'est pas une structure indépendante, mais un élément d'un ensemble de collectifs en interaction : un « écosystème d'affaires » (Moore, 1993).

Dans un écosystème complexe, il existe des sous-ensembles relativement indépendants mais fortement interconnectés et interactifs. La description exhaustive d'un écosystème n'est possible qu'à un moment donné, au travers d'une photographie de son état. Son interprétation en tant que système dynamique en constante évolution et régénération se fait en figeant la définition de la nature des acteurs et de la nature des relations que ces acteurs entretiennent entre eux.

Agogué (2012) critique la dichotomie « technology/push » / « demand/pull » pour expliquer les blocages. En effet, la littérature sur les avantages compétitifs liés à l'innovation est partagée entre deux approches, la première soulignant les pressions que peut exercer un marché pour influencer un changement technologique (la théorie du « demand-pull »), la seconde définissant l'innovation technologique comme un agent autonome de toute perspective de marché (la théorie du « technology-push »). L'auteure démontre l'existence de certains cas où une situation de blocage s'installe même dans le

cas où la demande existe. Dans ces cas, les efforts de R&D sont fournis mais la dynamique industrielle apparaît comme enrayée.

Dans le même sens, la littérature montre différents exemples de la difficulté de développement technologique. Fréry (2000) a appelé technologie éternellement émergente, une technologie qui se maintient durablement en phase d'émergence et dont la croissance est prédite par l'ensemble des acteurs, alors même que son succès commercial reste inexistant ; Borup et al. (2006) et Le Masson et al. (2011) ont décrit les bulles spéculatives où l'implication et l'investissement d'un ensemble d'acteurs sur un paradigme technologique sont suivis de propositions technologiques décevantes pour le client final, créant des préjudices en termes de réputation et d'affectation des ressources et des investissements.

Ces phénomènes d'attentes conduisent à un alignement des efforts au sein d'une même vision partagée pouvant créer des irréversibilités lorsque retombent les bulles spéculatives suite au succès mitigé des propositions technologiques (Robinson & Propp, 2008). Dans ces situations la demande existe, des ressources sont mobilisées pour construire une offre, des propositions innovantes sont formulées, et pourtant aucune croissance n'est constatée.

Cette situation est observable dans la CBC. Les événements conduisant à la liquidation de PPL therapeutics (partenaire pour la création de Dolly) sont un exemple clair de ce problème. En effet, l'entreprise a investi sur le développement du clonage animal mais n'a pas réussi à développer le marché du clonage ni de la transgénèse (objectif principal) selon le parcours envisagé. Par conséquent, les investisseurs (capital venture) ont suspendu tout support au développement de nouveaux projets innovants, obligeant l'entreprise à vendre la licence du brevet Dolly et à arrêter ses activités en 2003.

Cette première partie de la littérature montre le besoin de raisonner l'innovation sous différents angles afin d'éviter les blocages ou l'émergence éternelle. Notre objectif est de proposer des leviers commerciaux pour l'industrie de la CBC. Transposant cette littérature à notre question, nous pouvons supposer que regarder le marché de la CBC autrement peut contribuer à développer un parcours commercial différent pour la technologie.

Nous avons vu (Partie I) que la CBC implique une dualité entre le produit (marché singulier) et la technologie (marché néo-classique). Penser autrement le développement

commercial de la CBC revient à clarifier cette situation de façon à réduire l'opacité pour le client et l'aider dans sa prise de décision.

III.2.2. L'économie des singularités : une réflexion nécessaire

L'ouvrage de Lucien Karpik (Karpik, 2007) amène une synthèse d'une décennie de travaux sur un marché où l'on échange des objets singuliers. Cette économie, que Karpik a appelé l'économie des singularités, est guidée par la recherche du meilleur, du bon goût. Elle n'est pas récente mais échappe à la compréhension économique du monde actuel.

En effet, dans l'économie néo-classique même les produits les plus complexes peuvent être comparés sur la base de prix. Selon Gadrey (2008) dans l'économie néo-classique le marché met en équivalence les caractéristiques valorisées et les méthodes économétriques permettent de repérer les prix (implicites) et donc de réaliser la comparaison.

Dans l'économie des singularités, le prix résulte d'un jugement global de la qualité qui met en avant le bien, le beau ou le grand. Le client cherche le bonheur global mais il peut chercher aussi à résoudre de problèmes cruciaux dans un marché marqué par l'incertitude. Karpik (2007) argumente que, dans l'économie des singularités, la logique du jugement remplace celle du calcul. Les indices de prix des biens sont calculés selon des conventions particulières sur les caractéristiques de qualité.

Karpik a identifié des outils de support au développement de cette économie. Il s'agit des dispositifs de jugement, principaux réducteurs de l'incertitude et du déficit cognitif des consommateurs, et grands repères de cette économie. Ils peuvent être des dispositifs personnels, représentés par les réseaux personnels ; impersonnels formels, comprenant les guides et les classements ; et impersonnels substantifs, mettant en avant les contenus spécifiques des singularités. Leur particularité est qu'ils sont librement choisis et abandonnés par les consommateurs.

Dans cette économie, la combinaison entre les dispositifs de jugement, la taille du marché et le consommateur distingue ce que Karpik a appelé les régimes de coordination. Ces régimes servent de principe d'intelligibilité de la réalité concrète. Cependant, les variables qui peuvent servir à différencier les régimes à dispositifs impersonnels ne sont d'aucune

utilité pour classer les régimes à dispositifs personnels à cause de la nature des connaissances et des marchés respectifs.

La dépendance du jugement de la qualité dans l'économie des singularités complique le raisonnement sur la formation du prix. Des questions sur la formation des prix dans ce marché apparaissent de façon récurrente. Les réponses restent plus ou moins convaincantes puisque les régimes de coordination ne déterminent pas la formation des prix. En effet, la concurrence par le prix ne disparaît pas mais elle est supplantée par la concurrence par la qualité « globale ». Le mode de formation de prix est donc subordonné au mode de coordination par la qualité. Les régimes de coordination peuvent donc être construits en partant de seules conditions et logiques de l'expression du jugement de qualité sur les marchés plus ou moins étendus.

La construction sociale de la qualité est donc un élément à prendre en compte sur ce marché (Gravey, 2008). Mais les conditions, les acteurs et les structures de la production n'interviennent dans cette modélisation que par le biais de leurs contributions propres aux dispositifs de jugement. Cette contribution peut être majeure avec la puissance du marketing.

La difficulté survient lorsqu'il s'agit d'analyser le jeu plus quantitatif de l'offre et de la demande et son influence sur les prix, le rôle des coûts de production et des marges, des stratégies des firmes, de la concentration économique des secteurs, etc. L'explication de Karpik pour ces questions est convaincante lorsque la qualité des singularités est ordonnée par un classement faisant autorité (lorsque les prix sont plus disciplinés). Mais, selon l'auteur, lorsque les prix sont moins disciplinés, le marché reste plus spéculatif et les prix résistent à un raisonnement visant à y mettre un peu d'ordre.

Pour comprendre l'organisation du marché singulier et obtenir des pistes sur la formation du concept singulier de qualité et des prix, nous examinerons deux marchés singuliers typiques : le marché de l'art dont la logique est *a priori* très difficile à comprendre et le marché du vin de champagne dont un certain niveau d'organisation peut être observé.

III.2.2.1. L'industrie de l'art : un marché a priori indiscipliné

A première vue, le marché de l'art ressemble à un grand marché unique où se mélangent des artistes de grande notoriété et des artistes de moindre notoriété. Les mécanismes d'ascension ou de fixation de prix sont incompréhensibles pour un débutant. Mais avec cette brève révision, nous arriverons à identifier une série de mécanismes qui régulent le marché et qui influent sur l'ascension des artistes et, par conséquent, sur les prix des œuvres.

Selon Singer (1998), le marché de l'art est constitué comme une pyramide. La base comporte une forte concurrence due à une entrée facile, pratiquement sans barrière. Dans cette base, le produit est homogène et les vendeurs essaient de différencier des biens similaires. La compétition est alors basée sur la variété. A mesure qu'on s'approche du sommet de la pyramide, on observe un phénomène de concentration et de travaux de meilleure qualité. A ce niveau, l'entrée dans le marché est plus restreinte. Le profit est aussi plus incertain. Le négociant peut influencer les prix des œuvres d'un artiste en agissant comme un régulateur du marché. Nous discuterons l'action de différents leviers du marché de l'art tel que le rôle des prescripteurs et la réputation des artistes.

Heilbrun et Gray (1993) définissent ce marché en primaire et secondaire. Le marché primaire est celui où une œuvre est vendue pour la première fois. Ce marché se doit d'être innovant et comporte un risque pour les marchands et les clients compte tenu du caractère inédit de l'œuvre. Il est encore plus incertain lorsque l'artiste est inconnu.

Dans le marché primaire, le négociant perçoit une commission sur la vente. Cette commission varie selon la visibilité de l'artiste, celle de la galerie ou négociant et l'investissement fait par ce dernier en marketing et promotion. Parfois, l'artiste peut percevoir une paye contre l'exclusivité mais l'arrangement le plus courant est la consigne contre une commission en cas de vente. Ce marché a des limitations géographiques et de durée de contrats. Il s'organise en oligopoles régionaux ou monopoles par pays ou par type de production (gouache, aquarelle, etc...). Les acteurs sur un marché oligopolistique s'accordent sur les prix pratiqués.

Le marché secondaire comprend les échanges de travaux existants. Dans ce marché les clients sont informés sur les artistes et leurs œuvres. Il comporte moins de risque et moins

d'incertitude que le marché primaire. La commercialisation se réalise dans les enchères en échange d'une commission basée sur le prix de vente, les frais de traitement et autres dépenses (telles qu'un catalogue, etc...). Ce marché est actif au niveau international et concerne surtout les artistes de haute valeur et très connus. Il peut être actif aussi au niveau local en faisant participer des artistes moins connus. Ce marché est actuellement marqué par un duopole entre Christie's et Sotheby's suivi d'une poignée de maisons qui développent le secteur de junk art et d'art décoratif. Dans ce marché la mode est dictée par les firmes d'enchères (au lieu des experts).

Une dernière façon de comprendre ce marché est à travers la segmentation par type d'art : art contemporain classique, art avant-gardiste, art alternatif et junk art. Pour une vue détaillée de cette segmentation, le lecteur peut consulter Robertson (2000) et Brighton et Pearson (1985). Nous nous contenterons de discuter les lignes générales de cette classification. Le marché de l'art contemporain classique est un marché de marque, comptant sur un petit nombre de fournisseurs et une haute élasticité d'approvisionnement. Les artistes concernés sont principalement les artistes du XXème siècle. Les produits sont uniques et les prix sont fixés. Il n'existe pas de barrière légale à l'entrée mais le marché est dominé par les agences anciennes qui possèdent plus d'argent et une certaine réserve d'œuvres. Dans ce marché, la valeur de l'artiste prend le dessus et la galerie a peu de marge de manœuvre pour manipuler les prix (ses stratégies sont secondaires). Il se caractérise principalement par la vente d'œuvres de collectionneurs dans les enchères et dans les galeries.

Le marché avant-gardiste est aussi international mais il est plus spéculatif. Il est principalement associé au secteur institutionnel mais compte aussi quelques grands collectionneurs privés. Il comprend un petit nombre d'artistes et de galeries organisées en réseaux. L'objectif de participer dans ce marché est de bénéficier de la référence de certains musées spécifiques pour créer une visibilité des artistes à travers des expositions. Les curateurs, les négociants et les critiques contrôlent ce marché et établissent la place d'un artiste sur le marché.

Le marché de l'art alternatif atteint un niveau national où les prix sont relativement élevés et les artistes sont liés par contrat à un négociant. Les prix sont déterminés par la demande et les opinions de critiques et des leaders d'opinion. Ce sont ces acteurs qui construisent

l'image de l'artiste et qui créent la mode (les valeurs esthétiques). Les vendeurs de ce marché nécessitent l'attention des autres acteurs pour participer du marché.

Enfin, le junk art présente plusieurs fournisseurs, plusieurs clients et le marché se développe sous un modèle de concurrence parfaite. Il reprend les œuvres refusées dans le marché alternatif ou avant-gardiste et les œuvres non légitimées en tant qu'art. Les œuvres sont essentiellement décoratives et l'offre est presque infiniment élastique puisqu'il n'existe pas de barrières à l'entrée. Les principaux artistes adoptent une position opportuniste et sont vendus dans des outlets, galeries, dépôts, grands magasins et plus récemment, sur internet.

Cette introduction au marché de l'art a été nécessaire pour illustrer la présence de dispositifs de jugements, la socialisation de la qualité, la soumission du prix à la qualité globale d'une œuvre, tel que décrit par Karpik sur l'économie des singularités. Nous nous intéressons maintenant à deux concepts importants pour la compréhension d'un marché singulier : le prix et la valeur.

Jusqu'à la fin du XIXème siècle les œuvres étaient jugées par leur esthétique, selon le goût de l'Ecole Française de Beaux-Arts. Dans le XXIème siècle le prix dépend des préférences de groupes de collectionneurs d'élite, de critiques, de marchands et de curateurs. Ces groupes peuvent changer selon les périodes. A partir de la littérature supra-citée nous décrirons les principaux facteurs influant ces concepts dans le marché de l'art.

La valeur monétaire d'une œuvre dépend de plusieurs facteurs interdépendants, influencés par les participants du marché. La réputation de l'artiste peut avoir une influence directe sur la valeur et sur le prix. Selon Sagot-Duvaroux et al. (1992) la « marque » de l'artiste est le principal facteur influant sur le prix. La réputation de l'artiste dépend de l'information donnée par les acteurs marchands aux acheteurs. La cristallisation de cette information représente le phénomène de création de la marque de l'artiste. Cette marque dépend de la biographie de l'artiste : les prix reçus, de bonnes critiques, des invitations à des événements, des expositions en solo et la quantité de critiques reçues. Elle dépend aussi de l'identité de l'artiste : les codes de style (couleurs, matériel, sujets, techniques). On parle de marque lors que le nom de l'artiste évoque les caractéristiques de son travail. Ce stade détermine la différenciation de l'artiste dans la compétition et sa place permet de demander

des prix appropriés. Le degré de satisfaction dépend entièrement du degré de connaissance de l'artiste.

Les caractéristiques techniques du travail influenceront principalement sur le prix d'une œuvre. Ces caractéristiques peuvent être le choix de milieu, la technique utilisée, etc. Mais la taille de l'œuvre influe sur la valeur. En effet, les œuvres de grande taille sont relativement moins chères mais sont plutôt destinées aux expositions dans des musées, fondations, etc. Elles sont donc un facteur important pour la visibilité de l'artiste (valeur) et permettent à celui-ci de valoriser les œuvres de plus petite taille (accessibles aux acheteurs privés).

La compétition au niveau international influe positivement sur la valeur de l'artiste (Robertson 2000). L'infrastructure culturelle aussi influe sur la valeur, non seulement en favorisant la visibilité de l'artiste mais aussi en validant son œuvre d'un point de vue esthétique et économique. L'infrastructure permet de réduire la spéculation en garantissant la valeur de l'art en absence de standards objectifs de certification.

Le négociant influe sur le prix. Il joue un rôle stratégique sur l'allocation de ressources capitales, la limitation de l'offre et la manipulation des prix. Sur le court terme, son action est similaire à celle du marché d'actions, il est important de percevoir correctement la réalité. La stratégie à très long terme a un caractère plus objectif. La valeur de l'œuvre (ou l'artiste) est influencée par l'effet temps et peut bénéficier du jugement historique. Les stratégies d'offre sont le principal instrument des acteurs pour maintenir les prix vers le haut. Cependant, la stratégie de rareté est à double tranchant puisque la valeur de l'artiste dépend de sa marque. Il est donc nécessaire d'avoir un minimum de production afin d'assurer la visibilité de l'artiste et augmenter sa valeur.

Suite à cette description rapide de l'industrie de l'art nous pouvons retenir : le besoin de visibilité, de la création d'une marque, d'outils de jugement, de validation par des institutions dédiées (pour réduire la spéculation) et du marché international pour atteindre le sommet ; et finalement, l'interdépendance entre valeur et prix. La formation de prix dans ce marché se base sur la combinaison d'un système complexe de mécanismes de création de valeur avec des caractéristiques techniques liées à chaque artiste.

Le marché de la base de la pyramide est principalement caractérisé par la facilité d'entrée, l'absence de barrières et l'opportunisme. Les ventes se font grâce à des moyens dédiés au grand public et la concurrence se fait surtout sur la base de la variété.

III.2.2.2. L'industrie du Champagne : une singularité contrôlée

Il est nécessaire pour notre travail de considérer les différentes formes d'organisation et de coordination des acteurs de filières liées à l'économie des singularités. L'analyse du marché du vin de Champagne nous permet de comprendre le développement du « singulier » à partir d'une activité à caractère industriel. Nous avons choisi l'industrie du Champagne parce que cette industrie, marquée par une forte incertitude, présente une importante structure d'organisation autour d'un seul type (appellation) de vin. Cette organisation permet de créer une image « mère » sous laquelle se développent plusieurs marques en concurrence. Nous nous focaliserons sur l'importance de cette organisation centrale pour la coordination de la filière et surtout pour l'orientation du consommateur.

Dans ce marché, la principale barrière d'entrée des concurrents est la restriction de la zone de récolte de raisins à la seule région de Champagne. L'incertitude de l'industrie provient de la qualité et de la quantité du raisin produit annuellement, ce qui a généré des hausses et des baisses de prix incompréhensibles par le consommateur pendant plusieurs années. Cette incompréhension était aussi liée à une forte concurrence désorganisée entre les récoltants et les commerçants.

La combinaison de ces deux facteurs a généré une opacité du marché favorisant l'entrée de vins pétillants produits dans d'autres pays sur le marché international. Cette nouvelle concurrence a généré une crise du champagne et appelé à la révision des politiques commerciales des entreprises du secteur (Declerck, 2005). Nous décrirons ici les principaux facteurs de cette crise et l'organisation employée par l'industrie afin de la surmonter.

Cette industrie est composée principalement de vignobles et de négociants, tous deux pouvant cumuler des activités de culture de vigne mais aussi de production de vin et de commercialisation. Cette situation génère une forte concurrence dont nous exposerons les principales caractéristiques par la suite.

Les négociants-manipulants possèdent les marques qui ont fait la notoriété du Champagne et expédient environ 70% de la production, dont la moitié à l'export (CIVC 2002). Les 30% restants des expéditions sont réalisées par les vignerons eux-mêmes soit directement, soit par l'intermédiaire de coopératives (Soler et Tanguy, 1998). Comme les expéditions dépassent la capacité de récolte des négociants, ils doivent s'approvisionner auprès des vignerons au moment de la vendange. Les négociants sont donc largement dépendants des vignobles pour assurer leur production. Mais le vignoble a progressivement appris à se passer du négoce pour une fraction de ses récoltes en lançant ses propres vins de Champagne. Progressivement, le marché s'est organisé de façon telle que le négoce tient les marchés rémunérateurs et le vignoble tient la matière première et peut concurrencer le commerçant par le bas.

La relation entre ces deux acteurs est compliquée et marquée par la concurrence et la dépendance mutuelle pour la survie. Soler et Tanguy (1996) ont expliqué le grand changement de l'organisation de ce marché suite aux grandes difficultés de négociation de 1996. Selon les auteurs, jusqu'en 1996, l'incertitude au niveau des récoltes amplifiait la difficulté de mise en place d'engagements pluriannuels. A la place, il y avait des contrats annuels, résultats de la négociation opportuniste de chacun des acteurs. En cas de grosses récoltes le « négoce » bénéficiait de prix plus favorables et pouvait même concurrencer le vignoble sur son propre marché de bouteilles à bas prix. En cas de mauvaise récolte, les prix flambaient et le vignoble rationalisait le raisin pour augmenter son prix. Par conséquent, le vin du négociant augmentait de prix et ouvrait la place pour les bouteilles du vignoble. Ce dernier avait aussi la possibilité d'écouler l'excédent de ses stocks sous forme de vins sur lattes à un négoce déficitaire en matière première.

Dans cet environnement il était difficile de mettre en œuvre une politique de qualité. Le consommateur était prêt à payer le prix fort pour le produit en l'absence de connaissance précise sur sa qualité. L'appellation Champagne étant la garantie principale. Cependant, cette propension avait diminué avec l'augmentation de l'offre de produits premier prix. Les investissements commerciaux réalisés par le négoce devenaient difficiles à rentabiliser, remettant en cause le maintien d'une offre de Champagne de qualité exceptionnelle.

Comme les relations entre ces deux acteurs ont eu toujours une tendance à être tendues, déjà à la fin du XIX^{ème} siècle une organisation interprofessionnelle avait été mise en place. L'objectif était d'aider à améliorer ces relations. Cependant, la crise du Champagne

de 1996 a mené à repenser son rôle et les relations mises en place. Pour plus de détail sur l'évolution de ces relations le lecteur peut s'adresser à Soler et Tanguy (1998).

A la fin de 1995, un rapport de l'Interprofession a montré que la libéralisation des échanges (en place depuis 1990) avait enlevé tout moyen de régulation globale des quantités et des prix et avait rendu impossible une réponse cohérente face au nouveau contexte concurrentiel. Les variations trop importantes au niveau des prix et des volumes du raisin ou des bouteilles mises sur le marché ont pénalisé l'économie globale de la Champagne et le manque de perspectives dans les négociations interprofessionnelles avait amplifié les désajustements.

Selon Soler et Tanguy (1998) les négociations selon les rapports de force étaient devenues myopes et pénalisantes, compte tenu du délai de 3 ans entre l'achat du raisin et la sortie des bouteilles. Des forts déséquilibres se sont installés : la flambée des prix du raisin ; la chute du prix de la bouteille du vignoble (et par conséquent la diminution des revenus et l'accroissement des stocks) et la faible flexibilité commerciale des négociants.

La sortie de la crise a été possible grâce à une modification de la régulation de l'offre de raisin. Le nouvel accord interprofessionnel a reposé sur trois points : la mise en réserve systématique d'une partie des raisins produits pour garantir la stabilisation de l'offre de matière première ; la définition d'une stratégie pluriannuelle pour la filière à travers un équilibre visé entre offre de raisin et demande de bouteilles anticipée sur les marchés finaux ; la mise en place d'un dispositif de suivi du déroulement de la stratégie et des risques de déviation susceptibles d'apparaître au cours du temps.

Ce dispositif de suivi est représenté par un observatoire économique constitué à partir de données fournies par chaque catégorie d'acteurs. Il permet le suivi des flux physiques de matière (raisin, bouteilles semi-finies ou finies) entre les divers types d'opérateurs de la filière (vignoble/grandes marques, vignoble/négociants distributeurs, négociants/négociants...) et entre ces opérateurs et le marché (grandes marques/export, négociants/grande distribution...). Ce suivi permet de valider le respect des règles par les parties, en particulier du point de vue de l'évolution des différents types de marchés finaux (évolution des prix des bouteilles par marché, évolution des quantités de vins sur lattes échangés, ...); d'assurer la mise en œuvre des engagements des deux parties et d'aider l'Interprofession à opérer les ajustements nécessaires au niveau des rendements

d'appellation face à une succession de mauvaises récoltes ou face à des conjonctures imprévues (Tanguy et Soler, 1998).

Associé à un outil de simulation pluriannuel des échanges au sein de la filière, l'Observatoire Economique fournit à l'Interprofession des outils pour l'aide aux négociations : il permet de mettre au cœur des négociations de façon explicite les déséquilibres qui pourraient surgir, à moyen terme, sous l'effet d'une maîtrise insuffisante des ajustements offre-demande entre les divers opérateurs.

Cet accord interprofessionnel n'a pas éliminé la concurrence entre vignerons et négociants. Mais l'Interprofession fait l'hypothèse que les paramètres figés collectivement et de façon pluriannuelle, tout en laissant prédominer un régime de concurrence, vont faire converger les anticipations de manière à assurer une maîtrise des « interdépendances critiques » qui conditionnent les performances globales de l'appellation Champagne (Soler et Tanguy, 1998).

Ce nouvel accord interprofessionnel a eu pour objectif d'introduire un élément de régulation dans un régime de concurrence destructrice (liée à l'incertitude sur l'offre et à la faible information des consommateurs sur la qualité).

La situation d'instabilité dans laquelle les acteurs se trouvaient engagés, la forte imbrication et de fortes interdépendances entre les activités des uns et des autres a favorisé l'accord interprofessionnel. Ce type d'accord n'est pas toujours facile puisqu'il demande aux entreprises de s'adapter à une nouvelle situation de réajustement coordonné et rapide. Tanguy (1996) explique que des tensions peuvent être présentes, à cause d'un besoin de décentralisation (qui favorise l'exploitation des savoir-faire locaux) et de centralisation (pour piloter les interfaces).

L'auteur signale que le réglage de ces tensions est difficile, surtout en situation de crise où les acteurs ont tendance à se focaliser sur des problèmes de partage de la valeur (conflits sur les ressources, conflits sur les prix...). Pris dans un jeu marqué par des difficultés d'engagement et des comportements opportunistes des uns et des autres, les acteurs ne sont pas en mesure de s'interroger sur les moyens d'action qui permettraient de maintenir ou d'augmenter cette valeur économique et sur les possibilités de changer les règles du jeu.

Cependant Tanguy et Soler (1998) expliquent que dans ce type de situation, le premier problème à saisir est celui de la création (recréation) de valeur économique globale. Il est donc prioritaire de repérer des interdépendances entre les différents opérateurs qui conditionnent l'obtention de cette valeur économique globale.

Dans ce cas, il est nécessaire de s'interroger sur les modalités de planification et de coordination dans l'incertain qui peuvent s'avérer collectivement payantes. Une analyse des flux de matière ou d'informations qui affectent le déroulement des activités de chaque type d'opérateur est à cet égard une voie souvent fructueuse pour amener les acteurs à prescrire mutuellement les contraintes qui conditionnent les possibilités (individuelles et globales) de création de valeur. Il est important d'informer les acteurs et d'orienter le débat vers le bon sens (celui de la création de la valeur et d'éviter les opportunistes et l'abandon du jeu) (Tanguy et Soler, 1998).

Une analyse de ce marché réalisée par Declerck (2005) a montré une relative stabilisation des prix du Champagne après l'accord Interprofessionnel de 1996. Son étude a montré que ce marché dépend du marché international et de canaux spécifiques de distribution pour réaliser des bénéfices. La vente de Champagne exclusivement dans des supermarchés génère des pertes économiques insupportables par les acteurs. Comme la pénétration dans le marché international est très coûteuse, l'auteur propose la production d'un vin de qualité inférieure mais à moindre coût de production pour la vente en masse sur les supermarchés sous le nom de la marque comme une solution possible pour les vignobles-manipulant. Cette solution est similaire à celle développée par les acteurs du luxe (haute couture par exemple, citée par Karpik, 2007).

Pour conclure sur l'organisation du marché du Champagne, nous retenons l'importance d'un acteur central pour le maintien de la renommée de la « marque Champagne » à travers l'organisation de la filière et la transparence vis-à-vis des consommateurs ; l'importance du marché international pour élargir le potentiel de vente et de bénéfices ; l'interdépendance des acteurs de la filière, même en situation de concurrence. Parallèlement, nous observons qu'en situation de confusion de prix, les consommateurs peuvent se tourner vers d'autres produits ou déplacer l'achat vers le futur. Le consommateur qui adopte cette pratique est connu comme le consommateur stratégique. Nous apporterons par la suite quelques éléments nécessaires pour la compréhension de ce comportement.

III.2.3. Le consommateur stratégique : un acteur à prendre en compte

Les études sur le comportement stratégique du consommateur ont été déclenchées à partir de difficultés à déterminer la demande, un des paramètres principaux pour remplir un cahier des charges classique. D'après Anthony (1965), « les décisions du plan stratégique concernent principalement l'établissement des politiques managériales et le développement d'outils afin de satisfaire les besoins extérieurs de manière compatible avec les objectifs organisationnels ». En d'autres termes, la demande doit être satisfaite par le plan de production.

Toutefois, dans la majorité des contextes innovants, la demande future est, au mieux, connue en partie. Toute prospective peut être inexacte. De plus, traditionnellement les méthodes d'estimation de la demande la caractérisent de façon exogène. La taille du marché, la sensibilité au prix, l'arrivée de nouveaux consommateurs et la mise en place de services sont généralement modélisés en utilisant des processus stochastiques. En général, ces méthodes supposent le consommateur comme un acteur passif.

Ces difficultés d'établissement de la demande dans des contextes innovants ont amené au développement récent de recherches sur la demande en prenant en compte le comportement du consommateur. La négligence du processus de prise de décision des clients peut avoir de répercussions importantes parce que le comportement du consommateur, dans tous les marchés, est intimement lié aux actions de l'entreprise et aux réactions correspondantes d'autres consommateurs.

Zhou et al. (2009) expliquent que le consommateur stratégique pratique la substitution inter temporelle qui renvoie à la pratique de l'achat décalé dans le futur. Pendant longtemps cet aspect de la consommation a été négligé par la littérature du management des revenus. Le paradigme de modélisation standard considère que la demande existante à chaque moment est soit réalisée (se transformant en vente) soit perdue pour toujours. Le comportement de substitution inter-temporelle est appelé « comportement stratégique du consommateur ». La littérature récente nomme « consommateurs stratégiques » ceux qui présentent ce comportement lors de leur achat ; et consommateurs myopes, ceux qui font une décision d'achat à un moment unique, à savoir, au moment de l'arrivée de l'offre.

Les recherches dans ce domaine cherchent à modéliser le comportement du consommateur par ses réponses aux différentes stratégies tarifaires (Gallego et van Ryzin, 1994). Zhou et al. (2009) déterminent la nature du seuil de la politique optimale d'achat : les consommateurs doivent acheter immédiatement si le prix courant est en dessous d'un seuil dépendant de leur évaluation et de la tendance du moment.

Bien que l'attente stratégique puisse réduire la réalisation de bénéfices de la part du vendeur, son avantage est que les consommateurs stratégiques confrontés à des prix trop élevés ne sont pas complètement perdus et peuvent être récupérés à des prix plus bas. Si une entreprise échoue dans la prise en compte du comportement stratégique du consommateur, la perte en revenus peut être considérable (Asvanunt et Kachani, 2006). Ces recherches permettent aussi aux entreprises de mieux comprendre les stratégies à adopter face à ce consommateur (pré-vente, politique tarifaire dynamique, etc...).

Cependant, la plupart des recherches sur le consommateur stratégique et les stratégies des entreprises considère un marché sans opacité, où le consommateur peut juger plus ou moins facilement la cohérence prix *vs* valeur d'un produit (Aviv et Pazgal, 2008 ; Zhao et Pang, 2011 ; Aviv et al., 2009 ; Xie et Shugan, 2001 ; Zhao et Steckle, 2010 ; Prasad et al. 2011).

Ces études permettent de comprendre le consommateur stratégique dans l'économie néo-classique. Cependant, la littérature dit peu sur ce consommateur stratégique dans l'économie des singularités. Karpik (2007) a démontré le besoin des dispositifs de jugement pour aider la décision du consommateur des singularités sans pour autant étudier spécifiquement son caractère stratégique. Stenger (2007) a démontré que la décision d'achat du consommateur du marché des singularités peut dépendre d'une acquisition de connaissance mais aussi d'une mise en situation qui lui rappelle des expériences personnelles.

Cette compréhension du comportement stratégique du consommateur représente une facette des adaptations récentes du marché au nouvel environnement fortement innovant qui caractérise l'industrie des dernières décennies. Dans la section suivante nous nous intéresserons au monde de l'intermédiation dans ce nouvel environnement.

III.2.4. L'intermédiation et le rôle des prescripteurs dans les marchés récents

Les modifications récentes des activités industrielles ont amené à une réflexion sur l'organisation de l'intermédiation. Des questions se sont alors posées sur l'organisation du marché, son nouveau rôle et la forme adaptée de rémunération des intermédiaires. A ce propos, Hackett (1992) a étudié la forme de rémunération des intermédiaires. Il a établi que la facilitation et le conseil sur l'échange impliquent une rémunération basée principalement sur une commission payée par l'offreur ou le demandeur. La distribution génère des revenus par la plus-value entre l'achat et la revente d'un produit.

Mais avec le développement des technologies de l'information et de communication le jeu s'est modifié. Certains intermédiaires et grossistes ont renforcé leur position au détriment des distributeurs et producteurs (Buzzel, 1985). Leur avantage dans ce jeu est leur capacité à articuler des groupages et commandes importantes, la logistique, l'optimisation des encours pour les flux financiers. Les distributeurs engagés dans l'achat et la vente de produits ont dû faire évoluer leur activité vers une forme plus complexe d'intermédiation, en mobilisant les technologies de l'information et la communication.

Myerson et Satterwaite (1983) décrivent le *bundling* (groupage) comme le marqueur de la transition entre le rôle classique de l'intermédiaire et celui du prescripteur dans la structuration de l'offre. En effet, pour proposer un groupage de biens et services et réduire les coûts d'accès, les intermédiaires ne peuvent plus se contenter d'être de simples courtiers. Ils sont de véritables acteurs de la chaîne de diffusion.

L'intermédiaire n'est donc plus un distributeur ou un expert consultant mais il peut aussi réguler les transactions par la promotion et la prescription de biens et services. Nous nous intéressons aux formes récentes de développement de cet acteur prescripteur en tant que créateur de valeur et de structuration de l'offre, notamment à travers sa présence sur les média de masse. La littérature mobilisée dans ce travail porte initialement sur la définition théorique de cet acteur pour ensuite traiter cette fonction sous l'angle des technologies récentes de l'information et de la communication (TIC). Ce choix est conditionné par des questions soulevées lors de la réflexion sur les leviers commerciaux pour la CBC.

Malgré une certaine diversité d'acteurs pouvant faire le lien entre vendeurs et acheteurs (Spulber, 1996 ; Brynjolfsson et al. 1999 ; Gensollen, 1999 ; Tapscott, 1999), nous nous

intéressons particulièrement au prescripteur pour son caractère commun à l'économie, la sociologie et la gestion, et pour sa capacité de produire et distribuer de connaissances pour réguler les échanges dans ce que Hatchuel (1998) a appelé un rapport de prescription.

Le prescripteur joue un rôle organisateur à travers la communication, la persuasion et la création de sens collectif. Sa position n'est pas évidente puisque son action vise à transformer les connaissances, les actes et les jugements d'autrui sans pour autant que ses « prescriptions » correspondent à des ordres. Selon Hatchuel (1998) l'activité de prescription est une activité de production de connaissance mais l'acceptabilité et la validité de ces connaissances nouvelles dépendent du système de relations amont et aval dans lesquels les prescripteurs se situent. Ce système de relations représente aussi un moyen de création de connaissance pour le prescripteur lui-même.

Selon Hatchuel (1996) dans la relation vendeurs – acheteurs ces acteurs se prescrivent mutuellement les caractéristiques des prestations qu'ils échangent. Cependant, dans l'échange marchand, il peut s'installer une crise de méconnaissance de l'acheteur qui peut compliquer la relation marchande. Dans ce cas le prescripteur intervient comme un acteur capable de comprendre les méconnaissances de l'acheteur et lui prescrire une action. Dans cette situation la neutralité du prescripteur est un gage d'assurance et de transparence pour l'acheteur.

Hatchuel (1998) a identifié plusieurs types de prescripteurs : l'Etat à travers la création de standards, d'appellations et de services de contrôle ; l'initiative privée, sous règlement public : les médecins, les experts assermentés, etc ; ou encore les prescripteurs privés, non reconnus par l'Etat mais qui peuvent contribuer au processus de jugement.

Dans tous les cas, la relation de prescription dépend d'un transfert mutuel de savoirs : les connaissances ne peuvent être transmises d'un acteur à l'autre qu'après que ce dernier ait exprimé ses besoins ou ses méconnaissances. Ce processus n'est pas instantané, il demande du temps, de la communication et de la différenciation des acteurs selon une coordination suivant le principe de non indépendance (SIR) entre savoir et relation. Dans une analyse de ce rapport, Hatchuel (1998) a identifié quatre types de relation de prescription :

- la relation régulée, où la crise impose le recours au prescripteur ;

- la relation de prescription, où le prescripteur apporte au prescrit des connaissances déterminantes et pertinentes pour l'action de ce dernier. Cette relation implique un apprentissage en retour du prescripteur ;
- la relation critique : elle peut s'établir selon un rapport marchand ou hiérarchique. Dans le cas de rapport marchand, la relation critique entre prescripteur et vendeur doit être non-marchande et surtout non-hiérarchique. Cette relation est paradoxale et lie l'indépendance stricte et l'échange permanent de connaissances. Dans le cas de rapport hiérarchique l'échange critique porte sur le lien dirigeant-prescripteur et la dynamique des relations critiques exige d'analyser le contenu des savoirs échangés ;
- les échanges prescripteur-prescripteur : dans ce cas, les prescripteurs ayant des connaissances similaires peuvent s'organiser sous forme de groupement professionnel – syndicat, association...

Cette introduction au rôle du prescripteur à partir de la théorie des prescripteurs énoncée par Hatchuel nous montre la variété de formes que la relation entre le prescripteur et le prescrit peut assumer tout en ayant comme caractéristique centrale la non-indépendance entre savoir et relation et ayant comme objectif principal le transfert des connaissances pour faciliter le jugement et la prise de décisions.

Nous discuterons par la suite l'implication directe de ce métier dans le marché et son adaptation aux outils de communication de masse (la télévision et l'internet) qui l'ont transformé d'un métier d'intermédiation et d'amplitude locale (de réseau personnel) à un métier d'aide à la décision d'amplitude nationale voire internationale grâce aux outils de communication de masse.

III.2.4.1. Les prescripteurs des média de masse

La prescription dans la télévision et l'internet a été étudiée par Benghozi et Paris (2003) et Benghozi et Paris (2007) mais avant de comprendre le rôle du prescripteur, les auteurs réalisent une lecture de ce marché, nécessaire à la compréhension des acteurs. C'est à travers leur lecture de ce marché que nous discernons les principales caractéristiques du prescripteur dans ce domaine. Selon les auteurs, le marché n'est plus une entité unique liant les producteurs et les consommateurs. Il existe trois entités simultanées exerçant un

transfert de décisions. Le processus de prise de décision est donc composé et chaque part du processus présente une dynamique différente. Les prescripteurs exercent le rôle de filtre du marché.

L'analyse de Benghozi et Paris montre l'existence d'un marché primaire (où le consommateur fait une sélection dans une large gamme de produits et services) ; un marché de référencement, qui régule l'acquisition de biens et la sélection d'information entre prescripteurs et vendeurs et un marché prescripteur, qui gouverne les relations entre consommateurs et les différents prescripteurs.

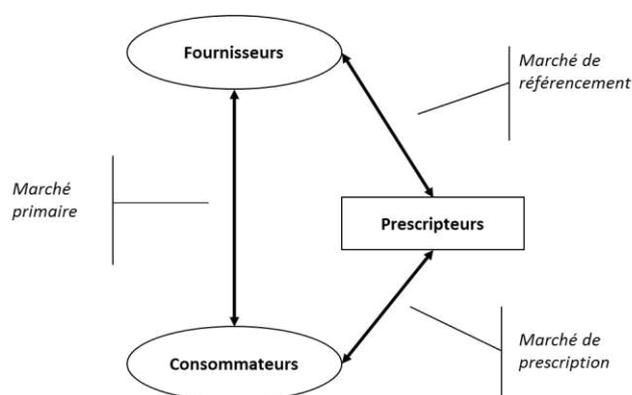


Figure 31 : Le marché de la prescription dans les TIC.

Source : Traduit à partir de Benghozi et Paris (2006)

Tant le marché de référencement que le marché de prescription sont imputables au prescripteur. Dans le marché de référencement son rôle est de traiter et certifier l'information. Dans le marché de prescription, l'objectif est de faciliter la sélection de produits selon la demande du consommateur.

Benghozi traite de certaines questions qui permettent d'approfondir notre connaissance sur les prescripteurs proposée par Hatchuel (1998) dans la théorie des prescripteurs, surtout en ce qui concerne le marché des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), leur relation avec le consommateur et les formes de rémunération.

D'après Benghozi et Paris les sources de revenus des prescripteurs sont variables et dépendent d'une série de facteurs tels que leur position vis-à-vis de l'offreur et du demandeur ou alors de leur capacité à opérer sur le marché de prescription et/ou celui de référencement. Sur internet, la source de revenu du prescripteur (marché prescripteur) provient de la vente d'une information sélecte et précise, ou de l'abonnement des clients à son site internet pour accéder à cette information. Si l'acteur a un bon accès au marché, il peut avoir accès aussi au marché publicitaire comme source de revenu.

Dans le marché de référencement, ses revenus proviennent des commissions payées par le vendeur. Dans cette stratégie, l'acteur doit promouvoir la sélectivité plutôt que l'élargissement de sa base de données. Après avoir fourni le service basique, l'acteur devient un répertoire qui offre une sélectivité de pages web, listes préférentielles, etc. en échange d'un paiement de la part des sites listés. Ce paiement peut être unique pour une liste de références ou peut être indexé au nombre de contacts générés.

Selon Benghozi et Paris (2003) l'intérêt de payer un acteur pour la sélectivité dépendra de sa capacité à attirer des consommateurs. Le prescripteur doit être en mesure de garantir que son offre est de bonne qualité et relativement complète. Le succès de cette démarche dépend donc de la qualité et de l'extension de l'information fournie par le prescripteur, de sa structure de coûts pour produire le contenu et du coût de ce service pour le client. Dans certains cas le prescripteur peut devenir distributeur et, dans ce cas, la prescription prend la forme d'une sélection d'un produit pour un client. Si l'acteur est capable de mener le jeu du marché, il peut s'orienter vers le marché de référencement. Dans ce cas il transforme sa relation avec les consommateurs et les producteurs et assume une position stratégique dans le marché.

Dans l'exemple de la télévision, les diffuseurs ont évolué de simples distributeurs à prescripteurs. Ce changement a provoqué plusieurs modifications dans le modèle économique, à commencer par l'analyse du potentiel commercial d'une émission. Celle-ci a évolué d'une évaluation *ex post* (en fonction de l'audience) à un modèle *de design to cost* où le potentiel d'audience d'un horaire est calculé à l'avance permettant de prévoir le volume de publicité nécessaire, le budget employé pour la production et les recettes potentielles (Benghozi et Paris, 2003). Actuellement, plusieurs modèles d'affaires coexistent : télévision hertzienne gratuite ou commerciale, *pay per view*, bouquets câble ou

satellite, abonnement, etc. Chaque situation correspond à des déploiements, des types de programmes, des types d'actionnariat, de financement et de régulation différents.

Cette évolution a remis en cause la légitimité du financement public, provoqué une concentration, réduit la place des opérateurs et producteurs indépendants, généré une tension entre chaînes thématiques et producteurs plus forts résultant en un accroissement de la fourchette de prix entre programmes connaissant une inflation des coûts et programmes sous-payés. Ces tensions se sont accentuées avec l'arrivée de l'internet qui a provoqué une redistribution des cartes et un changement des habitudes des consommateurs.

La multiplication de fournisseurs, de canaux de distribution, de producteurs, etc. a obligé les acteurs à trouver un équilibre entre les supports de l'audiovisuel : câble, satellite, payant, hertzien, réseaux numériques, etc. Selon Benghozi (2001) dans cette nouvelle organisation plutôt que de développer des marchés en concurrence, il a fallu y voir des marchés en complémentarité veillant à positionner chacun des supports de façon spécifique et éviter leur cannibalisation réciproque.

Dans les relations entre le prescripteur et le consommateur, le prescripteur a un rôle fondamental dans l'organisation du marché dans le sens où il prépare la programmation qui sera disponible pour le consommateur. Cette prescription se présente sous deux formes : une prescription unique (le programmeur choisit la programmation unique qui sera présentée au consommateur) ou alors une prescription multiple (le programmeur met à disposition du consommateur une sélection de programmes parmi lesquels le consommateur choisit ce qui lui convient le mieux).

Selon Benghozi et Paris (2003), cette prescription peut être exercée à l'intérieur de 3 marchés : le marché des programmes (relation entre l'offre et le consommateur) ; le marché de l'exclusivité (relation entre le diffuseur et l'offre) et le marché des droits d'accès (entre le consommateur et les diffuseurs). Le paiement de ce service par le consommateur est variable. Si le client fait confiance au choix du programmeur, il peut accepter de payer un abonnement pour accéder au contenu. Dans le cas du bouquet, ce rapport peut être plus complexe puisqu'il y a deux niveaux de prescription : la sélection de chaînes et la sélection de programmes de chaque chaîne. Dans le cas de la prescription unique (marché de programmes), le prescripteur est principalement payé par des taxes (impôts).

Cette description du marché de prescripteurs et de l'activité des prescripteurs sur les médias de masse a permis de comprendre l'importance de leur action dans la structuration d'un marché en adaptant l'offre à la demande. Plusieurs stratégies ont été décrites et permettent de créer une base pour la réflexion sur le rôle de cet acteur dans le développement de la CBC.

D'après les observations sur le terrain (en utilisant l'exemple du clonage équin) nous avons observé que la position du distributeur traditionnel est fragile dans ce marché à fort caractère primaire. Par ailleurs, un intermédiaire souhaitant atteindre et satisfaire un marché fragmenté bénéficierait d'une offre multiple et d'une indépendance par rapport à un producteur unique. La présence de prescripteurs dans ce marché en tant que facilitateurs de la décision et réducteurs d'opacité nous semble appropriée pour coordonner et stimuler le marché de la CBC.

Maintenant, à partir de la base de connaissances sur les facteurs qui peuvent influencer sur le développement commercial d'une technologie, nous pouvons proposer un concept de modèle d'affaires approprié au développement de la CBC.

III.3. LA CONCEPTION D'UN MODELE D'AFFAIRES ADAPTE A LA CBC

La proposition d'un modèle d'affaires pour la CBC demande une analyse de l'ensemble des acteurs de l'industrie afin de comprendre les chemins empruntés et les interactions qu'influent le parcours technologique, tant du point de vue de l'innovation que du point de vue commercial. Par conséquent, il est impossible de proposer un modèle d'affaires unique pour la CBC. Cependant, il est possible de définir un schéma analytique général de base pour la CBC. Ce schéma pourra être adapté aux spécificités de chaque technologie.

Ce schéma d'analyse proposé est basé sur la caractérisation des acteurs de la CBC, leur position par rapport au marché de l'innovation et du produit, le respect de leur cœur de métier dans leur relation avec le marché, la singularité (ou non) des produits, les options alternatives possibles. L'analyse inclut la définition de cœur de métier selon les grandes lignes : scientifique, producteur, commerçant, etc. Suivie du placement des acteurs par rapport au marché : présence sur le marché de négoce ou sur le marché consommateur ou encore sur ces deux marchés.

A partir de cette première phase, il sera possible de vérifier le respect (ou non) du cœur de métier de chaque acteur et finalement d'évaluer les conséquences potentielles de l'organisation existante pour l'industrie. Suite à cette analyse il sera possible de proposer de solutions alternatives à l'organisation en place de façon à organiser la concurrence et augmenter la visibilité des acteurs.

Parmi les paramètres à privilégier dans l'analyse, il nous semble important de considérer le caractère intermédiaire de la CBC entre le marché néo-classique et celui des singularités et les outils de travail existants ou à créer selon la situation. Nous avons montré en Partie I et II que les coûts de production d'une technologie de type CBC peuvent être estimés à l'aide d'un travail de planification. Par conséquent, le prix commercial d'une CBC peut être déterminé selon les règles du marché néo-classique. Cependant, le produit de la CBC est destiné à un marché des singularités où sa biographie influe sur sa valeur et sur son prix. La mise en place d'une politique de valorisation de la CBC pourrait inclure une certaine singularisation de la technologie afin d'éviter la concurrence par les prix fortement favorables aux producteurs moins innovants ou originaires des pays à moindre coûts de production. L'objectif d'une telle politique serait d'éviter que tous les acteurs participent à un marché de type base de la pyramide, où la concurrence par le prix et l'opportunisme seraient très nuisibles pour l'ensemble des acteurs. Par ailleurs, l'objectif de cette singularisation de la technologie n'est pas celui d'introduire ou d'augmenter l'opacité du marché mais, au contraire, d'améliorer la transparence tout en utilisant des outils qualitatifs, plutôt que quantitatifs, si nécessaire.

Nous avons identifié quelques facteurs qui pourraient favoriser la singularisation partielle de la CBC tels que le savoir-faire des équipes, leur activité auprès de niches spécifiques, la valorisation de ses produits, leur participation à la production de produits bien perçus dans le monde singulier, les services proposés, les garanties de production, les avis des clients.

Une fois identifiés et discutés les paramètres centraux du concept d'un monde économique pour la CBC, il est possible de résumer le mode opérationnel pour ce type de réflexion analytique dans la Figure 32.

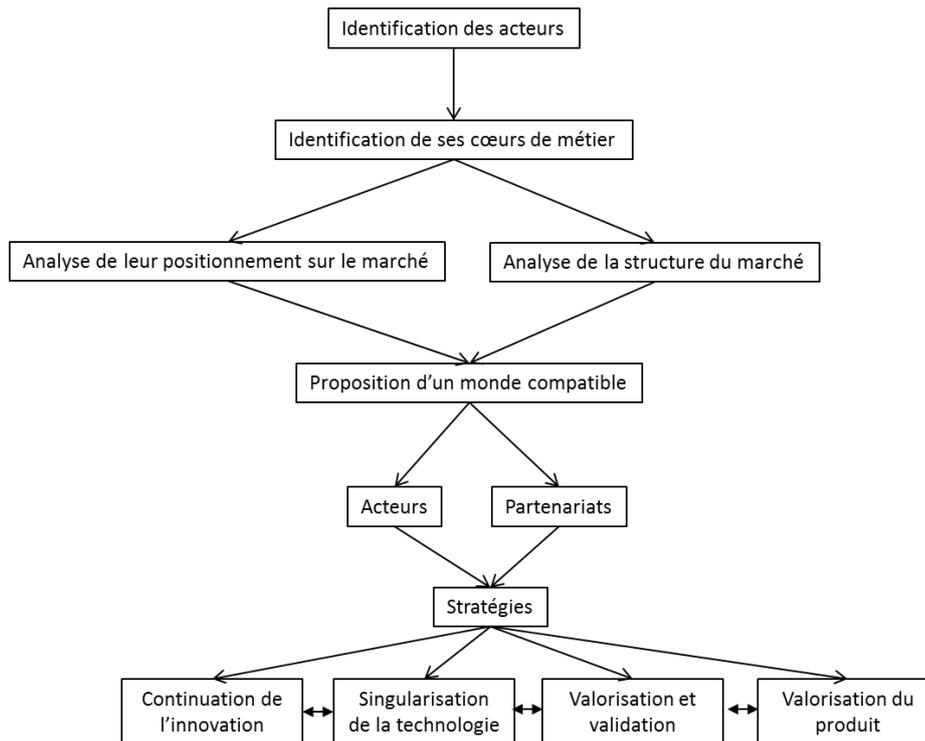


Figure 32 : Méthode opérationnelle de réflexion sur un modèle d'affaires pour la CBC.

Ce modèle analytique sera employé par la suite sur le cas du clonage équin afin de vérifier son potentiel à générer des concepts innovants de business modèles capables de contribuer au développement commercial de la CBC.

III.4. DES MODELES D'AFFAIRES THEORIQUES POUR LE CLONAGE EQUIN

L'industrie du clonage équin et ses acteurs pourraient bénéficier d'une réflexion sur l'organisation de l'industrie et sur les business modèles possibles. En effet, nous avons testé des modèles de production construits à partir du concept de planification de la production (développé en partie II) en utilisant des données réelles de coût obtenues dans un pays sud-américain et dans un pays de l'hémisphère nord. Selon cette simulation, le seuil minimum de production annuelle nécessaire pour assurer la survie d'une entreprise engagée dans la production est difficilement atteignable par les producteurs existant sur le marché. Cela démontre que le développement commercial de la technologie souffre d'une combinaison entre immaturité technologique (qui engendre des coûts de production trop

élevés malgré l'effort de planification et optimisation) et d'une immaturité commerciale qui engendre une structure de marché trop coûteuse. Le modèle analytique proposé pour la CBC sera employé maintenant afin d'exploiter des leviers possibles au développement d'une telle industrie.

Malgré les difficultés citées, notre travail a permis de constater l'existence d'un marché potentiellement sous-exploité. Nous pouvons l'affirmer en observant l'évolution du marché. A chaque nouvel entrant, un nouveau marché s'est présenté. Ainsi, l'acteur français priorise le marché des disciplines olympiques, l'acteur italien a une clientèle sur le marché nord-africain et du proche orient, les acteurs américains se partagent le marché des sports western et d'autres races d'importance nationale dans certains pays d'Amérique, les acteurs argentins développent principalement le marché du Polo et l'acteur brésilien vise principalement les races nationales. Mais ce développement sous forme de réseau personnel met rapidement les acteurs en concurrence (traduite par une forte concurrence par les prix).

III.4.1. Les acteurs de l'industrie : le brouillage de cœur de métier

Nous avons identifié trois types d'acteurs dans le marché du clonage équin : des acteurs scientifiques, des producteurs commerciaux et un distributeur. Ces trois catégories d'acteurs présentent une caractéristique en commun : l'offre principale de tous les acteurs est basée sur la production de clones pour le consommateur final.

Les acteurs scientifiques : la politique de financement public de la recherche dans ce domaine stimulant le développement de partenariats public-privés pour le développement de recherches, les acteurs scientifiques doivent s'orienter vers le privé pour obtenir des solutions de financement. La stratégie de tous les chercheurs est celle de l'offre du produit (clone) au consommateur final. Cette stratégie a été discutée par Fiskens et Rutherford (2002) et l'objectif est celui de garantir un prolongement de la source de revenus dans le temps. Pour ce faire, ces acteurs se sont orientés vers des partenariats de production pour les consommateurs (sans pour autant transférer la connaissance générée à leurs partenaires). Cette stratégie a certes permis de prolonger l'avantage des scientifiques sur la production pour le consommateur final grâce à un retard de l'entrée de nouveaux concurrents sur le marché et à une reconnaissance en tant que producteurs leur permettant de réaliser des contrats ponctuels avec les consommateurs. Cependant, cette stratégie a

négligé l'intérêt des partenariats à plus long terme avec l'industrie ou d'autres entités publiques dans le but de promouvoir le développement technologique.

Or, l'activité prioritaire d'un chercheur public est de développer et transférer des technologies à l'industrie. Le choix d'adopter majoritairement la stratégie du partenariat avec le consommateur final n'est pas un rôle traditionnel de la recherche publique. Cette position adoptée actuellement par les chercheurs du clonage peut leur être nuisible puisque les « partenaires consommateurs » sont difficiles à atteindre et se résument à des projets ponctuels. Par conséquent, il y a un ralentissement du développement de l'innovation dans le domaine. Ceci est un paradoxe de la recherche sur le clonage équin : pour financer la recherche les chercheurs vendent les « services » et « non pas la technologie » ou des parties de celle-ci. En plus cette relation commerciale se développe de plus en plus en amont dans le développement. Cette fuite en avant a comme conséquence une réduction du rythme de développement sur le moyen et le long terme et la réduction des possibilités de partenariats durables avec l'industrie pour le développement industriel. Cela permet de développer la technologie tout en contribuant à un ralentissement de l'innovation, à la complexification et même à une myopie du parcours technologique de la CBC.

Les producteurs commerciaux ont aussi développé la stratégie de produire de clones pour le consommateur en se positionnant directement sur ce marché. Cependant, l'aspect innovant de la CBC, la spécificité du marché et la vente directe aux consommateurs génèrent une grande difficulté à atteindre le marché contribuant à fragiliser les producteurs par la complexification de la gestion (question de la gestion de projets éphémères vs stabilité structurelle). Face à ces difficultés et à l'environnement commercial fortement concurrentiel les producteurs lancent les opérations « marketing ». Le plus souvent elles se résument à des réductions de prix, parfois nuisibles à la santé économique de l'industrie.

Finalement, le distributeur assume une place très fragile dans le marché. En effet, les producteurs, en quête de survie, sont disposés à piétiner les frontières d'action des distributeurs afin de conquérir des consommateurs. De plus, comme la distribution est faite au niveau de plusieurs pays via des réseaux de connaissances, la structure de coûts de cet acteur représente une faiblesse pour la compétitivité de cette fonction dans la chaîne de valeur. En outre, la situation de déséquilibre offre-demande et de déstructuration du marché actuellement existante affaiblit les frontières d'activité commerciale entre distributeurs et fournisseurs.

En résumé, ce marché a actuellement tendance à fragiliser les intermédiaires et à se développer selon une structure de marché primaire (du producteur vers le consommateur). Cette structure collabore à la concurrence par le prix, à la confusion et au comportement stratégique du consommateur. Par ailleurs, le seul distributeur disponible sur le marché n'est pas capable d'élargir le marché parce que sa position est fragile et ne lui permet pas de s'investir correctement dans cette tâche. En effet, nous avons constaté que plusieurs clients contactés par le distributeur contactent par la suite le producteur directement (ou sont contactés par le producteur). Devant cette situation, la majorité des consommateurs ne se décide pas sur l'achat par manque de clarté des offres ou achète directement auprès du producteur en se passant du distributeur. Le marché actuel peut ainsi être résumé dans la Figure 33.

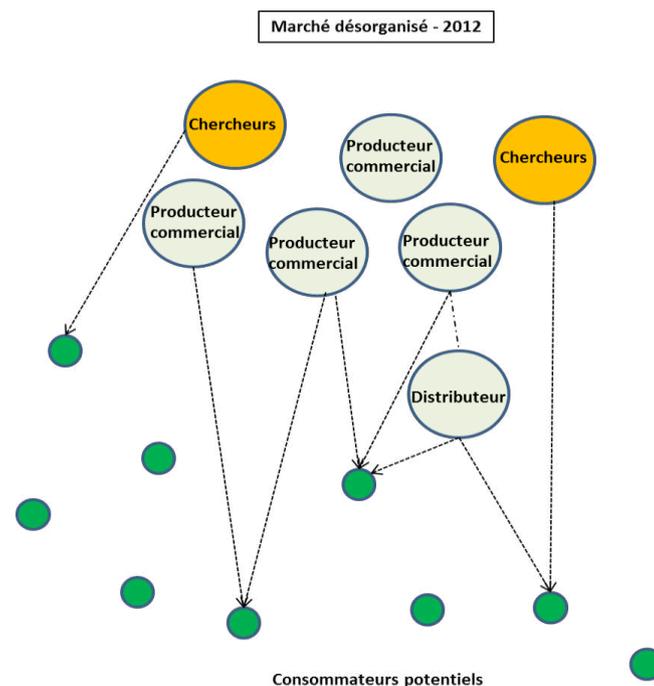


Figure 33 : Le marché du clonage équin en 2012.

Légende : les petits cercles vert foncé représentent les clients, éleveurs, isolés et difficilement identifiables ; les cercles vert clair représentent les producteurs commerciaux ; les cercles orange représentent les chercheurs ; les flèches pointillées représentent les relations établies entre les différents acteurs et le marché consommateur (dans ce cas, le seul marché consommateur est représenté par les clients, éleveurs de chevaux) ; la flèche interrompue représente la relation B to B identifiée dans cette industrie.

Malgré l'effort des acteurs, la conquête du marché reste difficile. Nous avons réalisé une recherche auprès des producteurs et des media spécialisés afin de connaître le nombre de lignées⁵ clonées entre 2003 et 2010. Le meilleur résultat en ventes annuelles a été réalisé en 2009 : 13 lignées clonées pour quatre acteurs actifs (Reis & Palmer, 2010). Cela représente une moyenne de 3,25 lignées/acteur. Ce chiffre est inférieur au seuil minimum de production nécessaire pour éviter des préjudices économiques pour le producteur tel que déterminé par le test du modèle de planification. Cela veut dire que, malgré le positivisme du marché (incluant l'arrivée de nouveaux concurrents), l'activité industrielle des producteurs est sous-optimale.

Un cercle vicieux se forme : le marché existe mais il est difficilement identifiable et abordable. Les acteurs abordent les mêmes clients successivement. Le client est confus ou suppose la possibilité d'obtenir une meilleure offre dans l'avenir. Il attend ou fait jouer la concurrence. Les acteurs produisent peu et parfois sont obligés d'offrir des réductions importantes afin d'obtenir un contrat. Le marché est ralenti. L'innovation est ralentie.

Cette désorganisation du marché est générée par le manque de définition du cœur de métier des acteurs et l'absence d'une politique de marketing convenable pour l'industrie. Nous proposerons des réflexions sur ces questions par la suite.

III.4.2. Un besoin de partenariats pour l'innovation

Le propre concept de CBC explique la difficulté de la réalisation de la recherche de manière isolée. Les hauts coûts de réalisation de la recherche (monétaires et financiers), le besoin de main d'œuvre spécialisée et diversifiée et la rareté de la matière première sont des facteurs contribuant au besoin de partenariats pour l'innovation.

La compétition entre acteurs évoquée auparavant génère des difficultés à réaliser ce type de partenariats, le renfermement des groupes et le ralentissement du développement. Un autre effet négatif de cet environnement est l'entrave à la formation de main d'œuvre. En effet, même les groupes déjà existants et qui rencontrent des difficultés pour former et

⁵ Dans l'industrie du clonage, une lignée représente une génétique. Le clonage d'une lignée peut donner naissance à quelques unités de clones. Nous traitons le sujet en nombre de lignées parce que les individus excédentaires ne sont pas toujours commandés (ils sont le fruit du caractère aléatoire de la technologie). Par ailleurs, ils sont facturés à un moindre prix par les producteurs.

perfectionner leur main d'œuvre n'arrivent pas à bénéficier de partenariats de recherche développés à cette fin.

Compte tenu de l'organisation des groupes producteurs actuels (un acteur central innovant entouré par des acteurs experts qui assurent la bonne réalisation des étapes moins innovantes – voir Partie II), il serait possible d'envisager des partenariats entre différents groupes afin d'augmenter le potentiel d'innovation. Pour cela il serait nécessaire de créer un environnement de collaboration salubre comportant une réelle politique de transfert technologique entre les acteurs.

Le manque de partenariats pour l'innovation dans ce domaine entraîne la propagation de la situation rencontrée dans l'industrie culturelle (Benghozi, 2006) qui résulte en un perfectionnement des schémas de production mais qui ralentit l'évolution des connaissances nécessaires pour le développement de l'innovation.

La question portant sur l'environnement nécessaire pour le développement pour l'innovation sera discutée par la suite.

III.4.3. Des solutions possibles pour le clonage

Les analyses préalables explicitent des besoins de cette industrie. Ces besoins peuvent être traduits par une réorganisation de l'industrie permettant d'augmenter les possibilités de partenariats et d'améliorer la visibilité de la CBC (et des acteurs) dans le marché. Nous proposons deux solutions innovantes : la prescription (un levier commercial) et les plateformes scientifiques (un levier pour l'innovation). Malgré l'existence de ces deux acteurs sur le marché d'autres technologies, nous discuterons de certaines adaptations nécessaires pour rendre faisable leur adoption sur le clonage équin. La discussion sur ces deux acteurs est importante puisqu'ils peuvent représenter aussi des leviers pour d'autres CBC soumises à un environnement similaire.

III.4.3.1. Le prescripteur en ligne

Actuellement, ce marché fragilise toute forme d'intermédiation entre les producteurs et les consommateurs. Pourtant, le haut niveau d'innovation (et de spécialisation des producteurs) et le marché restreint et fragmenté compliquent le dialogue entre producteurs

et consommateurs et demandent un important effort de communication. La fonction d'intermédiaire, que ce soit un distributeur ou un prescripteur, serait justifiable dans cette industrie. Compte tenu du caractère unique de la production, nous jugeons que le métier de grossiste n'est pas adapté à ce marché.

L'analyse des coûts et des risques imputés au distributeur actuellement existant sur cette industrie (Acteur 4) : les voyages pour communication et marketing, les impayés, l'incertitude de demande (vente de 1 à 4 clones/an, moyenne 1,5 clones/an), la longue durée des négociations (plusieurs mois, parfois plusieurs années), la concurrence de plus en plus présente avec le fournisseur, etc. montre que la place du distributeur est aussi très fragile.

L'autre type d'intermédiaire possible est le prescripteur. D'ailleurs, l'observation du marché du cheval indique que l'achat dans cette industrie est hautement lié à la prescription par un expert (vétérinaire, cavalier, éleveur, etc.). Tous les acteurs du clonage présents sur le marché essayent plus ou moins intuitivement de développer un réseau d'experts locaux pour aider à développer leur marché local sous forme de réseau personnel. Cependant, nous avons observé que le marché peine à développer ce type de réseau.

En effet, à des stades précoces de développement technologique, la plupart des prescripteurs potentiels consultés (vétérinaires praticiens, cavaliers ou entraîneurs) ne souhaite pas s'impliquer dans la prescription par peur des réactions du marché. D'autres, qui sont prêts à prescrire le clonage « si l'opportunité se présente », ne peuvent pas faire du clonage leur activité principale. Souvent, ils n'ont tout simplement pas la connaissance technique ou commerciale (information rapide sur prix, négociation de conditions spéciales, etc.) nécessaire pour assumer ce rôle dont l'action principale est de réduire la lacune de connaissance de son interlocuteur (Hatchuel, 1998). De plus, le rayon d'activité de ce prescripteur traditionnel de l'industrie du cheval reste cantonné à ses clients, ses connaissances, sa région. Son potentiel individuel de contribution à l'industrie reste limité.

Mais le prescripteur pourrait avoir un rôle important dans le développement de ce marché. Il nous semble d'ailleurs l'acteur le plus adapté à réaliser cette tâche. En effet, il pourrait apporter de la transparence et de la confiance au marché tout en contribuant à la semi singularisation de la technologie et à la valorisation du produit. Par ailleurs il pourrait

assumer un rôle structurant du marché. Cependant, le marché restreint et fragmenté du clonage imposerait une réflexion sur la structure à adopter par cet intermédiaire.

Devenir prescripteur a un coût : d'acquisition de connaissance technique, de connaissance du marché et des clients et de marketing. En outre, le type de marché auquel le clonage s'adresse impose un grand effort de communication pour élargir le public potentiellement consommateur de la technologie dans diverses disciplines équestres et différents pays. Cela engendrerait un coût insupportable pour une telle fonction tel que traditionnellement développée dans l'industrie du vivant, à savoir, le prescripteur qui agit sur un réseau personnel.

La prescription en ligne de la technologie et de son produit pourrait être envisagée afin de développer une structure de coûts supportable par la chaîne de valeur. Un blog, des publicités sur des sites spécialisés, des liens sur les sites des associations d'éleveurs acceptant le clonage dans leur studbook, une page Facebook et des apparitions dans des événements clés seraient les principaux outils d'action de cet acteur.

Ces actions de communication sur internet sont nécessaires pour améliorer la visibilité du clonage et créer le sentiment d'appartenance sociale contribuant à la semi-singularisation de la technologie. Son rôle direct auprès des consommateurs potentiels (visiteurs du site) inclurait l'accompagnement dans le processus de construction de la connaissance (ou de réduction de la méconnaissance) et de la construction du processus de la décision. Il s'agit d'une aide à la décision allant de la connaissance vers la décision. Pour ce faire, cet acteur doit être robuste, étant capable de réaliser une analyse de l'expectative du consommateur et d'exposer les offres les plus adaptées à chaque type de besoin. En plus il doit être capable de permettre de clarifier les différents contrats en question, de répondre aux questions d'ordre technique, de mettre le consommateur en confiance par rapport à la technologie et aux acteurs de l'industrie.

Un autre rôle important de ce prescripteur est celui de faciliter la mise en contact entre les consommateurs et les producteurs. Un autre champ d'action pour cet acteur serait la participation à la communication sur les produits du clonage (et les acteurs) contribuant au développement de marques et à leur valorisation/validation. Finalement, le prescripteur serait capable d'identifier des développements potentiels alternatifs à la seule production de clones. Cet acteur est donc un maillon important dans la chaîne de production de valeur.

Nous proposons une réflexion sur deux types de prescripteurs : un prescripteur de type associatif ou alors un prescripteur indépendant rassemblant un catalogue de producteurs et éventuellement de produits.

Le prescripteur associatif aurait l'avantage d'augmenter la visibilité du clonage comme une entité, un bien commun. Le développement d'une stratégie de bien commun à travers un prescripteur associatif pourrait contribuer à améliorer son acceptation par le public en général. Grâce à son caractère associatif, cet acteur pourrait avoir plus de légitimité pour promouvoir la technologie et ses produits. Il apporterait un potentiel de démonstration de valeur important puisqu'il serait un acteur capable de centraliser les résultats des différents acteurs afin de promouvoir une image plus robuste de la technologie comme un bien commun, tout en permettant aux consommateurs d'identifier les producteurs. Un tel prescripteur aurait aussi plus de pouvoir auprès de groupes de consommateurs et des gouvernements pour traiter les intérêts de l'industrie sous forme d'un bien commun.

Cette notion de bien commun est très importante pour faciliter la collaboration des acteurs sur différents niveaux. Par exemple, comme la production de chaque producteur isolément peut être trop faible pour créer une image de marque solide pour chaque acteur, la promotion conjointe du bien commun pourrait être une solution pour apporter plus de robustesse aux résultats obtenus par les uns et les autres.

Un deuxième argument pour la création de cette notion est le fait qu'elle représente un outil permettant de réduire les différends entre acteurs et de promouvoir l'intérêt de la collaboration entre concurrents en faveur de ce bien commun. Le caractère neutre du prescripteur associatif représente un argument supplémentaire en faveur de l'existence d'un tel acteur. Cette neutralité lui permettant de mener le dialogue entre les différentes parties en faveur du bien commun.

La création d'un tel prescripteur demande la réunion des acteurs du marché pour établir une stratégie commune de promotion de la technologie mais aussi une stratégie de concurrence permettant de réduire les effets nuisibles de la concurrence par le prix. Plusieurs difficultés se présentent : le manque de support politique de certains états (la France, voire l'Europe), le faible nombre d'acteurs (et surtout le nombre d'acteurs par pays), un parcours technologique déjà très marqué par une concurrence destructrice entre les producteurs. A l'état actuel, l'établissement d'un tel acteur demanderait un travail

important de négociation et de définition de règles de collaboration stratégique bien comme un travail important de définition de la notion de bien commun de façon à réduire les divergences (sûrement pas les éliminer).

Structurellement parlant, il serait plus facile d'établir un prescripteur commercial. Cet acteur serait indépendant et aurait un caractère plutôt commercial. Il adopterait sa propre stratégie pour promouvoir le clonage. Cette stratégie dépendrait de son positionnement sur le marché. Compte tenu de l'aspect restreint du marché, la rémunération uniquement par les consommateurs pourrait être insuffisante pour assurer sa survie. Une réflexion sur les possibilités de rémunération par les producteurs et les conditions pour garantir l'indépendance du prescripteur devrait être engagée. Son potentiel de structuration de l'offre, réduisant la concurrence entre les acteurs sur un marché de type primaire jouerait un rôle important sur sa survie et sur son potentiel à mener le jeu contribuant à la création de l'image de chaque acteur. Cependant, cet acteur serait moins porteur pour le marché de manière générale.

Le choix entre un prescripteur associatif, pour plus de légitimité de l'ensemble de la filière et pour la mise en évidence d'un bien commun ; ou un prescripteur de type commercial, plus facile à mettre en place mais probablement moins valorisant pour l'ensemble de l'industrie, dépendrait de la capacité de l'industrie à raisonner le développement « ensemble » de ce bien commun représenté par la technologie. Dans l'avenir, une discussion sur le type de prescripteur nécessaire pour l'industrie pourrait être engagée en utilisant des outils d'aide à la décision basés sur l'analyse multicritères pour clarifier les besoins et les attentes des différents acteurs.

Dans les deux cas, au niveau commercial, le prescripteur serait un acteur du rapprochement du monde de la technologie au monde du produit à travers une singularisation partielle de celle-ci. Sa contribution à la valorisation des produits (les clones) permettrait de valider et de valoriser la technologie. Cette valorisation passerait par un support à la communication sur les produits depuis la naissance avec une communication différenciée de façon à éviter que ces produits disparaissent dans la population de chevaux non-clonés. Par ailleurs, la création d'un monde distinctif des adeptes du clonage comme outil de sélection pour leur élevage pourrait provoquer une mouvance autour du clonage bénéfique pour la valorisation de la technologie.

Une comparaison du rôle du prescripteur dans les marchés du vin de Champagne et dans le marché de l'art permet de repérer des pistes de raisonnement sur le prescripteur de la CBC. Sur le marché du vin, le prescripteur agit sur la singularité du produit, alors que l'interprofession agit sur la rationalisation de la production. Dans le marché de l'art, le prescripteur évolue dans un monde où la production et le produit sont difficilement distingués. Les actions des différents acteurs (y inclus des prescripteurs) contribuent à la construction de l'image de l'artiste et guident le marché.

Le prescripteur que nous proposons pour le clonage servirait de référence de rapprochement entre le monde du développeur de la technologie ou du producteur de clones (actuellement développé selon une économie néo-classique pure) et le monde du produit (appartenant largement à l'économie des singularités).

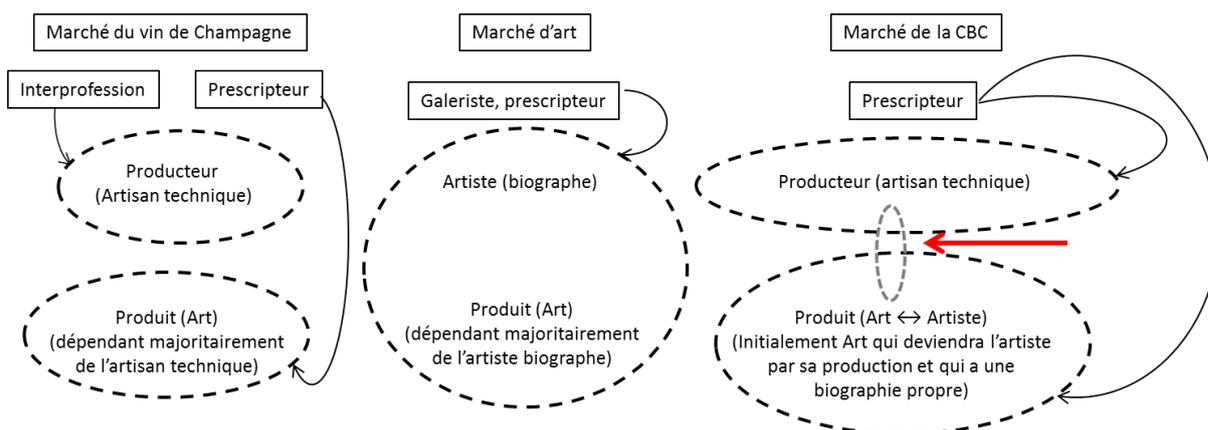


Figure 34 : Comparaison de l'action des prescripteurs sur trois marchés : du champagne, de l'art et de la CBC.

Légende : à gauche : l'organisation du marché du Champagne : l'interprofession est une entité qui contribue à la lisibilité du marché du champagne grâce à son rôle d'intermédiaire auprès des producteurs de vignes et des négociants du Champagne pour faciliter la négociation des prix de matière première. Les prescripteurs, eux, ont un rôle auprès des consommateurs dans le développement de l'image de « supériorité sociale » et du « sentiment d'appartenance à un groupe différencié ». Au centre : le marché d'art : une combinaison d'actions de galeristes et de prescripteurs sur leurs réseaux pour gérer l'artiste (les apparitions, l'exposition des œuvres, etc.) de façon à valoriser la marque de l'artiste et ses œuvres. À droite : le marché de la CBC : un mixte des deux marchés précédents. Le prescripteur aurait un rôle de rapprocher les producteurs et les consommateurs grâce à un discours intelligible par les deux parties et l'emploi de méthodes permettant d'optimiser l'identification et l'information des consommateurs (flèche rouge); du marché du champagne il hérite un rôle organisationnel pour organiser la concurrence et promouvoir l'innovation en facilitant le dialogue entre les

différents acteurs de la chaîne productrice. Du marché de l'art il hériterait un rôle de valorisation du produit du clonage (le clone) tel un galeriste valorise l'artiste. Dans le cas du clonage cela serait possible grâce à ses actions d'exposition et de médiatisation du clone, de sa performance et de ses produits (semence, poulains...).

Finalement, cette double action du prescripteur lui permet d'être un lien entre le marché et l'industrie pour l'innovation en remontant les attentes des clients ou de nouvelles voies d'exploitation possibles pour la technologie. Il pourrait ainsi contribuer à la structuration de la recherche de façon à aider l'industrie à développer des innovations en phase avec le public plutôt que des innovations purement tournées vers la technologie.

La définition exacte de la configuration d'un prescripteur associatif est difficile à établir tant que le dialogue entre acteurs n'est pas entrepris. Cependant, il est possible de proposer des modèles de prescripteur en ligne à caractère privé. Un modèle général peut être schématisé comme suit :

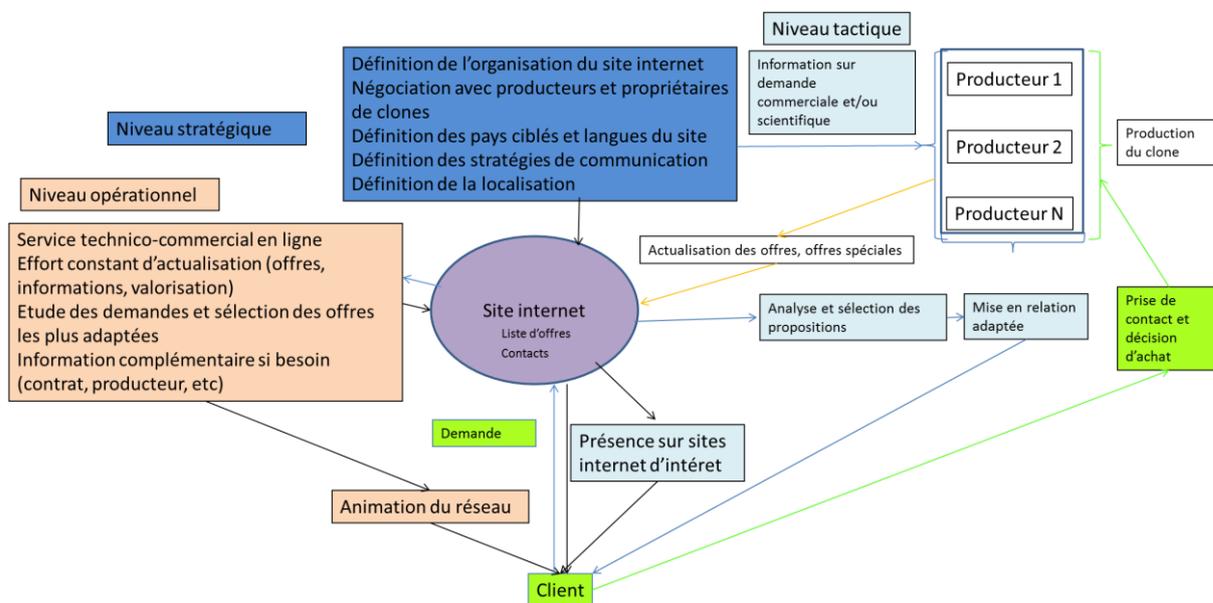


Figure 35 : Schéma d'un prescripteur en ligne (à caractère privé) pour le clonage équin.

III.4.3.2. Les plateformes hybrides : une solution pour l'innovation

Nous avons observé en Partie II que la structure dans laquelle les acteurs se sont organisés pour la production n'est pas propice à une innovation rapide. Au niveau de l'innovation, l'industrie pourrait bénéficier de la formation de partenariats industriels en faveur, à nouveau, du bien commun. En ce qui concerne les aspects techniques de la technologie, le bien commun serait représenté par le besoin d'amélioration technico-scientifique. Il englobe le perfectionnement des pistes déjà poursuivies et/ou des pistes jusqu'ici inédites.

L'organisation actuelle du marché représente une opportunité pour les groupes de chercheurs à travers la création de plateformes. Ces formes d'organisation représentent des solutions possibles pour faciliter le développement des différents acteurs tout en finançant les organisations de recherche grâce aux partenariats industriels.

Les plateformes scientifiques dans les sciences du vivant sont relativement récentes (fin des années 80). Leur revenu est majoritairement généré par la vente de licences, d'abonnements ou encore de services qui peuvent inclure des outils de recherche. Dans le cas du clonage, le service de recherche est certes le principal atout d'une plateforme mais l'approvisionnement en ovocytes pour les groupes en manque de matière première et surtout des partenariats pour des nouveaux développements pourraient être aussi des options de service proposées par une plateforme.

D'après Fiskén & Rutherford (2002), les plateformes biologiques se sont développées à partir du besoin de réduire les risques de développement de molécules chimiques dans l'industrie pharmaceutique. C'est un modèle adapté pour générer des revenus à moyen terme compensant le manque de financement de capital privé dans une industrie.

Toutefois, les recherches concernant les plateformes françaises montrent des résultats mitigés de performance économique (Aggeri et al., 2007 ; Genet et al. 2007). Certaines plateformes utilisent la totalité de leur capacité de production et génèrent constamment du savoir-faire qui sera par la suite réintégré dans leur catalogue d'offre, alors que d'autres sont sous-exploitées par manque de clients, manque de compétitivité au niveau des prix ou encore par l'obsolescence rapide de leurs équipements.

La stratégie d'une plateforme en dit long sur son potentiel technico-économique. Genet et al (2007) ont montré qu'une plateforme dont l'offre se fonde sur un service routinier se heurte à une forte concurrence internationale et à la concurrence par les prix. Pour assurer sa survie, ce type de plateforme doit développer une ingénierie de service et de commercialisation en vue de constituer un carnet d'adresses le plus large possible pour capter des clients potentiels à travers le monde. Sur ce créneau, la localisation géographique (vis-à-vis du client) importe peu et la plateforme peut être détachée d'universités ou de laboratoires de recherche. Cependant, le développement de ce marché est handicapé par la concurrence déloyale exercée par certaines plateformes publiques (prix faibles voire gratuits) et par la concurrence des fournisseurs de « formules » qui proposent à la fois des équipements propriétaires et des services associés dont l'utilisateur est dépendant.

Les auteurs ont montré par ailleurs que, dans les activités plus exploratoires, les plateformes ont des difficultés à développer des services solvables à moins d'être adossés à

des laboratoires de recherche leur permettant de renouveler la gamme des services à produire. Dans ce modèle exploratoire de niche, la proximité géographique constitue un actif clé pour nouer des partenariats avec des équipes de recherche.

Le développement plus récent du business modèle des plateformes est un modèle hybride entre l'offre de produits et l'offre de plateforme technologique capable de générer des produits innovants.

Ce modèle hybride est plus complexe et demande des connaissances spécifiques dans la planification et l'exécution de programmes de développement technique et une habileté à lever des fonds pour répondre à une augmentation de la dépense générée par le nouveau modèle. Les partenariats sont fondamentaux pour son développement. L'intérêt de ce dernier modèle est qu'il permet de réduire les risques liés à un modèle d'affaires basé uniquement sur l'exploitation d'une plateforme ou uniquement sur la vente de produits. Le domaine des biotechnologies médicales utilise amplement ce modèle et l'évaluation de leur revenu dans les marchés a montré qu'il est légèrement plus profitable que les plateformes traditionnelles (Fisken et Rutheford, 2002). Ce modèle hybride serait d'intérêt pour le clonage équin. En effet, la structure, la petite taille de l'industrie et le faible pouvoir financier des acteurs limitent leur capacité à innover. Une plateforme technologique hybride pourrait être une solution pour l'innovation.

Nous avons observé plusieurs situations sur le terrain où l'existence d'une plateforme hybride pourrait être bénéfiques pour les acteurs. Nous citerons deux exemples qui corroborent cette proposition. Le premier exemple a été observé après la fermeture des abattoirs équins nord-américains. En manque d'ovocytes pour sa recherche, les chercheurs de l'Université Texas A&M ont organisé un partenariat avec un laboratoire canadien pour récolter et envoyer des ovocytes du Canada vers les USA afin de pouvoir continuer leurs projets de production de clones pour les particuliers. Le deuxième exemple est le groupe producteur brésilien qui a développé son activité initiale grâce à la mise à disposition temporaire du micromanipulateur d'une entreprise de clonage bovin américaine. Dans cette organisation, en plus d'un transfert technologique sur la fabrication de milieux, etc., le micromanipulateur de l'entreprise était envoyé sur place pour la réalisation de projets spécifiques avec le personnel du groupe brésilien. Grâce à ces observations, nous avons pu identifier un besoin en matière de partenariats pour l'innovation et envisagé cette option de plateforme hybride. Dans ce cas, l'acteur plateforme pourrait fonder sa rémunération sur la

production pour le consommateur (éleveur) mais aussi sur la participation à de projets d'innovation et de transfert technologique.

Deux options s'offrent à l'industrie du clonage : une plateforme hybride où le groupe réalise tous les développements sur place. Un problème rencontré par ce modèle est l'éloignement entre les partenaires industriels potentiels, ce qui peut compromettre un échange optimal. Ou une deuxième option, plus innovante, serait celle d'une plateforme hybride où l'offre service serait mobile. Cela serait surtout utile pour bien conjuguer une source d'ovocytes suffisante avec la production d'innovation grâce à des partenariats avec de groupes de recherche expérimentés et assurer le transfert technologique.

Les trois principaux atouts d'une plateforme pour le clonage équin seraient : un grand nombre d'ovocytes, une main d'œuvre scientifique expérimentée et un bon accès à d'autres partenaires scientifiques capables d'apporter de connaissances complémentaires.

La mise à disposition de sa main d'œuvre pour des déplacements vers des régions où les ovocytes d'abattoirs sont disponibles le temps de réaliser des projets de développement pourrait leur permettre de continuer à développer la recherche tout en bénéficiant à un partenaire qui met à disposition les ovocytes en échange d'un transfert de savoir-faire simultané. En cas de besoin d'équipements spécifiques, les tests nécessaires pour valider la recherche pourraient être réalisés sur des ovocytes fixés et envoyés vers d'autres partenaires. Cette plateforme hybride jouerait surtout un rôle d' « espace d'échange intellectuel ».

Le schéma d'une plateforme hybride pourrait être envisagé comme suit.

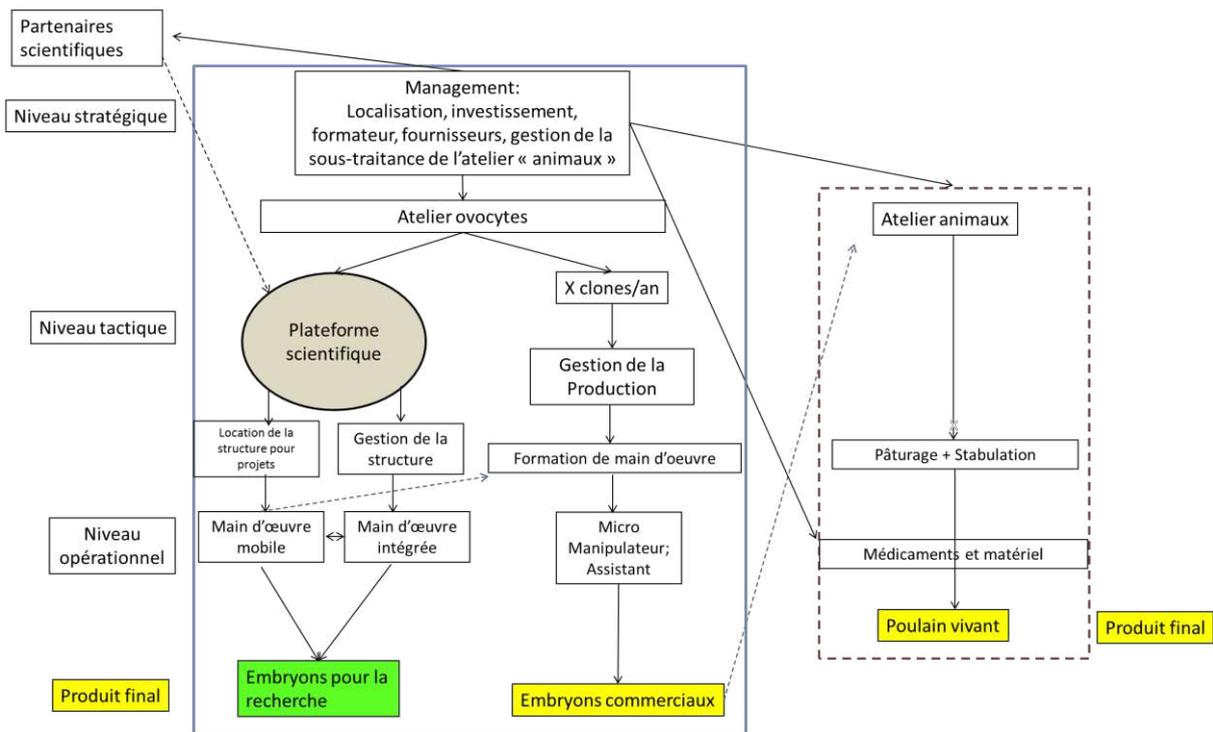


Figure 36 : Proposition de plateforme hybride pour le clonage équin.

Dans la plateforme hybride il est important d'observer l'existence de deux activités distinctes. Le clonage commercial qui a pour objectif la production de clones vivants - d'où le besoin de l'atelier animaux, et l'activité de recherche qui peut être envisagée comme une activité réalisée sur place, éventuellement recevant des membres extérieurs, ou une activité mobile, où le personnel peut être temporairement mobilisé pour participer à des projets au sein des structures partenaires.

III.4.3.3. Le monde du clonage équin après une réorganisation

Les propositions de nouveaux business modèles pour cette industrie (le prescripteur et la plateforme hybride) impliqueraient sa réorganisation. En effet, ce travail a permis d'identifier que cette industrie pourrait bénéficier d'une réorganisation capable d'apporter plus d'opportunités d'innovation et de développement commercial via une collaboration qui assume différentes formes.

Compte tenu des relations déjà installées entre les acteurs, il serait d'intérêt pour l'industrie (l'ensemble des acteurs) de construire un concept de bien commun concernant le

développement de la technologie. Ce bien commun servirait comme un facteur, voire un moteur de motivation des acteurs à réfléchir et agir en collaboration sur des questions techniques et commerciales liés à la propre technologie et à sa validation auprès des consommateurs.

Plusieurs caractéristiques rencontrées dans l'industrie signalent un potentiel de symbiose entre acteurs qui pourrait être exploité sous forme de collaboration. Ces caractéristiques proviennent principalement des nombreuses faiblesses des différents acteurs comme, par exemple, les difficultés d'approvisionnement en ovocytes de la part de certains acteurs, la perte récente de la force de recherche du producteur commercial américain, la demande de partenariats de recherche de la part des nouveaux entrants, le comportement stratégique de clients face aux multiples offres, la fragilité du distributeur dans la chaîne de valeur actuelle.

En ce qui concerne les nouveaux modèles proposés, leur contribution à l'industrie provient de leur activité structurante de la collaboration. Dans le domaine commercial, le prescripteur en ligne aurait un rôle important dans la restructuration du marché qui est actuellement organisé sous un modèle de marché primaire basé sur des réseaux personnels. Si le prescripteur est suffisamment robuste pour guider la structuration de la collaboration, il pourra devenir un intermédiaire qui mène le jeu. Parallèlement, la création de plateformes hybrides faciliterait le développement des partenariats pour l'innovation. Ces partenariats pourraient concerner l'amélioration des techniques déjà en place, le développement de nouvelles techniques ou de nouveaux usages et nouvelles valeurs aux techniques déjà existantes et/ou le développement de nouveaux produits liés au clonage. La façon dont le bien commun technologique sera structuré aurait un impact sur le parcours à suivre.

Nous sommes conscients des difficultés liées à cette restructuration à cause du parcours technologique déjà en cours de développement. Mais, le prolongement de ce travail auprès des acteurs pourrait permettre de les sensibiliser quant au besoin de restructuration de cette industrie naissante et quant à la valeur potentielle d'une collaboration entre les acteurs pour eux-mêmes et pour l'ensemble de l'industrie. Une des voies potentiellement utile pour réduire cette difficulté serait de faire émerger l'inconnu commun afin d'identifier des opportunités communes et de projeter les acteurs vers le « désirable non connu » (Le Masson et Weil, 2013). Cette technique ne sera pas discutée ici parce que nous n'avons pas

engagé cette recherche intervention auprès des acteurs. Cela reste une perspective de prolongement de cette recherche pour l'avenir.

La Figure 37 illustre un exemple de restructuration de cette industrie à partir de l'analyse des paramètres identifiés dans la modélisation de la CBC.

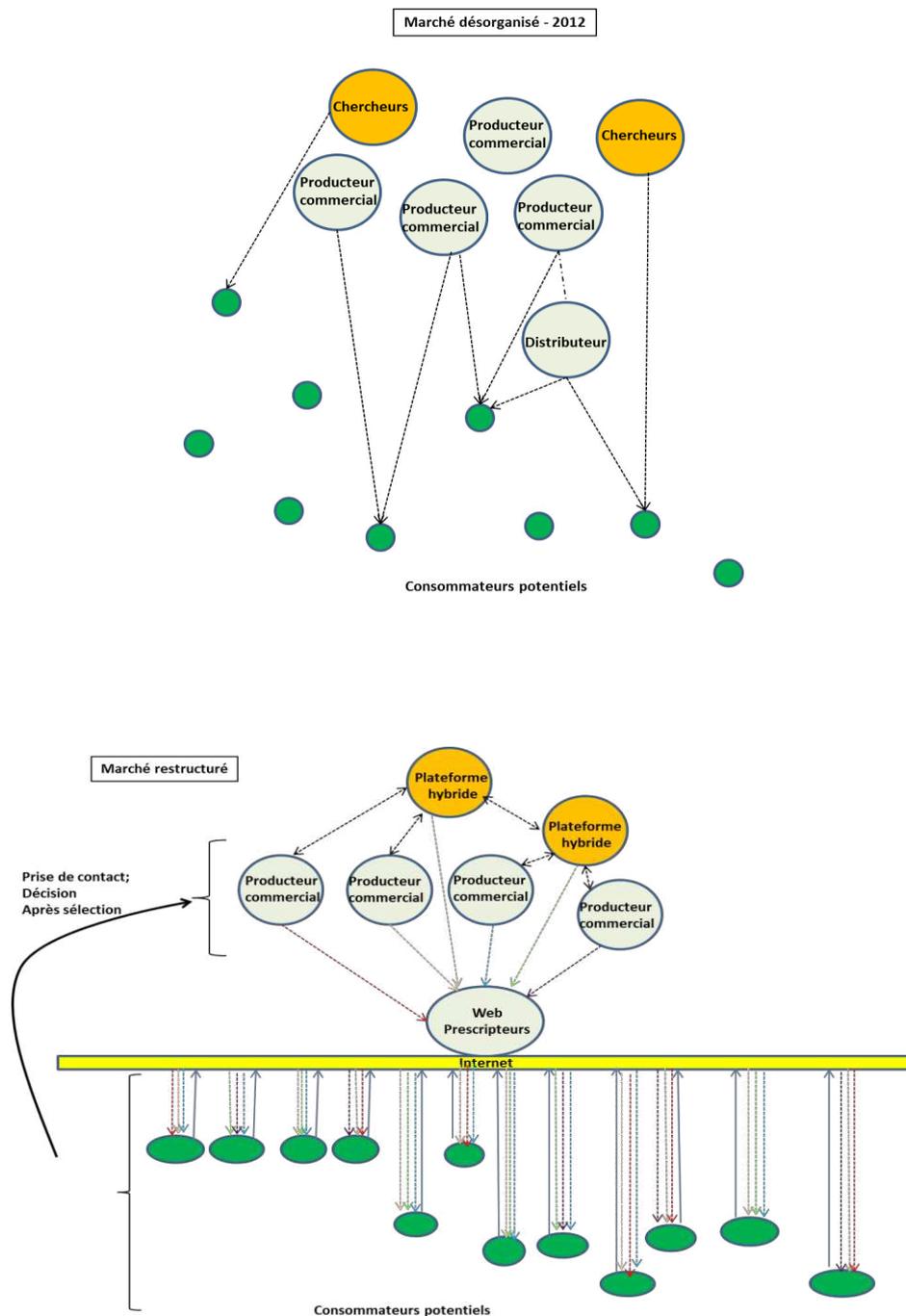


Figure 37 : La restructuration de l'industrie du clonage équin.

Légende : en haut : le marché désorganisé. Les petits cercles vert foncé représentent les clients, éleveurs, isolés et difficilement identifiables ; les cercles vert clair représentent les producteurs commerciaux ; les

cercles orange représentent les chercheurs ; les flèches pointillées représentent les relations établies entre les différents acteurs et le marché consommateur (dans ce cas, le seul marché consommateur est représenté par les clients, éleveurs de chevaux) ; la flèche interrompue représente la relation B to B identifiée dans cette industrie. En bas, le marché restructuré grâce à un prescripteur web. Cet acteur devient l'interlocuteur principal des clients et contribuera à l'organisation du marché. Cette structure pourra promouvoir plus massivement la technologie et ses produits et faciliter l'identification des clients et leur relation avec les producteurs.

La Figure 37 montre que dans le marché désorganisé, plusieurs consommateurs potentiels ne sont pas identifiés par les acteurs. Les consommateurs identifiés sont abordés par plusieurs producteurs, avec des offres multiples pour lesquelles le consommateur n'a pas tout le discernement nécessaire pour choisir. Confus ou espérant obtenir une meilleure offre par la suite, le consommateur ne passe pas à l'achat. Dans cette situation le marché peine à se développer et le processus d'innovation devient lent et restreint puisque réalisé isolément grâce aux commandes ponctuelles.

La restructuration du marché pourrait contribuer à améliorer les relations entre professionnels et créer des opportunités de partenariats pour l'innovation. Les chercheurs seraient plus en mesure de générer de la valeur en réalisant des partenariats de recherche et de transfert technologique avec les producteurs grâce à leur activité de plateforme hybride mixte. L'innovation pourrait être accélérée au fur et à mesure que les différents acteurs acquièrent des connaissances et que des nouveaux partenariats pour l'innovation soient réalisés. Par ailleurs, les consommateurs potentiels pourraient repérer les producteurs qui leur conviennent grâce à ce nouveau répertoire représenté par le prescripteur en ligne.

Le rôle de ce dernier auprès des consommateurs serait de faciliter la décision d'achat des consommateurs potentiels en sélectionnant des offres répondant à leurs besoins et en améliorant la visibilité de la technologie et des produits grâce à une communication dédiée sur internet. La source de revenu principale des prescripteurs pourrait être initialement représentée par des producteurs qui payeraient pour être répertoriés dans le site internet du prescripteur. Dans le cas d'un prescripteur associatif, des aides gouvernementales pourraient être envisagées comme source complémentaire de revenu, malgré la réticence de certains pays par rapport à la technologie. Ces aides gouvernementales pourraient être envisagées comme un programme international de collaboration pour la validation de la technologie.

La position du prescripteur lui permettrait de participer activement à ce marché sans être lui-même acheteur/vendeur de clones. Cette situation permettrait d'avoir une structure de coûts plus souple, favorable à son développement. En résumé, il pourrait représenter un élément clé de la structuration du développement auprès des consommateurs, mais aussi auprès des producteurs et chercheurs. Dans cette nouvelle structure de l'industrie un nombre plus important de consommateurs pourrait être identifié et le nombre de clones produits annuellement pourrait augmenter pour tous les producteurs, en réduisant la concurrence destructrice existant actuellement dans l'industrie. Par ailleurs, les éleveurs de clones pourraient bénéficier du prescripteur comme un canal spécifique pour la promotion des clones.

III.5. A RETENIR SUR LES MODELES D'AFFAIRES POUR LA CBC

Les acteurs de la CBC ont tendance à s'investir sur la production commerciale pour le consommateur final développant principalement un marché primaire (producteur – consommateur). D'importantes difficultés pour atteindre le marché fragmenté et restreint, réduisent les chances de réalisation de bénéfices par les acteurs. Cette réalité augmente la concurrence entre les acteurs qui, dans le souci d'obtenir des contrats et d'assurer leur survie, se livrent à une concurrence par le prix qui s'avère destructrice pour l'industrie.

La proposition d'une réflexion sur les modèles adaptés au développement de la CBC a pour objectif d'éviter la myopie qui consiste à suivre aveuglement les modèles déjà en place. Pour proposer un modèle adapté, nous avons identifié les principaux paramètres pouvant influencer sur le développement de la CBC : le parcours technologique, les acteurs présents sur le marché, leur cœur de métier théorique, leur activité réelle, le résultat commercial global de la CBC et le niveau de singularisation du produit et de la technologie. L'analyse de ces facteurs permet d'identifier les lacunes et les difficultés et d'identifier des leviers pour le développement.

La difficulté commerciale souvent rencontrée par les acteurs peut être une conséquence d'un marché développé sur un seul type de marché et d'un éloignement entre la technologie et les consommateurs. La rareté d'acteurs commerciaux dans ce domaine peut représenter un handicap pour le développement technologique et une opportunité pour des

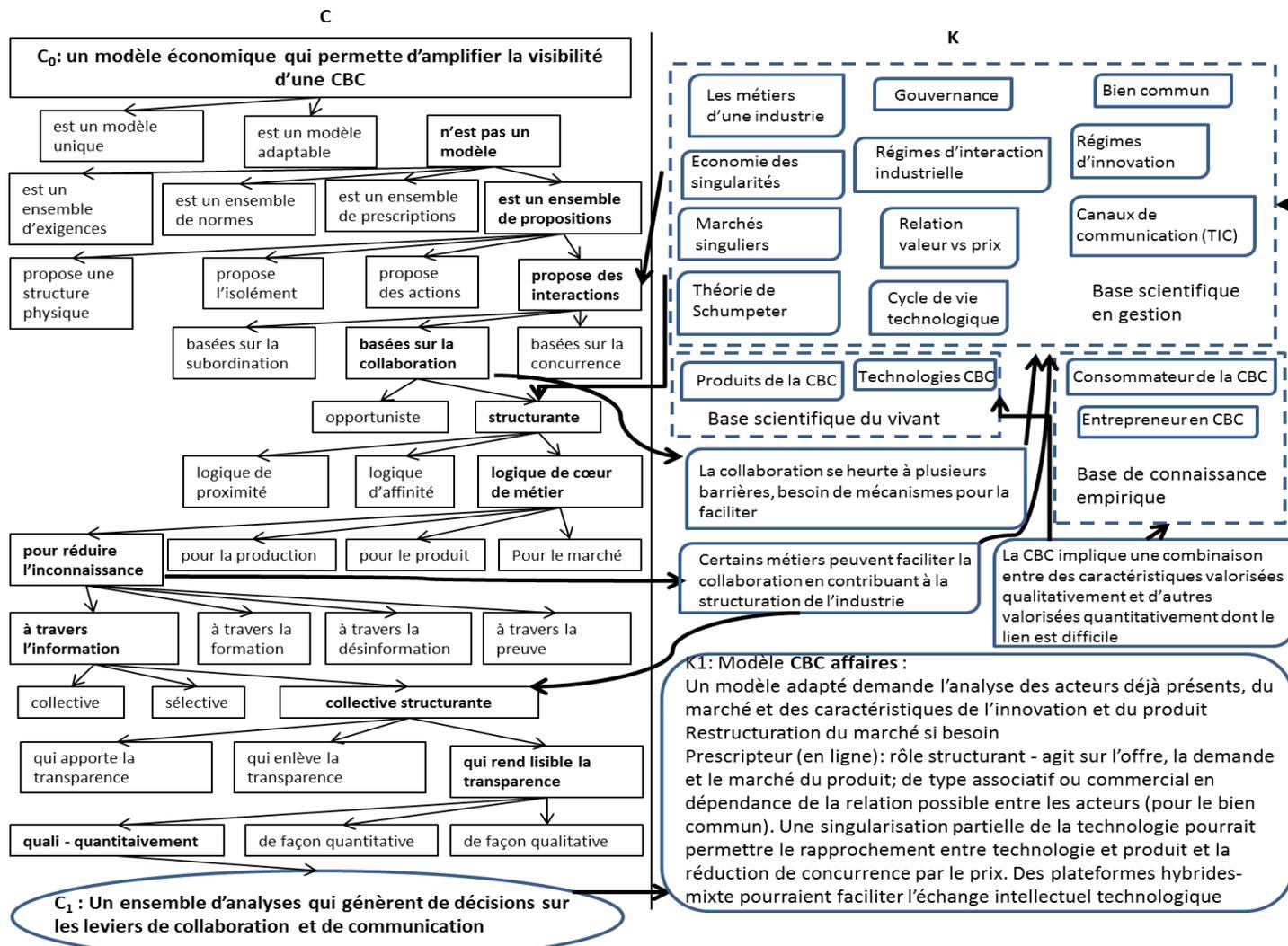
nouveaux acteurs. Le caractère innovant de la technologie et singulier du produit peut justifier le développement d'intermédiaires de type prescripteurs.

Cet intermédiaire est plutôt rare ou négligé dans la CBC. Pourtant il peut représenter un levier important pour son développement en apportant de la transparence et la compréhension entre acteurs et consommateurs, facilitant la structuration de l'offre et la prise de décision de clients et contribuant à la valorisation de la technologie. Cet apport serait bénéfique pour l'industrie dans le sens où il contribue à la valorisation du « bien commun », c'est-à-dire, la technologie. Cette validation, scientifique et/ou commerciale, est une demande sociétale nécessaire pour l'acceptation de la technologie par les consommateurs dans le domaine du vivant.

Parallèlement, cet acteur peut jouer un rôle important dans l'orientation du développement technologique en remontant les attentes des consommateurs jusqu'aux acteurs innovants. Le prescripteur en ligne pourrait permettre d'accomplir l'effort de communication nécessaire tout en gardant une structure de coûts supportable par la CBC. Cet acteur peut avoir un caractère associatif, contribuant à la visibilité de l'ensemble de l'industrie ou un caractère commercial, contribuant plutôt à la visibilité des acteurs individuellement.

Du point de vue de l'innovation, la rareté et l'éloignement géographique des acteurs innovants, en plus de la forte concurrence, peuvent rendre difficile les partenariats pour l'innovation. Le développement du concept de bien commun technologique et la création de plateformes hybrides mixtes pourrait représenter un levier pour l'échange entre acteurs et l'accélération de l'innovation. Nous appelons une plateforme hybride mixte une entité dont l'offre technologique repose surtout sur un échange de savoir-faire, notamment à travers la mobilité temporaire de son personnel si nécessaire.

Le Concept analytique pour la proposition d'un modèle d'affaires adapté à la CBC est maintenant établi.



Note : Le concept initial (C_0) a donné lieu à un ensemble de paramètres d'analyse permettant d'identifier des modèles d'affaires appropriés à la CBC selon son état de développement. Les propositions dans l'espace C suivies d'interrogations dans K ont permis de construire progressivement la solution. Les flèches qui partent d'une brique et génèrent d'autres briques dans le domaine des concepts (C) représentent des partitions successives, nécessaires au raisonnement expansif de la conception. Les flèches sortant du domaine (K) vers le domaine C représentent les moments de mobilisation de K pour faire évoluer le concept (disjonction de K en C). Les flèches partant de C vers K représentent des conjonctions de (C) en K. A ce moment, le concept à un statut logique et ses principales caractéristiques sont identifiées. Il peut être réintégré dans le domaine K en tant que connaissance nouvelle. Ce concept ira alimenter les bases de connaissance scientifique et de gestion du vivant.

Figure 38 : Schéma de proposition d'un concept analytique pour définir des modèles d'affaires adaptés à la CBC

IV. DISCUSSION GENERALE

La CBC est une forme récente d'innovation dans le domaine du vivant dont le développement échappe aux schémas traditionnels. Pour comprendre les particularités de cette nouvelle forme d'innovation nous la comparons au phénomène de la destruction créatrice. Ce phénomène a été décrit par Schumpeter (1942) lors de ses travaux sur les industries textiles, de chemins de fer, de l'automobile, et de l'électricité dont le marché est bien établi et transparent et où le prix est un important facteur de comparaison entre produits ou services.

D'après Schumpeter (1942) pour que l'innovation génère le développement elle doit engendrer la destruction de l'ordre existant. Seuls les acteurs le plus préparés peuvent survivre et s'adapter à ce changement. L'innovation n'est pas forcément liée à une invention mais dans tous les cas elle est dépendante d'un entrepreneur dont le principal intérêt est la génération de profits. Celui-ci doit essayer de prolonger au maximum ses profits à travers des brevets, des innovations supplémentaires, des processus secrets et de la publicité puisque les profits existent tant que l'innovation n'est pas généralisée (peu de concurrents).

L'auteur a par ailleurs souligné l'importance des agents financiers qui fournissent le crédit nécessaire à l'expansion contre l'imposition d'un taux d'intérêt lié au risque inhérent à l'innovation. Selon sa théorie chaque cycle de développement est composé d'une période d'expansion suivie par une période de récession et une nouvelle expansion grâce aux innovations. Cependant, à chaque cycle, le point d'équilibre économique est plus élevé.

Un des thèmes majeurs traités dans sa théorie est la difficulté extrême pour changer les voies traditionnelles de production. Les éléments puissants de la société résistent à l'innovation majeure car elle peut détruire ou déranger les arrangements existants. Ils lutteront pour préserver leur culture et leur statut.

En plus du changement de la production, son modèle souligne le besoin de changer les habitudes de consommation. Les acteurs industriels doivent convaincre les consommateurs réticents qu'ils ont besoin du nouveau produit. Le marketing est donc très important pour promouvoir la consommation et la croissance économique. Schumpeter souligne que le « besoin » est le résultat de la combinaison de facteurs de conditionnement et, dans la majorité des cas, le fruit de l'action entrepreneuriale.

La CBC, et par conséquent le clonage équin, partage plusieurs traits avec le modèle de Schumpeter : l'importance de l'entrepreneur, le besoin de prolonger une situation privilégiée, la résistance de la société au changement, une tendance à l'établissement de la concurrence par les prix.

Cependant, la CBC évolue dans le marché des singularités, étudié par Karpik, (2007) différent du marché étudié par Schumpeter. En effet, la CBC s'adresse à un public restreint, de consommateurs stratégiques, où les éléments influents peuvent être les premiers intéressés surtout s'ils occupent une place de domination sur le marché. Le produit est presque unique et singulier. Son marché fait partie d'une industrie opaque, peu organisée où la valeur des produits est mal connue et difficilement identifiable. Un marché où la quête pour le « bon » ou le « meilleur » peut dépasser celle du meilleur prix.

Par ailleurs, la CBC n'a pas l'ambition de rendre inutiles ou obsolètes les technologies déjà existantes. Au contraire, une coexistence symbiotique est nécessaire pour valoriser son produit. Cela est spécialement valable dans le cas du clonage. Les technologies plus anciennes de reproduction (l'insémination artificielle et le transfert embryonnaire) sont nécessaires pour valoriser le produit.

Finalement, les différences culturelles, indépendamment de la position des individus dans la société, influent aussi sur l'acceptation et l'usage de la CBC dans les divers marchés. Certes, le développement de la CBC dépend d'un entrepreneur, mais n'est pas dicté uniquement par celui-ci, son développement dépend aussi de l'interaction de la technologie et de son produit avec les membres de la société.

Cette analyse ne prétend pas opposer la théorie de Schumpeter au marché des singularités. L'objectif est de comprendre à quel point une innovation développée entre l'économie traditionnelle et l'économie des singularités peut correspondre à cette théorie. Nous constatons que la CBC comprend certaines caractéristiques de l'innovation décrites par Schumpeter mais possède également certaines caractéristiques spécifiques conditionnées par son évolution dans le marché des singularités. Le croisement de mondes économiques confère à la CBC un modèle spécifique de développement. Les acteurs de cette innovation, de culture plutôt cartésienne due à leur culture de recherche ont encore des difficultés à déchiffrer cet environnement et les stratégies sont encore en cours de construction. Toutefois, nous remarquons la difficulté de trouver le bon positionnement pour cet

entrepreneur qui doit évoluer entre deux mondes économiques (économie traditionnelle et économie des singularités).

Cette difficulté est d'autant plus importante, qu'il existe une dualité entre la technologie et son produit. Cette thèse a montré qu'il est possible de donner une lisibilité aux aspects techniques, de modéliser la production et d'envisager une certaine organisation des acteurs professionnels afin d'améliorer la captivité de consommateurs. Cependant, le produit de la technologie a une valeur difficilement évaluable et qui ne correspond pas nécessairement au prix d'acquisition. Il est difficile d'établir ce marché à travers la valeur et/ou le prix du produit. Par exemple, dans le cas du clonage c'est la biographie du modèle et du clone que dictera sa valeur dans le marché et donc son potentiel individuel.

Par ailleurs, contrairement à ce qu'affirmait Schumpeter, l'innovation dans la CBC n'est pas forcément liée à la grande taille des entreprises et ne peut pas être mesurée par les méthodes traditionnelles telles que le budget, le nombre de brevets ou le nombre de nouveaux produits (Acs et Audretsch, 1987 ; Sheperd, 1940). L'innovation dans la CBC est liée à la capacité des entreprises d'exploiter différents types de connaissances, développées sous des perspectives différentes, parfois dans plusieurs structures partenaires. Cette innovation est difficile à mesurer parce qu'elle n'aboutit pas toujours à des nouveaux produits, ou des brevets. Cette difficulté à mesurer l'innovation rend difficile la différenciation des acteurs dans le marché. D'où l'intérêt de promouvoir une singularisation partielle de la technologie afin de permettre le jugement des acteurs.

Au niveau de la production la CBC s'avère un système complexe provenant de la simultanéité de la conception et de la production. Le grand nombre de manipulations biologiques nécessaires pour obtenir un produit génère une incertitude sur le produit final. La gestion des différentes compétences dans une telle incertitude génère des difficultés qui peuvent résulter dans le non-respect des délais de livraison, parfois l'abandon de projet et souvent des tensions entre partenaires et entre producteurs et clients. Cette difficulté de gestion de projets innovants est commune à ce nouveau type d'innovation et a été observée aussi dans d'autres industries complexes récentes (Giacomini et Sardas, 2011).

L'incertitude de la demande, commune à la CBC, engendre une autre difficulté : la gestion de projets innovants ponctuels et éphémères tout en assurant une stabilité de la structure afin de consolider la connaissance. Cela génère une compétition tendue entre les acteurs

pour les rares consommateurs identifiés réduisant les possibilités de partenariats entre différents groupes. La lutte pour la survie de ces entreprises résulte en deux éléments principaux :

- Chaque groupe possède son réseau de compétences auquel il peut faire appel pour participer aux différentes phases du projet dans une organisation qui se rapproche de celle observée dans l'industrie culturelle décrite par Benghozi (2006) ;
- Le déséquilibre offre/demande et la désorganisation du marché positionne tous les acteurs dans un marché de type primaire où le producteur vend directement au consommateur.

Cette structure de l'industrie associée à la complexité de la production rend difficile le développement industriel de la CBC. Nous avons utilisé le cas du clonage équin pour illustrer l'argumentation développée. Malgré la critique de l'utilisation d'un seul cas pour généraliser une situation, notre décision a été confortée par les travaux de Hamel et al. (1993) et Yin (1993) et Yin (1994) ayant montré que la taille relative de l'échantillon ne transforme pas une étude de multiples cas en une étude macroscopique.

Pour valider la généralisation du cas développé ici nous avons soigneusement identifié des paramètres suffisamment génériques pouvant être utilisés pour la réflexion sur chacun des trois concepts développés. L'objectif du concept proposé a été de satisfaire le tryptique de la méthodologie qualitative : décrire, comprendre et expliquer (Yin, 1998).

Au démarrage du travail, malgré les résultats d'expérimentations publiés par les différents auteurs, il n'existait pas de réflexion structurée sur la technologie et le rendement technique global permettant de comprendre la problématique de l'incertitude technique pour l'industrie.

Ce travail a donc permis d'organiser l'information de façon à fournir une information formalisée du point de vue de la gestion. Au niveau de la production nous n'avons observé aucun rapport de l'utilisation d'outils de gestion opérationnelle dans la gestion, la production étant, actuellement, plutôt le résultat d'une planification instinctive de manipulations expérimentales successives pour l'obtention d'un succès.

Les observations concernant le clonage équin ont démontré un très faible rendement technique et une forte variation des résultats. L'application d'une combinaison de

méthodes de planification : MRP, PERT et de l'ordonnancement, associés à des méthodes zootechniques permettent d'établir la liste de composants (Nomenclature), le temps nécessaire pour l'obtention de chaque composant (Lead Time), les points de découpage technique et une solution optimisée pour l'affectation de tâches aux « machines biologiques » dans une situation d'incertitude.

Nous avons démontré que les outils de planification peuvent améliorer l'organisation de la production dans le sens où ils permettent à l'acteur de mieux planifier la production à partir des connaissances sur ses rendements et des besoins pour démarrer (et surtout pour accomplir) un projet. Cette combinaison de méthodes permet à chaque acteur de respecter des délais, de réduire les conflits et les coûts de production grâce à une meilleure coordination entre les différents ateliers pour la gestion des projets. Par exemple, comme le clonage possède un fort caractère expérimental, et une forte incertitude liée aux réactions biologiques aléatoires, la nomenclature flexible, établie grâce à la méthode MRP, permet de connaître les besoins en cette matière pour chaque projet exécuté et de planifier l'approvisionnement afin d'éviter la rupture et le retard de la production (Winjgaard et Wortmann, 1985 ; Chang, 1985 ; Guerrero, et al. 1986 ; Lagodimos et Anderson, 1993 ; Buzacott et Shanthikumar, 1994 ; Molinder, 1997, Camisullis et Giard, 2010). Un modèle de planification hiérarchique tel que décrit par Hax & Meal (1975) et Sebillote (1987) est nécessaire pour faciliter le raisonnement sous forme de sous-ensembles.

La multiplicité d'ateliers contribuant à la CBC impose de se préoccuper de la communication et surtout de l'harmonie entre ateliers afin d'éviter des files d'attente, des pertes de matériel biologique et des re-planifications causées par un manque d'organisation. La combinaison d'une compréhension détaillée des points de découpage technique et des horizons de production inclus dans chaque projet permet d'avoir plus de visibilité sur les points critiques de la production. L'exemple de l'unité de pilotage décrit par Giacomoni et Sardas (2011) est pertinent dans le cas de la CBC afin de faciliter la gestion de ces points critiques. Cependant, il est nécessaire de l'adapter à la taille et structure de la production puisqu'une organisation similaire à celle proposée par les auteurs ne serait pas adaptée au cas de la CBC dont les moyens financiers disponibles seraient plus limités et le nombre de partenaires serait moins important.

Il est important que cette unité de production prenne en compte les contraintes de l'ensemble des ateliers lors de la planification pour éviter une planification dans un sens

unique qui augmenterait les coûts de production. Le concept de production de la CBC simulé sur le clonage équin a permis d'identifier ce type de situation. En effet, la prise en compte de l'atelier ovocytes comme seul référentiel pour la gestion du lancement de projets peut engendrer des coûts supplémentaires au niveau de la gestion des juments. Si la planification prend en compte le temps de préparation et la disponibilité des juments pour le lancement du projet, les coûts de production peuvent être significativement réduits.

La rareté de la main d'œuvre dans le marché impose une réflexion sur l'acquisition du savoir-faire dans un tel domaine. Nous avons observé que la formation de micromanipulateurs pour le clonage équin peut être coûteuse et durer environ 5 ans. L'acquisition de cette main d'œuvre représente un enjeu important pour les nouveaux entrants. Cette acquisition de savoir-faire initial peut être représentée par l'embauche d'un micromanipulateur avec au moins une expérience antérieure en micromanipulation sur une autre espèce et l'achat d'une formation sur place de durée à définir avec un centre de savoir-faire qui fournira la formation.

Cette formation doit faire partie d'un système de transfert de technologie observant les principes basiques d'acquisition de connaissance, à savoir :

- l'observation d'une personne dans la résolution de problèmes
- les discussions qui permettent d'identifier le type de données et de processus nécessaires pour résoudre un problème
- la construction de scénarios et leur association aux différents problèmes
- la résolution verbale d'un problème par l'expert suivie de questions sur le raisonnement à tenir
- l'établissement de règles pour la résolution de problèmes à l'aide de l'expert et l'établissement des protocoles de solution aux problèmes avec l'expert. Par la suite, l'ingénieur en micromanipulation devra comparer si possible les scénarios avec d'autres experts.

Selon Cassiman et Veugelers (2006) cette stratégie permet de stimuler l'innovation dans l'entreprise. Par ailleurs, elle pourrait permettre de créer des liens de confiance entre les entreprises et les centres de savoir-faire en favorisant les échanges et les possibilités de

partenariat, contribuant au développement de l'innovation par l'entreprise ou par le couple de partenaires dans l'avenir, comme rapporté par Inkpen (1998).

Cependant, d'après Sheen (2007) un manque de vision stratégique sur l'acquisition du savoir-faire au niveau du laboratoire pourrait limiter le potentiel d'addition de valeur de cette stratégie. L'unité de pilotage des projets devrait établir une politique d'acquisition de savoir-faire afin de favoriser son renouvellement et son incorporation à la structure.

Le deuxième point critique pour la production est l'accès à la matière première. Dans le cas du clonage, la matière première est rare et dépendante d'une autre filière, celle de la viande chevaline. Par ailleurs, comme cette CBC représente une forme de demande nouvelle pour cette matière première, le marché des fournisseurs est désorganisé. La continuité du développement dépend de l'organisation de l'approvisionnement à travers une vision stratégique.

Il ne s'agit pas seulement d'identifier les fournisseurs mais d'assurer l'accès à la matière première de façon à éviter les ruptures d'approvisionnement et à obtenir des coûts d'approvisionnement compatibles avec cette industrie non-manufacturière. Kraljic (1983), Heberling (1991), Heberling (1993) et Keough (1993) ont discuté la question de l'approvisionnement et ont démontré que dans des situations où l'approvisionnement est stratégique pour l'entreprise, sa gestion doit faire l'objet d'une politique visant à augmenter l'importance de l'entreprise auprès de son fournisseur par l'établissement de relations plus complexes que le simple achat de la matière-première. Burgade (2009) a remarqué l'importance de l'implication du fournisseur en tant que collaborateur du processus.

Suite aux considérations sur l'organisation de la production nous avons adressé des questions sur la possibilité de proposer des solutions innovantes pour le développement économique du clonage.

Nous avons observé qu'un facteur de difficulté de développement dans ce marché est le brouillage de cœur de métier. En effet, différents acteurs, possédant différentes compétences, intègrent toute la production et s'orientent vers un seul marché, celui de la vente directe aux consommateurs. Ce type de marché a été qualifié par Benghozi (2007) comme étant un marché primaire. Dans la CBC il fragilise la fonction d'intermédiaire alors

que les producteurs rencontrent de réelles difficultés à atteindre le marché. Par ailleurs, les scientifiques exercent un rôle de producteurs alors qu'ils pourraient contribuer à la génération de la valeur pour toute l'industrie en développant des innovations en partenariat avec les autres acteurs.

Cette situation génère une compétition destructrice et fragilise les acteurs qui possèdent pourtant des qualités pour devenir complémentaires dans la génération de valeur. Nous avons proposé qu'une meilleure structuration de l'industrie peut améliorer son potentiel de génération de valeur. Cela serait possible à travers une meilleure définition du cœur de métier des différents acteurs et une propension des concurrents à collaborer sur le « bien commun ». Dans le cas de la CBC, le bien commun serait la technologie qui bénéficierait d'une validation et d'une promotion via la collaboration entre acteurs. Plusieurs exemples montrent les avantages d'une telle collaboration comme celle sur le vin de Champagne (Soler et Tanguy, 1998) ou sur le territoire en Alsace (Hannachi et al. 2011).

Cependant Hardin (1968) cité par Hannachi et al. (2011) a expliqué que la préservation du bien commun dépend du respect de deux principes principaux : d'adopter un processus de gestion permettant de pérenniser les avantages collectifs associés au [bien commun], tout nouveau membre entrant dans le [bien commun] doit pouvoir accéder librement et sans condition aux avantages collectifs que procure le territoire. Selon Hardin (1968) il s'agit d'entretenir l'attractivité et le rayonnement du [bien commun], par une ouverture à des nouveaux membres et par un principe d'équité entre nouveaux et anciens membres. Ces principes devront être considérés si un travail de recherche intervention se réalise par la suite dans la CBC.

Une telle restructuration basée sur une amélioration de la collaboration entre acteurs peut donner forme à deux principaux modèles d'affaires capables de contribuer positivement à la création de valeur. Le premier est celui de prescripteur. En effet, le développement commercial des technologies innovantes dans le domaine du vivant peut être fortement influencé par les prescripteurs. En prenant l'exemple du cas du clonage équin, la forme traditionnelle de ce métier (en tête à tête avec le consommateur ou le réseau personnel) trouve actuellement une difficulté à se développer parce que la fragmentation du marché engendre de coûts insupportables pour l'industrie. Par ailleurs, compte tenu du stade précoce de la CBC, les prescripteurs potentiels ne sont pas prêts à engager leur opinion par peur de la réaction du marché.

La prescription virtuelle, traitée par Benghozi (2007) est plus adaptée à la CBC et peut apporter de la valeur pour l'industrie. L'internet proportionne à un prescripteur la possibilité d'atteindre un marché mondial, ce qui est important pour des technologies orientées vers des marchés fragmentés et restreints. Le prescripteur de la CBC serait un acteur clé pour la structuration de l'offre et du marché, contribuant pour la validation et valorisation de la technologie et de son produit. L'établissement d'une collaboration entre acteurs permettrait de former le prescripteur au mieux à un moindre coût, contribuant à augmenter son potentiel de génération de valeur pour l'ensemble des acteurs. Ce prescripteur doit être capable de clarifier la liaison entre l'économie néo-classique et celle des singularités.

Le deuxième modèle d'affaires contribuant à la génération de valeur dans la chaîne de valeur de la CBC est celui de plateforme hybride mixte. En effet, les scientifiques pourraient valoriser leur savoir-faire en développant des partenariats pour l'innovation avec des producteurs commerciaux sans pour autant abdiquer leur capacité à offrir des produits à un niveau local. La littérature traite la question du développement des plateformes dans d'autres domaines et démontre un réel souci de concurrence par les prix et une dévalorisation rapide des investissements en équipements (Genet et al. 2007 ; Aggeri et al. 2007). D'où l'intérêt d'un modèle hybride mixte comprenant aussi la vente de produits et l'échange intellectuel. Cette proposition contribuerait aussi à la génération de valeur puisqu'elle permettrait d'accélérer les innovations.

Malgré cet ensemble de propositions théoriques basées sur des données réelles récoltées pendant la recherche, une faiblesse de notre travail a été le fait de ne pas tester les solutions proposées dans la pratique. En effet, à l'occasion de cette thèse, il aurait été important de tester le concept de production et celui des modèles d'affaires sur le cas du clonage équin sur le terrain. Cependant, il n'a pas été possible de réaliser cette phase de test pratique de la recherche pour des raisons pratiques.

Dans le cas du concept de production, nous avons un contrat d'exclusivité avec un acteur commercial qui souhaitait développer l'activité de production. Cependant, le test théorique du concept a dissuadé l'acteur de continuer le projet. En effet, la forte incertitude technique, l'incertitude de la demande et la complexité du système engendraient un risque financier trop important pour l'acteur qui ne souhaitait pas augmenter son activité commerciale. De son côté, le concept de modèle d'affaires n'a pas été validé sur le terrain

parce qu'il s'agit d'un projet à long terme, nous n'aurions pas le temps de suivre son développement pendant ce travail. Cette faiblesse peut se transformer en opportunité de recherche intervention pour l'avenir où le test de ces deux concepts peut nous enseigner d'avantage sur les difficultés et les solutions pour la CBC. Il serait important de confronter les acteurs pour la discussion et potentiellement la mise en place du concept afin de comprendre leur capacité à raisonner ensemble sur la création de valeur pour l'industrie.

IV.1. PERSPECTIVES DE RECHERCHE

A partir de ce travail il est possible d'adapter des outils de la planification industrielle à la planification de l'activité de CBC, même si celle-ci se trouve en état initial de développement et comprend une forte incertitude. Cet apport servira comme un outil d'identification de la faisabilité de projets, des besoins et des partenaires appropriés. Par ailleurs, ce travail a permis d'identifier les difficultés rencontrées par les concepteurs et les producteurs tels que l'éloignement entre les différentes parties prenantes, l'incertitude de la demande et la difficulté de démontrer la valeur d'une technologie du vivant, surtout en situation d'éloignement des attentes du consommateur.

A partir de ces constats, un nouveau champ de recherche se présente pour la CBC. Ce nouveau champ de recherche peut porter sur :

- la gestion des systèmes complexes dans le domaine du vivant ;
- la gestion de l'incertitude dans la conception dans le domaine du vivant ;
- la création de valeur pour l'industrie, à travers le bien commun ;
- les structures innovantes pour l'industrie et pour les différents acteurs ;
- l'identité de l'objet de la CBC (la technologie et le produit);
- décider ensemble ;
- des études de marché ;
- les mécanismes d'approximation entre les concepteurs et les consommateurs ;
- leviers pour l'amélioration des conditions d'innovation technique

V.CONCLUSION

La CBC a été caractérisée et modélisée grâce à l'étude de cas, la théorie C-K et des méthodes de planification industrielle. Cet exercice s'est avéré un outil important pour permettre d'identifier les points critiques de la gestion de la CBC. Il a par ailleurs permis de montrer que les méthodes dérivées des sciences de la gestion peuvent représenter des leviers à l'innovation dans le vivant. Pour cela il est nécessaire de générer des modèles suffisamment génériques permettant de traiter le sujet de façon « partiellement dépersonnalisée ». Le clonage a été un exemple adapté pour illustrer la complexité et les difficultés rencontrées par les acteurs. La dépersonnalisation du clonage a permis de généraliser le modèle.

D'autres technologies de type CBC telles que clonage d'autres espèces, la transgénèse, ou d'autres technologies du vivant impliquant un besoin intensif d'innovation et intégrant plusieurs acteurs dans la chaîne de production telles que la génomique peuvent être incluses dans le concept de CBC.

Nous avons établi aussi que les problèmes de gestion de la CBC s'approchent partiellement de ceux d'autres systèmes industriels dits systèmes complexes. Comme la science de la gestion et de la recherche opérationnelle est bien développée dans ce domaine, il peut représenter une source importante de connaissances à mobiliser lors de l'étude de la CBC.

Par ailleurs, nous avons démontré que la difficulté de gestion entre la stabilité à long terme et la gestion de projets éphémères représente un facteur fragilisant pour la conception biologique complexe.

Un autre facteur fragilisant pour cette industrie est une mauvaise structuration du marché du à la vision myope des acteurs quant à leur cœur de métier. La structuration du marché à partir d'une meilleure définition du cœur de métier des acteurs, du développement d'une notion de bien commun et de la création d'opportunités de partenariats permet d'offrir de nouvelles possibilités de développement et d'organisation de la concurrence. Le prescripteur en ligne et les plateformes hybrides mixtes représentent deux acteurs potentiellement structurant pour le marché de la CBC.

Concernant le clonage il a été établi que l'immaturation technologique impose une forte incertitude tant sur le plan technique que réglementaire, générant des incertitudes de marché.

Les différences culturelles, la vision de l'élevage et le « pouvoir d'achat » des propriétaires de chevaux sont des facteurs supplémentaires qui peuvent influencer sur le développement de ce marché dans les différentes régions du monde.

Au niveau industriel, nous avons identifié les principaux points d'étranglement de la production et avons proposé des solutions managériales pour aider à gérer l'incertitude technique et établir une stratégie de gestion cohérente. La proposition de modèles d'affaires dépend non seulement d'un modèle de planification de la production mais aussi d'une analyse des structures disponibles sur le marché.

Finalement, en termes généraux, ce travail est le premier à traiter de la modélisation et de l'optimisation du processus de production et d'affaires d'une CBC en utilisant les théories de gestion industrielle.

Pour conclure, ce travail peut représenter une base pour plusieurs études sur l'innovation et la mise sur le marché de nouvelles technologies dans le domaine du vivant. Il peut représenter aussi le premier pas pour la recherche intervention dans cette industrie récente de la CBC.

VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABCnews, 2004. Patent for Dolly Cloning Process. *ABCNews*, 20/01/2004, Londres, <http://abcnews.go.com/Technology/story?id=99187&page=1>

ACA, 2012. Règlement du stud-book français du cheval arabe. <http://www.haras-nationaux.fr/fileadmin/bibliotheque/Reglementation/Stud-books/Chevaux_de_selle_races_francaises/Reglement_Arabe-15-06-2012.pdf>. Règlement approuvé le 15 juin 2012.

Aggeri F., LeMasson P., Branciard A., Paradeise C., Peerbaye A., 2007. Les plates-formes technologiques dans les sciences de la vie. *Revue d'économie industrielle*. n.120, 21p.

Agogué M., 2012. Modéliser l'effet des biais cognitifs sur les dynamiques industrielles. Innovation orpheline et architecte de l'inconnu. *Thèse de doctorat*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 253p.

Alm H., Torner H., Löhrke B., Viergutz T., Ghoem I.M., Kanitz W., 2005. Bovine blastocyst development rate in vitro is influenced by selection of oocytes by brilliant cresyl blue staining before IVM as indicator for glucose-6-phosphate dehydrogenase activity. *Theriogenology*, 63, pp.2194–2205.

Alm H., Torner H., Kanitz W., Becker F. & Hinrichs K., 1997. Comparison of different methods for the recovery of horse oocytes. *Equine Veterinary Journal Supplement*, 25, pp.47-50.

Alm H. & Hinrichs K., 1996. Effect of cycloheximide on nuclear maturation of horse oocytes and its relation to initial cumulus morphology. *Journal of Reproduction and Fertility*, 107:2, pp.215-220.

Alm H. & Torner H., 1994. In vitro maturation of horse oocytes. *Theriogenology*, 42:2, pp. 345-349.

Amar-Touati N. & Sardas J-C., 2006. La rationalisation simultanée de l'action et des apprentissages – concepts et exemples. *Revue Française de Gestion*, 6 :165, pp.71-86.

American Holsteiner Horse Association Inc., 2008. Breeding and Registration Rules. 19/09/2008. <http://www.holsteiner.com/BreedingRules/2008BreedingRules.pdf>

American Horse Council, 2005. National economic impact of the U.S. horse industry. www.horsecouncil.org/national-economic-impact-us-horse-industry

Anderson P. & Tushman M.L., 1990. Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change. *Administrative Science Quarterly*, 35 :4, pp. 604-633.

APFH - Paso Fino Horse Association, 2010. Incorporated Constitution and Rule Book. Effectif le 1er septembre 2010. <http://www.srpfa.com/pdfs/RuleBook.pdf>

AQHA – American Quarter Horse Association, 2011. Annual report - Horse statistics. <http://www.aqha.com/About/Content-Pages/About-the-Association/AQHA-Annual-Report.aspx>

Arthur, W.B., 1994. Positive feedbacks in the economy. *The McKinsey Quarterly*, 1, pp.80-85.

Avenier, M.J., 1996. L'action stratégique en milieu complexe : repères. *Les Cahiers du Management*, 4-5, pp. 169-187.

Bailey M.T., 1992. Do physicists use case studies? Thoughts on public administration research. *Public Administration Review*, 52 :1, pp. 47-54.

Battut I., Bézard J. & Palmer E., 1991. Establishment of equine oviduct cell monolayers for co-culture with early equine embryos. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*, 44, pp. 393-403.

Bavister B.D., 2002. Early history of in vitro fertilization. *Reproduction*, 124, pp. 181–196.

Bean J.C., Birge J.R., Mittenhal J., Noon C.E., 1991. Matchup scheduling with multiple resources, release dates and disruptions. *Operations Research* 39 :3, pp.470-483.

Bedford-Guaus S.J., McPartlin L.A., Xie J., Westmiller S.L., Buffone M.G. & Roberson M.S., 2011. Molecular cloning and characterization of phospholipase C zeta in equine sperm and testis reveals species-specific differences in expression of catalytically active protein. *Biology of Reproduction*, 85:1, pp. 78-88.

Bedford-Gaus S.J., Yoon S.Y., Fissore R.A., Choi Y.H. & Hinrichs K., 2008. Microinjection of mouse phospholipase C zeta complementary RNA into mare oocytes induces long-lasting intracellular calcium oscillations and embryonic development. *Reproduction and Fertility Development*, 20, pp. 875-883.

Bedford S.J., Kurokawa M., Hinrichs K. & Fissore R.A., 2003a. Intracellular calcium oscillations and activation in horse oocytes injected with stallion sperm extracts or spermatozoa. *Reproduction*, 126, pp. 489–499.

Ben Mahmoud-Jouini S. & Calvi R., 2004. Les coopérations inter-entreprises dans les projets de développement, pp.161-186. In **Garel G., Giard V., Midler C.** (éds.), 2004. *Faire de la recherche en management de projet*, Vuibert-Fnege, France, 325p.

Benghozi, P.-J., 2001. Relations interentreprises et nouveaux modèles d'affaires. *Revue Economique, Special Issue "Economie de l'Internet"*, 52, pp.167-190.

Benghozi P.-J., 2006. La gestion de projet dans le secteur culturel. *L'Hermès*, 44, pp.71-77.

Benghozi, P.-J. & Paris T., 2003. De l'intermédiation à la prescription : le cas de la télévision. *Revue Française de Gestion*, 142, pp.205-227.

- Benghozi P.-J. & Paris T.**, 2007. The economics and business of prescription in the internet. In **Brousseau E. & Curien N.** (éds.), 2007. *Internet economics*, Cambridge University Press, 18p.
- Bézard J.**, 1992. In vitro fertilization in the mare. *Proceedings of the International Scientific Conference on Biotechnics in Horse Reproduction*, Agricultural University of Crakow, Poland.
- Borup M., Brown N., Konrad K., van Lente H.**, 2006. The sociology of expectations in science and technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 18 :3-4, pp.285-298.
- Boullier D.**, 2002. Les études d'usages: entre normalisation et rhétorique, *Annales des communications*, 57 :3-4, pp.190-210.
- Borges J.M.L., Rubin M.I.B., Silva A.M., Gonçalves P.B.D. & Rieck A.C.**, 1998. Influence of gonadotropins on nuclear maturation of equine oocytes. *Ciência Rural*, 28:2, pp. 293-297.
- Borins S.F.**, 1990. Simulation, the case method, and case studies : their role in public management teaching and research. *Canadian Public Administration*, 33 :2, pp.214-228.
- Bos-Mikich A., Swann K. & Whittingham D.G.**, 1995. Calcium oscillations and protein synthesis inhibition synergistically activate mouse oocytes, *Molecular Reproduction Development*, 41(1), pp. 84-90.
- Briggs R. & King T.J.**, 1952. Nuclear transplantation studies on the early gastrula (*Rana pipiens*). *Developmental Biology*, 2, pp. 252–270.
- Brown S.L. & Eisenhardt K.M.**, 1997. The Art of Continuous Change: Tying Complexity Theory and Time-Paced Evolution to Relentlessly Shifting Organizations. *Administrative Science Quarterly*, 42 :1, pp.1-34.
- Burns T. & Stalker G.M.**, 1961. The Management of Innovation. Ed. *Tavistock*, Londres.
- Buzzel, R.D. & Barabba V.P.**, 1985. Marketing in the Electronic Age. Ed. *Harvard Business School Press*, Boston, 404p.
- Caillaud M. & Gérard N.**, 2009. In vivo and in vitro effects of interleukin-1beta on equine oocyte maturation and on steroidogenesis and prostaglandin synthesis in granulosa and cumulus cells. *Reproduction and Fertility Development*, 21:2, pp. 265-273.
- Callon, M.**, 1992. The Dynamics of Techno-economic Networks, pp.72-102. In **Coombs R., Saviotti P., Walsh V.** (éds), *Technological Change and Company Strategies*, Academic Press, United Kingdom, 255p.
- Callon M.**, 1991. Techno-economic Networks and Irreversibility, pp. 132-161. In **Law J.** (ed.), 1991. *A Sociology of Monsters? Essays on Power, Technology and Domination*, Routledge, United Kingdom, 273p.

- Camargo C. E.**, 2008. Fatores reprodutivos que interferem em um programa comercial de transferência de embriões em éguas de hipismo. Curitiba, PR. *Rapport Master of Sciences en Sciences Vétérinaires*. Universidade Federal do Parana. 79p.
- Cammish R. & Keough M.**, 1991. A strategic role for purchasing. *McKinsey Quarterly*, 1, p. 22-39.
- Campbell K.H.S. & Wilmot I.**, 1998. Quiescent cell populations for nuclear transfer. *Patent: GB2318578*, 1998.
- Campbell K.H., McWhir J., Ritchie W.A. & Wilmot I.**, 1996. Sheep cloned by nuclear transfer from a cultured cell line. *Nature*, 380, pp. 64–66.
- Caplice N.M., Gersh B.J., Alegria J.R.**, 2005. Cell therapy for cardiovascular disease: what cells, what diseases and for whom? *Nature Reviews Cardiology*, 2, pp.37-43.
- Carneiro G. F.**, 2010. Particularities and difficulties related to equine embryo transfer in Northeast of Brazil. *Acta Scientiae Veterinariae*. 38 :2, 319-333.
- Carneiro G., Lorenzo P., Pimentel C., Pegoraro L., Bertolini M., Ball B., Anderson G. & Liu I.**, 2001. Influence of insulin-like growth factor-I and its interaction with gonadotropins, estradiol, and fetal calf serum on in vitro maturation and parthenogenic development in equine oocytes. *Biology of Reproduction*, 65:3, pp. 899-905.
- Carnevale E.M., Coutinho da Silva M.A., Preis K.A., Stokes J.E. & Squires E.L.**, 2004. Establishment of pregnancies from oocytes collected from the ovaries of euthanized mares. *Proceedings of the 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners*, EAAP, December 4-8, Denver, Colorado, EUA, pp. 531–533.
- Cartier G.**, 2000. Essai de démographie animale. L'élevage des équidés en Chine. *Journal Mountain Ecology*, 5, pp. 147-153.
- Cha S.K., Kim N.H., Lee S.M., Baik C.S., Lee H.T. & Chung, K.S.**, 1997. Effect of cytochalasin B and cycloheximide on the activation rate, chromosome constituent and in vitro development of porcine oocytes following parthenogenetic stimulation. *Reproduction Fertility and Development*, 9:4, pp. 441-446.
- Choi Y.H., Hartman D.L., Fissore R.A., Bedford-Guaus S.J. & Hinrichs K.**, 2009. Effect of sperm extract injection volume, injection of PLCzeta cRNA, and tissue cell line on efficiency of equinenuclear transfer. *Cloning Stem Cells*, 11:2, pp. 301-308.
- Choi Y.H., Love L.B., Varner D.D. & Hinrichs K.**, 2007. Effect of holding technique and culture drop size in individual or group culture on blastocyst development after ICSI of equine oocytes with low meiotic competence. *Animal Reproduction Science*, 102:1-2, pp. 38-47.
- Choi Y.H., Love L.B., Varner D.D. & Hinrichs K.**, 2006a. Holding immature equine oocytes in the absence of meiotic inhibitors: effect on germinal vesicle chromatin and blastocyst development after intracytoplasmic sperm injection. *Theriogenology*, 66:4, pp.955-963.

Choi Y.H., Love L.B., Varner D.D. & Hinrichs K., 2006b. Blastocyst development in equine oocytes with low meiotic competence after suppression of meiosis with roscovitine prior to in vitro maturation. *Zygote*, 14:1, pp. 1-8.

Choi Y.H., Love L.B., Varner D.D. & Hinrichs K., 2004a. Factors affecting developmental competence of equine oocytes after intracytoplasmic sperm injection. *Reproduction*, 127:2, pp. 187-194.

Choi Y.H., Roasa L.M., Love C.C., Varner D.D., Brinsko S.P. & Hinrichs K., 2004b. Blastocyst formation rates in vivo and in vitro of in vitro-matured equine oocytes fertilized by intracytoplasmic sperm injection. *Biology of Reproduction*, 70:5, pp.1231-1238.

Choi Y.H., Chung Y.G., Walker S.C., Westhusin M.E. & Hinrichs K., 2003a. In vitro development of equine nuclear transfer embryos: Effects of oocyte maturation media and amino acid composition during embryo culture. *Zygote*, 11:1, pp. 77-86.

Choi Y.H., Love C.C., Varner D.D., Love L.B. & Hinrichs K., 2003b. Effects of gas conditions, time of medium change, and ratio of medium to embryo on in vitro development of horse oocytes fertilized by intracytoplasmic sperm injection. *Theriogenology*, 59:5-6, pp. 1219-29.

Choi Y.H. & Hinrichs K., 2003. Production of nuclear transfer horse embryos by piezo-driven injection of somatic cell nuclei and activation with stallion sperm cytosolic extract. *Patent : US 2003/0131371 A1*, 2003.

Choi Y.H., Shin T., Love C.C., Johnson C., Varner D.D., Westhusin M.E. & Hinrichs K., 2002a. Effect of coculture with theca interna on nuclear maturation of horse oocytes with low meiotic competence, and subsequent fusion and activation rates after nuclear transfer. *Theriogenology*, 57:3, pp. 1005-1011.

Choi Y.H., Love C.C., Love L.B., Varner D.D., Brinsko S. & Hinrichs K., 2002b. Developmental competence in vivo and in vitro of in vitro-matured equine oocytes fertilized by intracytoplasmic sperm injection with fresh or frozen-thawed spermatozoa. *Reproduction*, 123:3, pp. 455-465.

Choi Y.H., Love C.C., Chung Y.G., Varner D.D., Westhusin M.E., Burghardt R.C. & Hinrichs K., 2002c. Production of nuclear transfer horse embryos by Piezo-driven injection of somatic cell nuclei and activation with stallion sperm cytosolic extract. *Biology of Reproduction*, 67:2, pp. 561-567.

Choi Y.H., Chung Y.G., Seidel G.E. Jr. & Squires E.L., 2001a. Developmental capacity of equine oocytes matured and cultured in equine trophoblast-conditioned media. *Theriogenology*, 56:2, pp. 329-339.

Choi Y.H., Love C.C., Varner D.D., Thompson J.A. & Hinrichs K., 2001b. Activation of cumulus-free equine oocytes: effect of maturation medium, calcium ionophore concentration and duration of cycloheximide exposure. *Reproduction*, 122:1, pp.177-183.

- Choi Y.H., Hochi S., Braun J., Sato K. & Oguri N.,** 1993. In vitro maturation of equine oocytes collected by follicle aspiration and by the slicing of ovaries. *Theriogenology*, 40:5, pp. 959-966.
- Cibelli J.B., Stice S.L., Golueke P.J., Kane J.J., Jerry J., Blackwell C., Ponce de Leon F.A. & Robl J.M.,** 1998. Cloned transgenic calves produced from nonquiescent fetal fibroblast. *Science*, 280, pp. 1256-1258.
- Cintra Filho R. A. M., Cintra R. M. & Carneiro G. F.,** 2004. The photoperiod and the impact on reproductive performance on mares located in the tropics. *Animal Reproduction Science*. 82-83, pp.107.
- Coléno F.-C. et Duru M.,** 2005. L'apport de la gestion de production aux sciences agronomiques. Le cas des ressources fourragères. *Natures Sciences Sociétés*, 13, p. 247-257.
- Crémer J., Riordan M.,** 1987. On governing multilateral transactions with bilateral contracts. *The RAND Journal of economics*, 18:3, pp.436-451.
- Cremonesi F., Anderson K. & Lange-Consiglio A.,** 2010. Efficacy of tuohy needle in oocytes collection from excised mare ovaries. *Veterinary Medicine International*, 5, 2010.
- Darses F.,** 2001. Converger vers une solution en situation coopérative de conception : analyse cognitive du processus d'argumentation, *Proceedings of the 10ème atelier du travail humain*, Paris, 27-28 juin, Rocquencourt FRA.
- David A.,** 2002. Décision, conception et recherche en sciences de gestion. *Revue Française de Gestion*, 3 :139, p.173-185.
- David P.A.,** 1985. Clio and the economics of QWERTY. *American Economic Review*, 75, pp.332-337.
- Declerck F.,** 2005. Typology and financial performance of champagne makers according to distribution channel. *International Food and Agribusiness Management Review*, 8:4, pp.1-22.
- Del Campo M.R., Donoso X., Parrish J.J. & Ginther O.J.,** 1995. Selection of follicles, preculture oocyte evaluation, and duration of culture for in vitro maturation of equine oocytes. *Theriogenology*, 43:7, pp. 1141-1153.
- Deleuze S., Dubois C.S., Caillaud M., Bruneau B., Goudet G. & Duchamp G.,** 2010. Influence of cysteamine on in vitro maturation, in vitro and in vivo fertilization of equine oocytes. *Reproduction of Domestic Animals*, 45:1, pp. 1-7.
- Dell'Aquila M.E., Masterson M., Maritato F. & Hinrichs K.,** 2001. Influence of oocyte collection technique on initial chromatin configuration, meiotic competence, and male pronucleus formation after intracytoplasmic sperm injection (ICSI) of equine oocytes. *Molecular Reproduction and Development*, 60:1, pp.79-88.

- Demeter R.M., Kristensen A.R., Dijkstra J., Oude Lansink A.G.J.M., Meuwissen P.M., van Arendonk J.A.M.**, 2011. A multi-level hierarchic Markov process with Bayesian updating for herd optimisation and simulation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 94:12, pp. 5938-5962.
- Dhillon G. & Orton J.D.**, 2001. Schizoid incoherence, microstrategic options and the strategic management of new organizational forms. *Management*, 4, pp.229-240.
- Di Bernardino M.A.**, 2001. Animal cloning—the route to new genomics in agriculture and medicine. *Differentiation*, 68, pp. 67–83.
- Dijkhuizen A.A., Krabbenborg R.M.M., Huirne R.B.M.**, 1989. Sow replacement: a comparison of farmers actual decisions and model recommendations. *Livestock Production Science*, 23:1-2, pp. 207-218.
- Driesch H.**, 1891. Entwicklungsmechanische Studien. I. Der Wert der beiden ersten Furchungszellen in der Echinodermentwicklung. Experimentelle Erzeugung von Teil und Doppelbildungen. *Zeitschr. Wiss. Zool.*, 53, pp. 160–178.
- Drucker P.F.**, 1985. Innovation and entrepreneurship: Practice and principles. Ed. *Hachette*, Paris, 277p.
- Eisenhardt K.M. & Graebner M.E.**, 2007. Theory building from cases: opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, 50:1, pp. 25-32.
- Eisenhardt K.M. & Martin J.A.**, 2000. Dynamic capabilities : what are they ? *Strategic Management Journal*, 21 :10-11, pp.1105-1121.
- Eisenhardt K.M.**, 1989. Building theories from case studies. *The Academy of Management Review*, 14 :4, pp.532-550.
- Faber D.C., Ferre L.B., Metzger J., Robl J.M., Kasinathan P.**, 2004. Agro-economic impact of cattle cloning. *Cloning Stem Cells*, 6:2, pp.198-207.
- FAO - Food and Agriculture Organization**, 2009. FAOSTAT - live animals. *United Nations* <http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor>
- Fassio G.**, 2000. Quels partages entre acteurs de l'interface « approvisionnement » dans les secteurs de l'aéronautique et de l'automobile ? *Proceedings of the 3rd RIRL*, Bigras Y. & Gélinas R. (éds), 9-11 mai, Trois Rivières - CAN.
- FEDEQUINAS**, 2012. Por medio de la cual se establece el marco normativo para registrar ejemplares obtenidos mediante procesos de clonación. Effectif le 1er septembre 2012.
<https://www.dropbox.com/s/wel0r9nutxkdoia/PROYECTO%20REGISTRO%20CL.docx>
- Fishwild D.M., O'Donnell S.L., Bengoechea T., Hudson D.V., Harding F., Bernhard S.L., Jones D., Kay R.M., Higgins K.M., Schramm S.R., Lonberg N.**, 1996. High-avidity human IgGκ monoclonal antibodies from a novel strain of minilocus transgenic mice. *Nature Biotechnology*, 14, pp.845-851

- Fisken J., Rutherford J.,** 2001. Business models and investment trends in the biotechnology industry in Europe. *Journal of Commercial Biotechnology*, 8 :3, pp.191-199.
- Foulon-Molenda S.,** 2000. A-t-on besoin de se voir pour coopérer ? Contribution théorique issue de la psycho-linguistique. *Le Travail Humain*, 63 :2, pp 97-128.
- Franciosi F., Lodde V., Goudet G., Duchamp G., Deleuze S., Douet C., Tessaro I. & Luciano A.M.,** 2012. Changes in histone H4 acetylation during in vivo versus in vitro maturation of equine oocytes. *Molecular Human Reproduction*, 18:5, pp. 243-252.
- Fransman M.,** 2001. Designing Dolly: interactions between economics, technology and science and the evolution of hybrid institutions. *Research Policy*, 30:2, pp. 263-273.
- Franz L.C., Choi Y.H., Squires E.L., Seidel G.E. Jr & Hinrichs K.,** 2003. Effects of roscovitine on maintenance of the germinal vesicle in horse oocytes, subsequent nuclear maturation, and cleavage rates after intracytoplasmic sperm injection. *Reproduction*, 125:5, pp.693-700.
- Fréry, F.,** 2000. Un cas d'amnésie stratégique": l'éternelle émergence de la voiture électrique. *Proceedings of the IXème Conférence Internationale de Management Stratégique*, Penan H. (éd), 4-26 mai, Montpellier, FRA.
- Fulka J. & Okolski A.,** 1981. Culture of horse oocytes *in vitro*. *Journal of Reproduction and Fertility*, 61, pp. 213-215.
- Gadrey J.,** 2008. Le bon, le beau et le grand : entre culture et marché, les singularités. *Revue Française de Sociologie*, 49 :2, pp.379-389.
- Gaffy J., Gyles O.,** 2003. Economic evaluation of irrigated dairy forage production. *Proceedings of the 47th Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society*, The Australian Agricultural and Resource Economics Society, 12-14 février, Fremantle, Australia, pp. 12-14.
- Galli C., Lagutina I., Duchi R., Colleoni S., Lazzari G.,** 2008. Somatic cell nuclear transfer in horses. *Reproduction of Domestic Animals*, 43 Suppl 2, pp. 331-337.
- Galli C., Colleoni S., Duchi R., Lagutina I. & Lazzari G.,** 2007. Developmental competence of equine oocytes and embryos obtained by in vitro procedures ranging from in vitromaturation and ICSI to embryo culture, cryopreservation and somatic cell nuclear transfer. *Animal Reproduction Science*, 98:1-2, pp. 39-55.
- Galli C., Lagutina I., Crotti G., Colleoni. S., Turini P., Ponderato N., Duchi R. & Lazzari G.,** 2003. Pregnancy: a cloned horse born to its dam twin. *Nature*, 424, pp.635.
- Gambini A., Jarazo J., Olivera R. & Salamone D.F.,** 2012. Equine cloning: in vitro and in vivo development of aggregated embryos. *Biology of Reproduction*, 87(1):15, 1-9.

Gardner D.K., Lane M., Watson A.J., 2004. A laboratory guide to the mammalian embryo. **Gardner, Lane & Watson (éds.)**, 2004. Oxford University Press, New York, 394p.

Gensollen M., 1999. La création de valeur sur internet. *Réseaux*, 97, pp.15-76.

Giacomoni G. & Sardas J-C., 2011. Pilotage des productions d'objets complexes dans l'industrie de l'Espace : innovation intensive et sériation. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 30 :1, 18p.

Giacomoni G., 2002. Gérer la définition et la reproduction d'objets complexes dans les contextes d'innovation permanente. Le cas de l'industrie de l'ESPACE. *Thèse de doctorat*, Ecole des Mines de Paris.

Goudet G., Belin F., Mlodawska W., Bézard J., 2000. Influence of epidermal growth factor on in vitro maturation of equine oocytes. *Journal of Reproduction and Fertility Suppl.*,56, pp. 483-492.

Goudet G., Belin F., Bézard J. & Gérard N., 1998. Maturation-promoting factor (MPF) and mitogen activated protein kinase (MAPK) expression in relation to oocyte competence for in-vitro maturation in the mare. *Molecular Human Reproduction*, 4:6, pp. 563-570.

Gray C., 2006. Absorptive capacity, knowledge management and innovation in entrepreneurial small firms. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour & Research*, 12 :6, pp.345-360.

Greco G. M., Burlamaqui F. L. G., Pinna A. E., Queiroz F. J. R., Cunha M. P. S., Brandão F. Z., 2012. Use of long-acting progesterone to acyclic embryo recipient mares. *Revista brasileira de Zootecnia*, 41 :3, pp.607-611.

Guignot F., Bezard P. & Palmer E., 1999. Effect of time during transport of excised mare ovaries on oocyte recovery rate and quality after in vitro maturation. *Theriogenology*, 52:5, 757-766.

Guillaume D., Duchamp G., Nagy P., Palmer E., 2000. Determination of minimum light treatment required for photostimulation of winter anoestrus mares. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*, 56, pp. 205-216.

Hackett H.C., 1992. A Comparative Analysis of Merchant and Broker Intermediation. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 18 :3, pp. 299-315.

Hamel G., 1998. Strategy innovation and the quest for value. *Sloan Management Review*, 39 :2, pp.7-14.

Hamel J., Dufour S., Fortin D., 1993. Case study methods. Ed. *SAGE Publications*, Newbury Park, 77p.

Hannachi. M., Coléno. F.C., Assens. C., 2010. La collaboration entre concurrents pour gérer le bien commun : le cas des entreprises de collecte et de stockage de céréales d'Alsace. *Revue Gérer et Comprendre*, 101, pp. 16 – 25.

Hart R.P.S., Larcombe M.T., Sherlock R.A., Smith L.A., 1998. Optimisation techniques for a computer simulation of a pastoral dairy farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 19:2, pp. 129-153.

Hatchuel A., 2002. Towards Design Theory and expandable rationality : The unfinished program of Herbert Simon. *Journal of Management and Governance*, 5:3-4, pp. 260-273.

Hatchuel A. & Weil B., 2002. La théorie C-K : fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. *Proceedings of the « Colloque Sciences de la conception »*. 15-16 mars Lyon, FRA.

Hatchuel A. & Weil B., 1999. Pour une théorie unifiée de la conception. *Proceedings of the Conception et Cognition*, GIS Cognition CNRS, Lyon, 1999.

Hatchuel A., 1998. Organisations et marchés : la place des prescripteurs. *Proceedings of the Séminaire CONDOR : Contradictions et Dynamique des Organisations*. Dumez H., Mathieu C., Cléon M-C. (éds), Paris, FRA.

Hatchuel A., 1996. Coopération et conception collective: Variété et crises des rapports de prescription, pp 101-121. In de **Terresac G., Friedberg E.** (éds). *Coopération et Conception*, Octares Editions, France, 330p.

Hatchuel A., Weil B., 1992. L'expert et le système. Ed. *Economica*, Paris, 263p.

Heberling M., 1993. The rediscovery of modern purchasing. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 29 :3, pp.47-53.

Heikinheimo O. & Gibbons W.E., 1998. The molecular mechanisms of oocyte maturation and early embryonic development are unveiling new insights into reproductive medicine, *Molecular Human Reproduction*, 4:8, pp. 745-756.

Heikkilä A-M., Nousiainen J.I., Jauhiainen L., 2008. Optimal replacement policy and economic value of dairy cows with diverse health status and production capacity. *Journal of Dairy Science*, 91:6, pp. 2342-2352.

Heilbrun J. & Gray C.M., 2001. The economics of art and culture. 2.ed., Ed. *Cambridge University Press*, Cambridge, 410p.

Herrera C., Revora M., Vivani L., Miragaya M.H., Losino L., Quintans C. & Pasqualini R.S., 2008. Effect of high glucose concentrations during in vitro culture of equine embryos. *Proceedings of the 7th International Symposium on Equine Embryo Transfer*. R&W Communications (éds), Cambridge, Suffolk, UK, pp. 52–53.

Hinrichs K., 2012. Assisted reproduction techniques in the horse. *Reproduction of Fertility and Development*, 25:1, pp. 80-93.

Hinrichs K., 2010a. The equine oocyte: factors affecting meiotic and developmental competence. *Molecular Reproduction and Development*, 77:8, pp. 651-661.

Hinrichs K., 2010b. In vitro production of equine embryos: state of the art. *Reproduction of Domestic Animals*, 45 Suppl 2, pp. 3-8.

Hinrichs K., Choi Y.H., Walckenaer B.E., Varner D.D. & Hartman D.L., 2007a. In vitro-produced equine embryos: production of foals after transfer, assessment by differential staining and effect of medium calcium concentrations during culture. *Theriogenology*, 68:4, pp. 521-529.

Hinrichs K., Choi Y.H., Varner D.D. & Hartman D.L., 2007b. Production of cloned horse foals using roscovitine-treated donor cells and activation with sperm extract and/or ionomycin. *Reproduction*, 134, pp. 319-325.

Hinrichs K., Choi Y.H., Love C.C., Chung Y.G. & Varner D.D., 2006. Production of horse foals via direct injection of roscovitine treated donor cells and activation by injection of sperm extract. *Reproduction*, 131, pp. 1063–1072.

Hinrichs K., 2006. A review of cloning in the horse. *Reproduction*. 52, pp.398-401.

Hinrichs K., Choi Y.H., Love L.B., Varner D.D., Love C.C. & Walckenaer B.E., 2005. Chromatin configuration within the germinal vesicle of horse oocytes: changes post mortem and relationship to meiotic and developmental competence. *Biology of Reproduction*, 72, pp. 1142–1150.

Hinrichs K. & Schmidt A.L., 2000. Meiotic competence in horse oocytes: interactions among chromatin configuration, follicle size, cumulus morphology, and season. *Biology of Reproduction*, 62:5, pp. 1402-1408.

Hinrichs K., 1997. Cumulus expansion, chromatin configuration and meiotic competence in horse oocytes: a new hypothesis. *Equine Veterinary Journal Suppl.*, 25, pp. 43-46.

Hinrichs K. & Williams K.A., 1997. Relationships among oocyte-cumulus morphology, follicular atresia, initial chromatin configuration, and oocyte meiotic competence in the horse. *Biology of Reproduction*, 57:2, pp. 377-384.

Hinrichs K., Martin M.G., Schmidt A.L. & Friedman P.P., 1995. Effect of follicular components on meiotic arrest and resumption in horse oocytes. *Journal of Reproduction and Fertility*, 104:1, pp. 149-156.

Hinrichs K., Schmidt A.L., Friedman P.P., Selgrath J.P. & Martin M.G., 1993. In vitro maturation of horse oocytes: characterization of chromatin configuration using fluorescence microscopy. *Biology of Reproduction*, 48:2, pp. 363-370.

Hinrichs K., 1991. The relationship of follicle atresia to follicle size, oocyte recovery rate on aspiration, and oocyte morphology in the mare. *Theriogenology*, 36:2, pp. 157-168.

Hinrichs K., Schmidt A.L., Memon M.A., Selgrath J.P. & Ebert K.M., 1990. Culture of 5-day horse embryos in microdroplets for 10 to 20 days. *Theriogenology*, 34:4, 643-653.

HN Les Haras Nationaux, 2008. Annuaire Eccus: Tableau économique, statistique et graphique du cheval en France. *Les Haras Nationaux*, Arnac Pompadour, 64p.

IFHA - International Federation of Horseracing Authorities, 2012. International agreement in breeding, racing and wagering. Effectif en mars 2012. http://www.horseracingintfed.com/resources/2012_choose_eng.pdf

Illmensee K. & Hoppe P.C., 1981. Nuclear transplantation in *Mus musculus*: developmental potential of nuclei from preimplantation embryos. *Cell*, 23, pp. 9–18.

Jacobson C.C., Choi Y.H., Hayden S.S. & Hinrichs K., 2010. Recovery of mare oocytes on a fixed biweekly schedule, and resulting blastocyst formation after intracytoplasmic sperm injection. *Theriogenology*, 73:8, pp. 1116-1126.

Kang J.X., Wang J., Wu L., Kang Z.B., 2004. Transgenic mice: Fat-1 mice convert n-6 to n-3 fatty acids. *Nature*, 427, pp.504.

Kappel T.A., 2001. Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future. *The Journal of Product Innovation Management*, 18, pp.39-50.

Karpik L., 2007. L'économie des singularités. Ed *Gallimard*, 373p.

Keskintepe L. & Brackett B.G., 1996. *In vitro* developmental competence of *in vitro*-matured bovine oocytes fertilized and cultured in completed defined media. *Biology of reproduction*, 55, pp. 333-339.

Kline D. & Kline J.T., 1992. Repetitive calcium transients and the role of calcium in exocytosis and cell cycle activation in the mouse egg. *Developmental Biology*, 149, pp. 80-89.

Kraljic P., 1983. Purchasing must become supply management. *Harvard Business Review*, september-October, pp. 109-117.

Kreibl S. & Pinedo M., 2004. Planning and scheduling in supply chains: an overview of issues in practice. *Production and Operations Management*, 13:1, pp. 77-92.

Kimura Y. & Yanagimachi R., 1995. Intracytoplasmic sperm injection in the mouse. *Biology of Reproduction*, 52, pp. 709–720.

Lagutina I., Lazzari G., Duchi R., Turini P., Tessaro I., Brunetti D., Colleoni S., Crotti G. & Galli C., 2007. Comparative aspects of somatic cell nuclear transfer with conventional and zona-free method in cattle, horse, pig and sheep. *Theriogenology*, 67:1, pp. 90-98.

Lagutina I., Lazzari G., Duchi R., Colleoni S., Ponderato N., Turini P., Crotti G. & Galli C., 2005. Somatic cell nuclear transfer in horses : effect of oocyte morphology, embryo reconstruction method and donor cell type. *Reproduction*, 130, pp. 559-567.

- Landim-Alvarenga F. C., Fernandes C.B., Devito L.G., Derussi A.A.P., Blanco I.D.P. & Alvarenga M.A.,** 2008. New assisted reproductive technologies applied to the horse industry: successes and limitations. *Animal Reproduction*, 5:3/4, pp.67-82.
- Lane M., O'Donnovan M.K., Squires E.L., Seidel G.E.Jr. & Gardner D.K.,** 2001. Assessment of metabolism of equine morulae and blastocysts. *Molecular Reproduction Development*, 59, pp.33-37.
- Lange Consiglio A., Arrighi S. & Cremonesi F.,** 2010. Time course of in vitro maturation of compact cumulus horse oocytes after roscovitine-induced meiotic inhibition: effects on the coordination between nuclear and cytoplasmic maturation. *Reproduction of Domestic Animals*, 45:6, pp. 313-322.
- Lange Consiglio A, Dell'Aquila ME, Fiandanese N, Ambruosi B, Cho YS, Bosi G, Arrighi S, Lacalandra GM, Cremonesi F.,** 2009. Effects of leptin on in vitro maturation, fertilization and embryonic cleavage after ICSI and early developmental expression of leptin (Ob) and leptin receptor (ObR) proteins in the horse. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 16:7, 113.
- Le Masson P., Hatchuel A., Weil B.** 2011. The Interplay Between Creativity issues and Design Theories: a new perspective for Design Management Studies? *Creativity and Innovation Management*, 20 :4, 217-237.
- Le Masson P., Weil B., Hatchuel A.,** 2006. Les processus d'innovation, conception innovante et croissance des entreprises. Ed. *Hermes Science Publications*, Paris, 470p.
- Li X., Morris L.H. & Allen W.R.,** 2006. Influence of co-culture during maturation on the developmental potential of equine oocytes fertilized by intracytoplasmic sperm injection (ICSI). *Reproduction*, 121:6, pp. 925-932.
- Li X., Morris L.H. & Allen W.R.,** 2001. In vitro development of horse oocytes reconstructed with the nuclei of fetal and adult cells. *Biology of Reproduction*, 66, pp. 1288-1292.
- Loeb J.,** 1994. Ueber eine einfachemethode, zwei odermehr zusammengesachsene Embryonen aus einemEi hervorzubringen. *Pflugers Archives*, 5:5, pp. 525–530.
- Lonberg, N.,** 2005. Human antibodies from transgenic animals. *Nature Biotechnology*, 23, pp.1117-1125.
- Lorca T., Cruzalegui F.H., Fesquet D., Cavadore J.C., Means A. & Doree M.,** 1993. Calmodulin-dependent protein kinase II mediates inactivation of MPF and CSF upon fertilization in *Xenopus* eggs. *Nature*, 366, pp. 270-273.
- Lorenzo P.L., Liu I.K., Carneiro G.F., Conley A.J. & Enders A.C.,** 2002. Equine oocyte maturation with epidermal growth factor. *Equine Veterinary Journal*, 34:4, pp. 378-382.

- Loufrani-Fedida S. & Vieira D.R.**, 2008. Management des compétences et organisation par projets : une mise en évidence des leviers de gestion conjointe. *La Revue des Sciences de Gestion* 231-232 : mai-août, pp. 73-83.
- Love L.B., Choi Y.H., Love C.C., Varner D.D. & Hinrichs K.**, 2003. Effect of ovary storage and oocyte transport method on maturation rate of horse oocytes. *Theriogenology*, 59:3-4, pp. 765-774.
- Love C.C., Love L.B., Varner D.D. & Hinrichs K.**, 2002. Effect of holding at room temperature on initial chromatin configuration and in vitro maturation rate of equine oocytes. *Theriogenology*, 57:8, pp. 1973-1979.
- Ludwig T.E., Lane M. & Bavister B.D.**, 2001. Differential effect of hexoses on hamster embryo development in culture. *Biology of reproduction*, 64, pp. 1366-1374.
- Macpherson M. L., Reimer J. M.**, 2000. Twin reduction in the mare : current options. *Animal Reproduction Science*. 60-61, pp.233-244.
- Maguire S., Hardy C., Lawrence T. B.**, 2004. Institutional entrepreneurship in emerging fields: HIV/AIDS treatment advocacy in Canada. *Academy of Management Journal*, 47 :5, pp. 657-679.
- Mallein P. & Tarozzi S.**, 2002. Des signaux d'usage pertinents pour la conception des objets communicants. *Les cahiers du numérique*, 3, pp.61-70.
- Martoriati A, Caillaud M, Goudet G & Gérard N.**, 2003. Inhibition of in vitro maturation of equine oocytes by interleukin 1 beta via specific IL-1 receptors. *Reproduction*, 126:4, pp. 509-515.
- Mackinnon A.O. & Voss J.L.**, 1992. Equine Reproduction. Ed. *Williams and Wilkins*, Philadelphia, 1137p.
- Maxant O.**, 2004. La collaboration interdisciplinaire et la contextualisation par l'usage dans la création et l'évaluation amont d'offres innovantes : application au domaine de l'énergie domestiques. *Thèse de doctorat*, Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels.
- McGrath J. & Solter D.**, 1984. Completion of mouse embryogenesis requires both the maternal and paternal genomes. *Cell*, 37, pp. 179-183.
- Mlodawska W. & Okolski A.**, 2009. Morphological characterization and meiotic competence of oocytes collected from filly ovaries. *Theriogenology*, 71:7, pp. 1046-1053.
- Mohammadi-Sangcheshmeh A., Held E., Ghanem N., Rings F., Salilew-Wondim D., Tesfaye D., Sieme H., Schellander K. & Hoelker M.**, 2011. G6PDH-activity in equine oocytes correlates with morphology, expression of candidate genes for viability, and preimplantative in vitro development. *Theriogenology*, 76:7, pp. 1215-1226.
- Moison J.C.**, 1997. Du mode d'existence des outils de gestion. Ed. *Seli Arslan*, Paris, 288p.

- Moore J. F.**, 1993. Predators and prey: A new ecology of competition. *Harvard Business Review*, May-June, pp. 75-87.
- Myers D.R., Sumpter C.W., Walsh S.T., Kirchoff B.A.** 2002. A Practitioner's View: Evolutionary Stages of Disruptive Technologies. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 49 :4, pp.322-329.
- Myerson R.B. & Satterthwaite M.A.**, 1983. Efficient Mechanisms for Bilateral Trading. *Journal of Economic Theory*, 29 :2, pp. 265-281.
- Nahmias S.**, 2005. Operations and supply chain management – getting the stuff out the door. pp. 119-151. In, **Navarro P.** (éd.), 2005. *What the best MBAs know*, McGraw-Hill Education Pvt Limited, Inde, 304p.
- Nakhla M.**, 2001. Dynamique des contrats et innovation dans l'entreprise : évolution des modes de coordination et régulations économiques des projets. *Gérer et comprendre*, 66, pp.25-37.
- Nussbaum D.J. & Prather R.S.**, 1995. Differential effects of protein synthesis inhibitors on porcine oocyte activation. *Molecular Reproduction Development*, 41:1, pp. 70-75.
- Oback B., Wiersema A.T., Gaynor P., Laible G., Tucker F.C., Oliver J.E., Miller A.L., Troskie H.E., Wilson K.L., Forsyth J.T., Berg M.C., Cockrem K., McMillan V., Tervit H.R. & Wells D.N.**, 2003. Cloned cattle derived from a novel zona-free embryo reconstruction system. *Cloning Stem Cells*, 5, pp. 3–12.
- Okolski A., Bézard J., Magistrini M. & Palmer E.**, 1991. Maturation of oocytes from normal and atretic equine ovarian follicles as affected by steroid concentrations. *Journal of Reproduction and Fertility Suppl.*, 44, pp. 385-392.
- Olivera R., Alvarez C., Stumpo I. & Vichera G.**, 2012. Effect of the nuclear reprogramming time on in vitro development of equine aggregated cloned embryos. *Reproduction and Fertility Development*, 25:1, pp. 174.
- Osborn C S.**, 1998. Systems for sustainable organizations: emergent strategies, interactive controls and semi-formal information. *Journal of management studies*, 35 :4, pp.481-509.
- Ozil J.P., Heyman Y. & Renard J.P.**, 1982. Production of monozygotic twins by micromanipulation and cervical transfer in the cow. *The Veterinary Record*, 110, pp. 126–127.
- Palmer E., Bézard J., Magistrini M. & Duchamp G.**, 1991. In vitro fertilization in the horse. A retrospective study. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*, 44, pp. 375–384.
- Pedersen H.G., Watson E.D. & Telfer E.E.**, 2004. Effect of ovary holding temperature and time on equine granulosa cell apoptosis, oocyte chromatin configuration and cumulus morphology. *Theriogenology*, 62:3-4, pp. 468-480.

Peidro D., Mula J., Poler R., Lario F.-C., 2009. Quantitative models for supply chain planning under uncertainty : a review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43, pp.400-420.

Peters T., 2000. L'innovation, un cercle vertueux. Ed. *Village Mondial*, Paris, 544p.

Polejaeva I.A., Chen S.-H., Vaught T.D., Page R.L., Mullins J., Dai Y., Boone J., Walker S., Ayares D., Colman A. & Campbell, K.H.S., 2000. Cloned piglets produced by nuclear transfer from adult somatic cells. *Nature*, 407, pp. 86-90.

Ponsard, J.P., 1997. Formalisation des connaissances, apprentissage organisationnel et rationalité interactive. In **Dupuy J.P. & Livet P.,** 1997. *Les limites de la rationalité*, Ed. La découverte, volume 1.

Prather R.S., Sims M.M. & First N.L., 1989. Nuclear transplantation in early pig embryos. *Biology of Reproduction*, 41, pp. 414–418.

Prather R.S., Barnes F.L., Sims M.M., Robl J.M., Eyestone W.H. & First N.L., 1987. Nuclear transplantation in the bovine embryo: assesment of donor nuclei ´es recipient oocyte. *Biology of Reproduction*, 37, pp. 859–866.

Preis K.A., Carnevale E.M., Coutinho da Silva M.A., Caracciolo di Brienza V., Gomes G.M., Maclellan L.J. & Squires E.L., 2004. In vitro maturation and transfer of equine oocytes after transport of ovaries at 12 or 22 degrees C. *Theriogenology*, 61:7-8, pp. 1215-1223.

Presicce G.A. & Yang X., 1994. Parthenogenetic development of bovine oocytes matured in vitro for 24 hr and activated by ethanol and cycloheximide. *Molecular Reproduction Development*, 38:4, pp. 380-385.

Ram B., Nagshineh-Pour M.R. & Yu X., 2006. Material requirements planning with flexible bills-of-material. *International Journal of Production Research*, 44:2, pp. 399-415.

Rambags B.P., Krijtenburg P.J., Drie H.F., Lazzari G., Galli C., Pearson P.L., Colenbrander B. & Stout T.A., 2005. Numerical chromosomal abnormalities in equine embryos produced in vivo and in vitro. *Molecular Reproduction and Development*, 72:1, pp. 77-87.

Raynor M.E. & Bower J.L., 2001. Lead from the center – How to manage divisions dynamically, *Harvard Business Review*, mai, pp. 93-100.

Reis A.P. & Palmer E., 2010. L'insertion des clones dans l'élevage équin: attentes et enseignements du marché. *Equ'Idée*, 73, pp. 56-58.

Reuleaux F. & Moll C., 1854. *Konstruktionslehre für des Maschinenbau*. Brunswick, Vieweg. In **Hatchuel A. et Weil B.,** 2002. La théorie C-K : fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. In *Proceedings of the « Colloque Sciences de la conception »*. 15-16 mars Lyon, FRA.

- Ribeiro B.I., Love L.B., Choi Y.H. & Hinrichs K.**, 2007. Transport of equine ovaries for assisted reproduction. *Animal Reproduction Science*, 108:1-2, pp. 171-179.
- Ricard A.**, 2002. Influence du clonage sur le progrès génétique chez les chevaux. *La lettre du comité d'orientation scientifique et technique des Haras Nationaux*, 8, 2p.
- Rip A. & Kemp R.**, 1998. Technological change. pp.327-399. In: **Rayner S. & Malone E.L.** (Eds), 1998. *Human choice and climate change*, Batelle Press, EUA, 536p.
- Rip A.**, 1995. Introduction of New Technology: Making Use of Recent Insights from Sociology and Economics of Technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 7 :4, pp.417-431.
- Robertson I.**, 2005. Understanding International Art Markets and Management. Ed. *Routledge*, New York, EUA, 280p.
- Robinson D.K.R. & Propp T.**, 2006. Multi-path mapping as strategic intelligence for reflexive alignment in emerging S&T. *Proceedings of the 2nd International Seville Seminar on Future-Oriented Technology Analysis: Impact of FTA Approaches on Policy and Decision Making*, 28-29 septembre, Seville, ESP.
- Rocha Filho A. N., Pessoa M. A., Gioso M. M., Alvarenga M. A.**, 2004. Transfer of equine embryos into anovulatory recipients supplemented with short or long acting progesterone. *Animal Reproduction*. 1 :1, pp.91-95.
- Romelaer P.**, 1998. Innovation, performances et organisation. *Revue Française de Gestion*, 118, pp.92-101.
- Rosati I., Berlinguer F., Bogliolo L., Leoni G., Ledda S. & Naitana S.**, 2002. The effect of co-culture on the development of in vitro matured equine oocytes after intracytoplasmic sperm injection. *Equine Veterinary Journal*, 34:7, pp. 673-678.
- Rosell G.**, 1994. The Human Dimension. pp 16-22. In : **Dahlin T.**, 1994. *The Human Dimension, Swedish Industrial -Design*, Bolis, Italie, 99p.
- Sagot-Duvaroux D., Pflieger S., Rouget B.**, 2010. Factors affecting price on the contemporary art market, pp. 91-102. In **Towse R.** (éd), 2011. *A Handbook of Cultural Economics*, 2.ed. Springer-Verlag, Allemagne, 443p.
- Sardas J-C.**, 2000. Coopération et organisation de l'action collective. In *Proceedings of the 2eme journée du programme Prosper du CNRS*, 7-8 Juin, Toulouse, FRA.
- SBBCH - stud book brasileiro do cavalo de hipismo**, 2012. Regulamento SBBCH. 64p. http://www.brasileirodehipismo.com.br/upload/arquivos/REGULAMENTO_STUDBOOK_2012.pdf
- Schumpeter J.**, 1942. Capitalisme, socialisme et démocratie. La doctrine marxiste. Ed. *Pavot*, France, 176p.

- Sims M. & First N.L.**, 1993. Production of calves by transfer of nuclei from cultured inner cell mass cells. *Proceedings of National Academy of Sciences*, U.S.A., 91, 6143–6147.
- Singer L.P.**, 1988. Phenomenology and economics of art markets : an art historical perspective. *Journal of cultural economics*, 12 :1, pp.27-40.
- Soler L.G. & Tanguy H.**, 1998. Contrats et négociations dans le secteur des vins de champagne. *Annales des Mines*, mars, pp.1-11.
- Spemann H.**, 1902. Entwicklungsphysiologische Studien am Tritonei II. Arch f. Entw. Mech. 15, 448–534.
- SPFS - Stud-book du poney français de selle**, 2011. Règlement du stud-book du poney français de selle. Approuvé le 22 décembre 2011. http://www.haras-nationaux.fr/fileadmin/bibliotheque/Reglementation/Stud-books/Poneys/Reglement_Poney_Francais_de_Selle-22-12-2011.pdf
- Spulber, D.F.**, 1996. Market Microstructure and Intermediation. *Journal of Economic Perspectives*, 10 :3, pp. 135-152.
- Stacey, R. D.**, 1995. The Science of Complexity: An Alternative Perspective for Strategic Change Processes. *Strategic Management Journal*, 16 :6, pp.477-495.
- Stenger T.**, 2007. Prescription et interactivité dans l'achat en ligne. *Revue Française de Gestion*, 4 :173, pp.131-144.
- Takeuchi H. & Nonaka I.**, 1986. New product development game. *Harvard Business Review*, Jan-Fév., pp. 137-148.
- Tanguy H.**, 1996. Décentralisation et contractualisation interne, p. 111-135. In : **Cohendet P., Jacot J-H., Lorino P.** (éds.), *Cohérence, Pertinence, Évaluation*, Economica, France, 308p.
- Tapscott D.**, Creating Value on the Network Economy. Harvard Business Review Book Series, Ed. *Harvard Business School Publishing*, Boston, 233p.
- Taylor F.W.**, 1911, The Principles of Scientific Management, Ed. *Harper & Brothers*, New York, 77p.
- The Guardian**, 2004. Dolly's cloning patent sold. *The Guardian*, 03/01/2004. www.smh.com.au/articles/2004/01/02/1072908911426.html
- Thibier M.**, 2008. Data retrieval committee statistics of embryo transfer-year 2007. The worldwide activity in farm animals embryo transfer. *Embryo transfer newsletter*, p.4-9.
- Thorson J. F.**, 2013. Interactive role of gonadotrophin/releasing hormone and rf-amide related peptide 3 in adenohipophyseal physiology and reproduction in the mare. Rapport Master of Sciences. Texas A&M University. 145p.

Torner H., Alm H., Kanitz W., Goellnitz K., Becker F., Poehland R., Bruessow K.P. & Tuchscherer A., 2007. Effect of initial cumulus morphology on meiotic dynamic and status of mitochondria in horse oocytes during IVM. *Reproduction of Domestic Animals*, 42:2, pp.176-83.

Toth S., Huneau D., Banrezes B. & Ozil J-P., 2006. Egg activation is the result of calcium signal summation in the house. *Reproduction*, 131, pp. 27-34.

Tremoleda J.L., Tharasanit T., Van Tol H.T., Stout T.A., Colenbrander B. & Bevers M.M., 2003a. Effects of follicular cells and FSH on the resumption of meiosis in equine oocytes matured in vitro. *Reproduction*, 125, pp. 565-577.

Tremoleda J.L., Stout T.A., Lagutina I., Lazzari G., Bevers M.M., Colenbrander B. & Galli C., 2003b. Effects of in vitro production on horse embryo morphology, cytoskeletal characteristics, and blastocyst capsule formation. *Biology of Reproduction*, 69:6, pp. 1895-1906.

Vallette T., 2006. Recherche d'un cadre conceptuel d'aide à la conception collective innovante par l'usage. *Thèse de doctorat*, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 209p.

Vanderwall D.K., Hyde K.J. & Woods G.L., 2006. Effect of repeated transvaginal ultrasound-guided follicle aspiration on fertility in mares. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 228:2, pp. 248-250.

Vanderwall D.K., Woods G.L., Aston K.I., Bunch T.D., Li G., Meerdo L.N. & White K.L., 2004. Cloned horse pregnancies produced using adult cumulus cells. *Reproduction Fertility and Development*, 16:7, pp. 675-679.

Vanderwall DK., 1996. Early embryonic development and evaluation of equine embryo viability. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 12:1, pp. 61-83.

van Merkerk R.O. & Robinson D.K., 2006. Technological field : expectations, agendas and networks in lab-on-a-chip technologies. *Technology analysis & Strategic Management*, 18 :3-4, pp.411-428.

WAHO - World Arabian Horse Association, 2011. Complete report of the WAHO Conference 2011. Doha, <http://www.waho.org/WAHO-2011-Conference.html>

Walsh S.T., 2004. Roadmapping a disruptive technology : a case study. The emerging microsystems and top-down nanosystems industry. *Technological Feorecasting & Social Change*, 71 :1-2, pp.161-185.

Wang S.J., Fox D.G., Cherney D.J., Chase L.E., Tedeschi L.O., 2000. Whole-herd optimisation with the Cornell Net Carbohydrate and Protein System. II. Allocating homegrown feeds across the herd for optimum nutrient use. *Journal of Dairy Science*, 83:9, pp. 2149-2159.

Willadsen S.M., 1986. Nuclear transplantation in sheep embryos. *Nature*, 320, pp. 63-65.

- Willadsen S.M.**, 1979. A method for culture of micromanipulated sheep embryos and its use to produce monozygotic twins. *Nature*, 277, pp. 298–300.
- Wilmut I., Schnieke A.E., McWhir J., Kind A.J. & Campbell K.H.**, 1997. Viable offspring derived from fetal λ es adult mammalian cells. *Nature*, 385, pp. 810–813.
- Woods G.L. & Vanderwall D.K.**, 2008. Activation of equine oocytes. *Patent: 7323620*, 2008.
- Woods G.L., White K.L., Vanderwall D.K., Li G-P., Aston K.I., Bunch T.D., Meerdo L.N. & Pate B.J.**, 2003. A mule cloned from fetal cells by nuclear transfer. *Science*, 301:5636, p.1063.
- Yanagida K., Katayose H., Yazawa H., Kimura Y., Konnai K. & Sato A.**, 1998. The usefulness of a piezo-micromanipulator in intracytoplasmic sperm injection in humans. *Human Reproduction*, 14:2, pp. 448–453.
- Yin, R.**, 2009. Case study research: Design and methods, 4.ed., Ed. *SAGE Publications*, Newbury Park, 223p.
- Yin R.**, 2003. Applications of case study research. 2.ed. Ed. *SAGE Publications*, Newbury Park, 174p.
- Yung J. M. & Chauveau J. P.**, 1995. Débat introductif. In *Proceedings of the XIVème séminaire d'économie rurale*, Montpellier, FRA.
- Zhou H., Liu C. & Wang W.**, 2007. Heterospecific nuclear-transferred embryos derived from equine fibroblast cells and enucleated bovine oocytes. *Reproduction of Domestic Animals*, 42:3, pp. 243-247.
- Zhou H., Liu C., Wang W., Hinrichs K., Choi Y.H., Love C.C., Chung Y.G. & Varner D.D.**, 2006. Production of horse foals via direct injection of roscovitine-treated donor cells and activation by injection of sperm extract. *Reproduction*, 131:6, pp. 1063-1072.

VII. PUBLICATIONS ASSOCIEES A LA THESE

Nakhla M., Reis A.P., 2012. Conception et planification dans les biotechnologies innovantes. Le cas du clonage équin. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 31:1, pp 35-58. (Revue avec comité de lecture)

Reis A.P., Palmer E., 2010. L'insertion des clones dans l'élevage équin : ce que l'on en attend et ce que nous enseigne le marché. *Equ'idée, hiver*. (article de vulgarisation scientifique)

Abdou O.M., Nakhla M., Reis A.P., 2013. Optimization of the recipient's herd in a program of horse cloning. *Proceedings of the 26th European Conference on Operational Research*, Rome, 1-4 juillet 2013. (Présentation orale)

Reis A.P., Nakhla M., 2013. Biotechnologies in the horse industry through the lenses of design. *Proceedings of the 4^{ème} Journées de l'optimisation (OPDE)*, Montréal, 6-8 mai 2013. (Présentation orale)

Reis A.P., Palmer E., Nakhla M., 2012. Biotechnologies of reproduction in the horse: what has been changed? *Proceedings of the 63th EAAP Conference*, Bratislava, 26-30 août 2012. (Présentation orale)

Reis A.P., Palmer E., Nakhla M., 2013. Initial approach to define the potential market of recent biotechnologies: the case of cloning. *Proceedings of the 64th EAAP Conference*, Nantes, 26-30 août, 2013. (Poster)

VIII. ANNEXES

ANNEXE I : ETUDE DU MARCHÉ POTENTIEL DU CLONAGE

Le clonage a été proposé pour l'espèce équine dans un objectif bien spécifique : celui de permettre aux hongres performeurs de très haut niveau de transmettre leur génétique à des descendants grâce aux clones qui seraient, eux, des mâles entiers (non castrés) porteurs de la même génétique (ADN nucléaire). Cette définition initiale de marché répond à une logique composée d'un facteur technique et un facteur commercial.

La composante technique est originaire de la logique actuelle d'évaluation et d'amélioration génétique : employer les meilleurs individus en reproduction afin de promouvoir une amélioration génétique. En effet, quelques pays ont développé des « indices génétiques », comme le BLUP (Bilan Linéaire Universel Prévisionnel), pour évaluer la qualité génétique des chevaux de sport. Ces indices représentent une forme de modélisation qui prend en compte le pédigrée du cheval, sa propre performance et celle de ses descendants (dans le cas où le cheval est reproducteur) afin de lui attribuer une « note génétique » et de mesurer la corrélation entre les notations théoriques et le résultat observé sur le terrain. Selon cette logique, les chevaux ayant les meilleures notations (2% des mâles et 40% des femelles), utilisés en reproduction, permettent d'atteindre un gain génétique 3 fois supérieur à une situation où cette sélection est basée seulement sur les 40% des meilleurs étalons (Arnason et Van Vleck, 2000). Techniquement, afin de promouvoir un gain génétique, la population candidate au clonage devrait être comprise dans cette population spécifiée par les auteurs.

Dans une étude sur l'impact de l'utilisation de clones de hongres dans les schémas de sélection, Ricard et Dubois (2006) expliquent que le gain apporté par cette pratique est variable. Le modèle prend en compte l'intensité de sélection et le retard de production engendré par le clonage (temps additionnel nécessaire pour la production du clone et son arrivée à la puberté). Selon l'étude, le gain maximum serait atteint lorsque la population de hongres représente 40% de la population du sexe masculin (mâles + hongres) et que les clones de hongres représentent 24% de la population d'étalons (soit 0,48% d'une population totale). La même étude remarque la grande difficulté à déterminer l'impact du clonage de femelles dans l'amélioration génétique d'une population à cause de leur faible production annuelle et de la difficulté à identifier des « mères à étalons ».

La composante commerciale prend en compte le potentiel de production d'un reproducteur et le coût du clonage en soi. Selon la proposition initiale de marché, le clonage d'étalons serait à proscrire puisqu'un étalon peut produire jusqu'à 200 poulains / an (en jumping, 40 poulains / an en moyenne selon Ricard et Dubois, 2006) et un excès d'utilisation d'un étalon pourrait engendrer une réduction de la variabilité génétique d'une population. Par ailleurs, les hauts coûts du clonage alliés à la faible production des femelles (généralement, 1 poulain/an, ne dépassant pas quelques unités en cas d'exploitation en transfert embryonnaire) interdiraient la faisabilité économique du clonage pour les femelles à cause

d'un rapport coût/bénéfice défavorable. De ce fait, le marché du clonage équin est donc destiné principalement aux hongres performeurs.

Ayant connu ces arguments théoriques, nous avons analysé le marché du clonage de chevaux entre 2003 et 2010 (Reis et Palmer, 2010). Nous avons constaté que le marché est restreint (moins de 20 lignées sont clonées annuellement) et concerne principalement des chevaux de l'élite génétique et sportive (mondiale et/ou nationale). Cependant les hongres ne sont pas les seuls animaux clonés, ils ne représentent qu'un tiers des chevaux clonés. En effet, des mâles entiers et des femelles ont aussi été clonés. Par ailleurs, nous avons observé que l'évaluation génétique par des outils théoriques tels que le BLUP n'est pas le critère le plus important pour la décision de cloner. En pratique, ce choix peut être conditionné par l'analyse empirique des performances et/ou du pédigrée ou par des raisons personnelles (p. ex. récupérer un cheval de compagnie). Cependant, dans tous les cas (sauf une jument clonée pour la recherche) les chevaux choisis pour le clonage sont des représentants de l'élite commerciale de leurs disciplines. Au niveau de l'utilisation, les clones sont majoritairement valorisés dans la reproduction, comme prévu dans la proposition initiale de marché. Depuis 2012, la valorisation dans le sport se développe très timidement. Le caractère récent de cette industrie ne nous a pas permis d'évaluer objectivement les résultats de l'utilisation des clones.

La comparaison entre le marché initialement proposé et le marché développé jusqu'ici nous a montré que ce dernier a le potentiel d'être plus large que la proposition initiale, surtout par l'inclusion des mâles et des femelles dans le marché potentiel. Cependant, la production mondiale de clones reste très faible et il est actuellement très difficile d'estimer le marché potentiel du clonage. Face à ces constats nous avons proposé ce travail afin d'identifier des paramètres permettant une analyse quali-quantitative du marché potentiel pour le clonage.

L'inexistence d'une base de données génétique commune (ou même des bases de données concernant chacune des différentes populations), et le manque de clarté et la variation des objectifs d'élevage d'une association à une autre (Koenen et Aldridge, 2002) nous ont amené à proposer une analyse du marché potentiel à deux niveaux.

Le premier prend en compte la taille et le type de marché du cheval local, la valeur des chevaux, le prix du clonage, l'influence de l'aspect culturel local sur l'acceptation de la technologie et le potentiel d'insertion des acteurs du clonage sur le marché. La combinaison de ces facteurs permettrait d'évaluer « qualitativement » le potentiel de marché pour le clonage au niveau local.

La deuxième étape comprend une analyse des différentes disciplines équestres afin de quantifier grossièrement le marché potentiel du clonage selon le seul argument de la performance propre en gage de supériorité génétique et donc, d'intérêt pour le clonage.

Méthodologie

Dans un premier temps, nous avons proposé et analysé empiriquement quatre paramètres pouvant influencer le potentiel d'un marché : la population équine, la culture, le prix du clonage et la valeur des chevaux et la connaissance de l'industrie du cheval de la part de l'agent vendeur (ou intermédiaire).

Pour ce faire, nous avons i) recueilli des données officielles disponibles sur la population équine mondiale (FAO); ii) consulté les différents rapports-type des éleveurs à l'innovation dans le domaine génétique et de l'élevage ; analysé les rapports sur l'industrie du cheval.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié différents segments de l'industrie du cheval et leur potentiel à générer des candidats au clonage selon la performance au plus haut niveau sportif. Le marché potentiel a été identifié à l'intérieur de la population de chevaux inscrits aux épreuves officielles de la FEI et la FIP. Parallèlement nous avons établi certaines informations importantes commercialement telles que les races les plus représentatives et les nationalités le plus représentées en compétition de haut niveau bien que l'identification grossière des axes production-utilisation pour chacune des disciplines analysées.

Cette analyse a été réalisée à partir des classements de différentes institutions de régulation du sport (FEI – Fédération Equestre Internationale ; WBFSH – World Breeding Federation for Sport Horse ; FIP – Federation of International Polo). Nous avons analysé le jumping, le dressage, le concours complet, l'endurance et le polo.

Afin d'identifier les seuls chevaux dont le clonage serait effectivement utile pour l'amélioration génétique d'une population, nous avons restreint notre sélection des candidats aux 0,3% des meilleurs performeurs.

Ce seuil a été déterminé à partir d'une interprétation de l'étude de Ricard et Dubois (2006) suivie d'une interview avec l'auteure. Il n'a pas prétention à être justifié scientifiquement, mais de s'assurer que la population sélectionnée par nos soins a les plus grandes chances de répondre à deux critères importants commercialement : une supériorité génétique prouvée par les performances propres et la visibilité internationale de l'animal. Par ailleurs, compte tenu de la variabilité de la proportion mâle/hongre dans une population d'une génération à l'autre et les observations faites sur le marché actuel du clonage, nous avons accepté qu'à ce niveau, la distinction entre les mâles entiers, les hongres et les femelles n'était pas nécessaire.

L'identification de la population candidate au clonage a été réalisée à partir des performances des couples (cheval/cavalier) les mieux classés au « ranking » du principal tournoi annuel de chaque discipline olympique. Dans le cas du Polo, la difficulté de recueillir des données relatives aux chevaux nous a amené à accepter que les chevaux des joueurs au Handicap 10 (le plus haut niveau de la discipline) sont aussi les chevaux de meilleure performance et donc d'intérêt pour le clonage. La spécificité de cette discipline

est le grand nombre de chevaux/joueur (un joueur utilise 4 chevaux dans un match et prépare des chevaux supplémentaires en réserve). Notre analyse sera réalisée sur une base de 5 chevaux/joueur.

D'autres disciplines internationales n'ont pas été incluses dans l'étude soit à cause du faible nombre de participants au niveau international (le cas de l'attelage et de la voltige), soit à cause du refus des studbooks d'accepter des clones dans leurs registres (le cas du Quarter Horse et des courses).

Résultats :

Première partie : L'analyse qualitative des quatre paramètres pouvant influencer le potentiel d'un marché

- La population équine

L'analyse de cet aspect est complexe. Tout d'abord, les chiffres de différentes sources peuvent varier car, à cause de l'opacité de l'industrie, les études s'appuient surtout sur des estimations de la population. Par ailleurs, dans certains pays l'enregistrement des animaux est obligatoire alors que dans d'autres les chevaux sont enregistrés seulement dans le cas où les propriétaires veulent améliorer leur valeur. Dans ce cas, généralement, seulement les chevaux de race pure sont presque systématiquement enregistrés. De plus, dans certains pays les décès ne sont pas systématiquement communiqués aux studbooks ni aux autorités. De ce fait, plusieurs associations européennes et américaines contactées pendant notre travail n'ont pas su nous communiquer le nombre de chevaux nés annuellement ni le nombre réel d'animaux vivants. Enfin, les derniers obstacles à une définition correcte de la population de chevaux dans les différents pays sont le commerce international et les changements d'identité (très fréquents dans cette industrie).

Pour contrer ce problème nous avons décidé d'utiliser les données officielles de la FAO afin de pouvoir compter sur une uniformité de méthode d'estimation sur différents pays (Tableau 1).

Tableau I : Population de chevaux sur les différents continents.

Continent/pays	N. Chevaux
Afrique	4.519.216
Etiopie	1.787.211
Senegal	522.486
Afrique du Sud	270.000
Nigéria	207.830
Amérique	33.594.119
USA	9.500.000
Mexique	6.350.000
Brésil	5.650.000
Argentine	3.680.000
Colombie	2.421.310
Peru	730.000
Canada	385.000
Asie	13.870.140
Chine	6.823.465
Mongolie	2.186.900
Russie	1.322.677
Kazakhstan	1.291.100
Inde	751.000
Europe	6.374.740
Allemagne	541.890
France	420.238
Royaume Uni	384.000
Pologne	325.304
Espagne	250.000
Océanie	411.956
Australie	270.000
Nouvelle Zélande	62.511

Source : FAO, 2009

Selon la FAO (2009) la population équine mondiale est d'environ 58 millions de têtes. Ces chiffres sont discutables. Par exemple, une étude de Liljenstolpe (2009) a estimé la population d'équidés en Europe à 5,7 millions de têtes, un nombre proche de celui annoncé par la FAO. Cependant, son estimation pour certains pays, basée sur des enquêtes de terrain, diffère de celle de la FAO. Cependant, comme notre intérêt dans cette partie est surtout de comprendre la distribution des chevaux dans le monde, il nous semble cohérent de discuter la population équine en termes de nombre à partir des données d'une source unique, d'où le choix des données de la FAO.

Le Tableau 1 montre que 80% de la population équine mondiale habite les Amériques et l'Asie. Cependant, l'analyse de cette seule donnée brute n'est pas optimale. Une observation de la population équine de certains pays nous a amené à remarquer qu'il peut exister une grande différence entre la population totale et le nombre de chevaux d'intérêt pour le clonage. Cette différence est non seulement due à la qualité génétique mais surtout

à la finalité de l'utilisation des chevaux et aux systèmes d'élevage établis dans les différents pays.

Une illustration de cette situation est la population équine du Brésil. D'après un rapport réalisé par Lima et al. (2006), le Brésil possède la quatrième population équine au monde mais la grande majorité des chevaux est utilisée pour le travail, surtout dans les fermes d'élevage bovin. Ces chevaux doivent être rustiques et robustes pour le travail mais aucun outil d'amélioration génétique formel n'a été développé et celle-ci reste empirique. De plus ces chevaux de travail ont une faible valeur financière. La part de la population équine utilisée pour le sport ou pour la reproduction dans l'objectif d'amélioration génétique n'est pas bien connue dans ce pays. Toutefois, l'auteur a estimé à 50.000 le nombre de cavaliers sportifs dans le pays (toutes disciplines et tous niveaux confondus) dont environ 8.000 cavaliers pratiquant le jumping (tous niveaux confondus). Cette information nous permet d'estimer que, malgré la grande population équine de ce pays, celle d'intérêt zootechnique est inférieure à 500.000.

De ce fait, nous pouvons conclure que la population équine « brute » d'un pays peut être un indicateur de la présence ou non de chevaux dans un pays. Cependant, il est nécessaire d'analyser aussi l'utilisation de ces chevaux afin d'identifier le potentiel réel de cette population à offrir des candidats au clonage.

- La valeur des chevaux et le prix du clonage

Le commerce de chevaux se développe dans un environnement marqué par la singularité (singularité, voir Karpik, 2007). La valeur d'un cheval dépend de sa performance, de sa génétique, de son appréciation par le public (beauté, caractère, effet de mode) et de sa descendance (dans le cas des reproducteurs). Cependant, il n'existe pas un système précis et objectif de formation de prix et ceux-ci sont difficilement connus. En général, les seuls prix officiellement connus sont ceux des enchères. Les enchères réunissent des chevaux (ou même des embryons) sélectionnés à partir de la population totale. Ils font partie de l'élite d'une population. Cette sélection répond à des critères de l'économie des singularités (réalisée par un ou plusieurs experts du marché, selon les critères de beauté, de performance, de parenté et de comportement jugés subjectivement comme adaptés au marché). Les enchères sont reconnues comme un dispositif de jugement dans un marché des singularités (Karpik, 2007) et peuvent donc contribuer à la compréhension de la valeur des chevaux dans un pays (selon les classes d'âge et finalités) sans pour autant établir des systèmes précis de définition du prix. Nous supposons que les ventes aux enchères puissent contribuer à analyser le potentiel d'un pays pour le clonage dans le sens où plus les chevaux atteignent des valeurs importantes aux enchères, plus ce noyau de marché a un potentiel d'offrir des candidats au clonage. De la même façon, l'observation des ventes aux enchères permet de dresser des pistes pour établir la cohérence entre le prix du clonage et la valeur des chevaux dans un marché. Cependant, une multitude de classes de chevaux est vendue aux enchères (différents utilisation, âge, race, sexe, etc). Il est nécessaire de prendre du recul avant de dresser des pistes de réflexion sur le sujet.

Par exemple, d'après Lima et al. (2006) les prix des chevaux vendus aux enchères au Brésil ont triplé depuis 1995 pour atteindre une moyenne de 12.000 reais (environ 5.400 euros) en 2004. Son rapport ne fournit pas les extrêmes de prix pratiqués aux enchères ni un classement par âge ou utilisation. D'après notre expérience sur ce marché et les entretiens auprès de certains éleveurs, quelques chevaux peuvent atteindre plus de 100k€ aux enchères.

En France, nous avons analysé les ventes aux enchères Fences (Fences, 2012 et 2013). Ceci est un opérateur renommé dans ce pays pour la réalisation d'enchères de poulains de saut d'obstacles (de 0 à 4 ans) presque exclusivement produits en France. En 2012, les enchères Fences ont résulté dans la vente de 378 poulains à un prix moyen de 11.187€, dont 111 poulains en dessus de la moyenne. Le poulain le plus cher avait 4 ans et a été vendu à 200.000€ montrant que ce marché comporte certains individus de haute valeur financière. En 2013, Fences a vendu 258 poulains à un prix moyen de 13.067€, étant le plus cher vendu à 62.000€. Cette fluctuation des prix d'une année à l'autre est une autre caractéristique du marché des singularités due à une difficulté de maîtrise de la conjugaison entre valeur et prix. Elle peut être le résultat d'un environnement économique défavorable, de la qualité de la production (variation génétique et animaux mis en reproduction) ou à une sélection plus ou moins sévère d'une année à l'autre. Ces variations génèrent une fragilité des producteurs dans ce marché et une difficulté d'analyse de la valeur des chevaux.

Cette analyse des données des enchères pourraient être plus précise et de plus grand intérêt pour le clonage s'il existait des enchères dédiées aux chevaux adultes (de 7 à 12 ans) de plus haute valeur dans le marché (par le fait que leur performance est déjà connue). Mais la majorité de ces chevaux est vendue de propriétaire à propriétaire ou par l'intermédiaire de quelques intermédiaires. Ces données restent secrètes dans la plupart des cas, même s'il n'est pas rare, dans certaines disciplines, la vente de chevaux adultes par quelques millions d'euros. Cependant, l'analyse des données des enchères nous permet d'observer que les différents marchés peuvent supporter différentes échelles de prix et que les prix supérieurs à 100.000€ restent réservés à quelques exemplaires d'une population.

Nous pouvons donc affirmer que le succès du clonage dans un pays dépendra de l'établissement d'un prix de vente cohérent avec le prix des chevaux d'élite. Actuellement, le faible rendement technique du clonage et les efforts requis pour la commercialisation engendrent des coûts de production et des prix de vente élevés. En 2012 les prix du clonage variaient entre 120.000 US\$ et 200.000 €. Tant que cette situation ne change, le clonage reste réservé aux seuls chevaux d'élite, ayant une haute valeur dans le marché et/ou produisant des descendants de haute valeur.

- Le facteur culturel

Le facteur culturel jouera à son tour un rôle sur le succès du clonage dans un pays. En effet, nos interviews nous ont permis d'établir que, dans l'absolu, lorsque la sélection

généétique est relativement récente et/ou la population est ouverte aux nouvelles technologies, le clonage est plus facilement accepté par les professionnels.

En effet, les pays en retard dans la sélection génétique ou ayant démarré le développement des races nationales récemment sont adeptes des biotechnologies en général (Insémination artificielle, transfert embryonnaire, clonage). L'objectif est de produire des animaux de meilleure qualité génétique en grand nombre et rapidement. Exemples de pays dans ce cadre de figure sont l'Argentine, le Brésil.

La population des pays développeurs de haute technologie et où le principe de précaution n'est pas appliqué de manière aussi stricte que dans certains pays européens est aussi inclinée à accepter le clonage comme un outil pour la reproduction des lignées de haute valeur génétique. C'est le cas des EUA. Dans ce pays, les réglementations des studbooks représentent le principal frein à son adoption.

De manière générale, des facteurs religieux peuvent influencer le discours, mais en pratique, même les éleveurs les plus religieux peuvent cloner certains chevaux, si cela leur permet de reproduire leur meilleure génétique. C'est le cas des pays du Moyen Orient.

Les pays où le principe de précaution est respecté de façon stricte sont plus sceptiques quant à l'utilité et aux aspects éthiques du clonage équin. Dans ce stade initial du développement du clonage ces pays adoptent une attitude « d'atteindre pour vérifier la valeur du clonage pour l'élevage » tout en décourageant ces éleveurs d'adopter la technologie. De plus, l'historique culturel de l'Etat développeur contribue à l'opposition au clonage puisque cette technologie est la première en reproduction équine majoritairement développée grâce à des projets commerciaux. C'est le cas de l'Allemagne ou encore la France.

- L'insertion de l'acteur dans le marché

La connaissance du marché par l'acteur du clonage est un autre facteur déterminant pour le développement du clonage. Le marché du cheval, comme un vrai marché des singularités, se développe principalement au tour de réseaux. La faible infiltration des médias de masse dans ce marché fait que les réseaux personnels sont actuellement les meilleures méthodes pour l'insertion d'un acteur du clonage sur un marché. De plus, l'opacité de ce marché implique une difficulté d'identification et d'accès aux clients potentiels par les méthodes traditionnelles de formation de réseaux.

Conclusion de la première partie :

Suite à cette première partie de l'analyse, nous proposons que, de manière générale, le développement du marché du clonage dans un pays dépend d'une combinaison complexe, comme nous le montre la Figure 1. Nous avons cherché à caractériser trois situations type dans une fourchette allant de la meilleure combinaison possible (succès), jusqu'à la pire des combinaisons, la défaite. Il existe une multitude de combinaisons possibles en plus de

ces trois types définis. Cependant cette figure établit les principaux éléments permettant d'analyser qualitativement la situation d'un pays et son potentiel au développement du clonage.

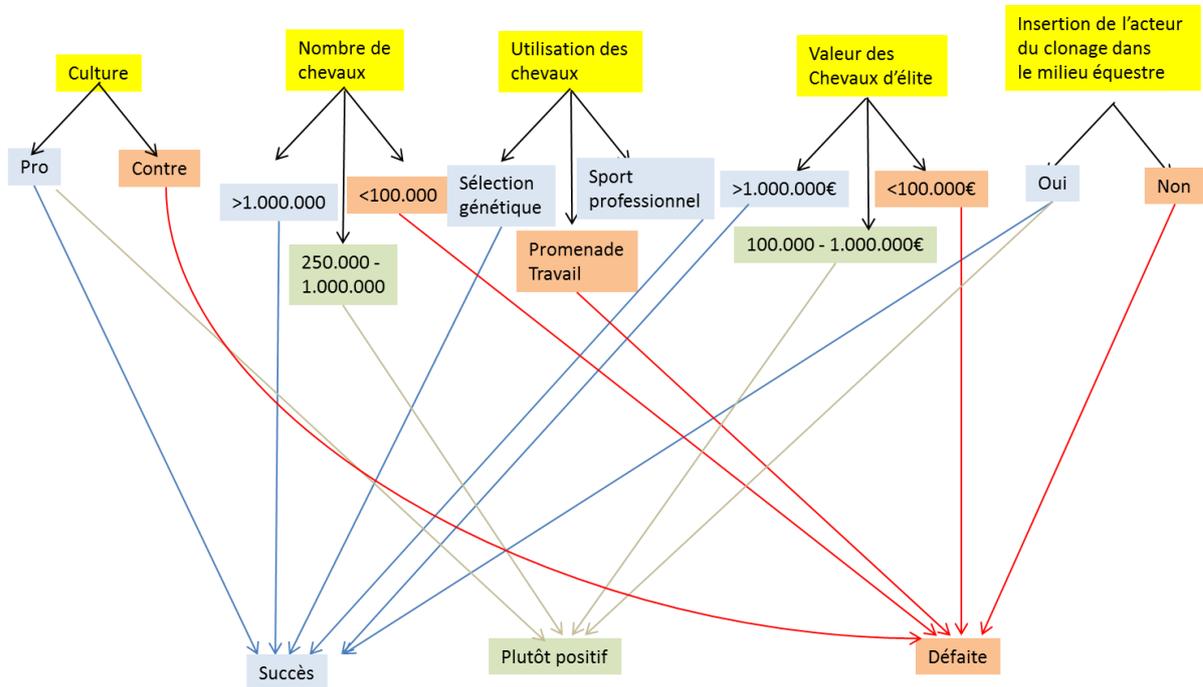


Figure I : Paramètres capables d'influencer le développement du marché du clonage dans un pays ou une région.

Note : Les combinaisons de couleur bleue indiquent un bon potentiel de succès pour le développement du clonage dans un pays, les combinaisons en vert indiquent un pronostic plutôt positif et les combinaisons de couleur marron indiquent plutôt un pronostic de défaite car il existe plusieurs paramètres défavorables au développement du clonage.

Cette proposition d'analyse empirique est basée sur la situation actuelle où le prix du clonage est élevé. Une évolution technique permettant une amélioration du rendement technique et, par conséquent, la réduction des coûts de production, pourrait faire évoluer certains de ces paramètres. En effet, si le prix du clonage baissait, il serait envisageable qu'une portion plus large de chevaux dits d'élite soit concernée par la technologie. L'enjeu serait de définir, d'un point de vue génétique, à quel point un élargissement de l'utilisation serait utile (ou non nuisible) au marché du cheval ou, éventuellement, définir d'autres paramètres capables d'augmenter l'intérêt du clonage pour le marché.

Deuxième partie :

Suite à l'analyse générale réalisée en première partie, nous considérons qu'actuellement seulement les chevaux de l'élite génétique sont des candidats réels au clonage et nous proposons une analyse de l'effectif de chevaux des principales disciplines sportives au niveau mondial afin de comprendre l'importance potentielle de ces dernières pour le développement du clonage.

Comme expliqué dans la méthodologie, la performance propre sera le seul paramètre utilisé pour l'identification des candidats potentiels au clonage. Seuls les 0,3% meilleurs performers, tous sexes confondus, seront sélectionnés.

Pour ce faire nous avons proposé une évaluation des principales populations de chevaux d'intérêt économique pendant la saison 2011-2012. Il s'agit d'une collecte des résultats sportifs (grâce aux classements de la FEI et de la FIP) et du classement des studbooks correspondants (dans le cas des disciplines de la FEI) grâce au classement de studbooks de sport de la WBFSH.

- Le potentiel des différentes disciplines équestres

La FEI (Fédération équestre internationale) et la WBFSH (World Breeders Fédération for Sport Horses) sont deux entités internationales. La première gouverne et contrôle les disciplines équestres reconnues par le comité olympique international. La deuxième est une fédération des studbooks produisant des chevaux d'intérêt pour le sport olympique. Traditionnellement, les disciplines concernées par ces deux entités sont le jumping, le dressage, le concours complet et l'endurance. D'autres disciplines ont été incluses dans la FEI récemment. C'est le cas du dressage western (« reining »), du voltige et de l'attelage. Dans ce travail nous analyserons seulement les disciplines traditionnellement gouvernées par ces entités. Le voltige et l'attelage présentent un intérêt économique trop restreint pour le sport équestre et le « reining » fait partie des sports western réservés aux chevaux de race Quarter Horse dont le studbook interdit le clonage comme outil de reproduction.

Il est important de souligner certaines difficultés dans la réalisation de ce travail de manière précise. Tout d'abord, la mondialisation de ces sports rend impossible de déterminer le lieu de base exact d'un cheval mais elles permettent d'identifier les unités fédérales les plus représentées dans chaque sport. Ces données sont importantes parce que, même si le cheval n'est pas dans un pays, le fait de le représenter, il exerce une influence et peut stimuler le sport local. Par exemple, un cavalier d'une nationalité peut pratiquer le sport dans un pays tiers tout en représentant son pays d'origine dans les compétitions. Par ailleurs, un cheval originaire d'un certain pays ou dont le propriétaire habite dans ce pays (ou un autre) peut participer aux compétitions sous la selle d'un cavalier d'un autre pays.

Ensuite, nous remarquons différentes politiques d'encouragement d'inscription des athlètes à la FEI selon les pays. Dans certains pays, tous les athlètes participant à des compétitions officielles sont inscrits à la FEI, dans d'autres la majorité des athlètes inscrits à la FEI sont

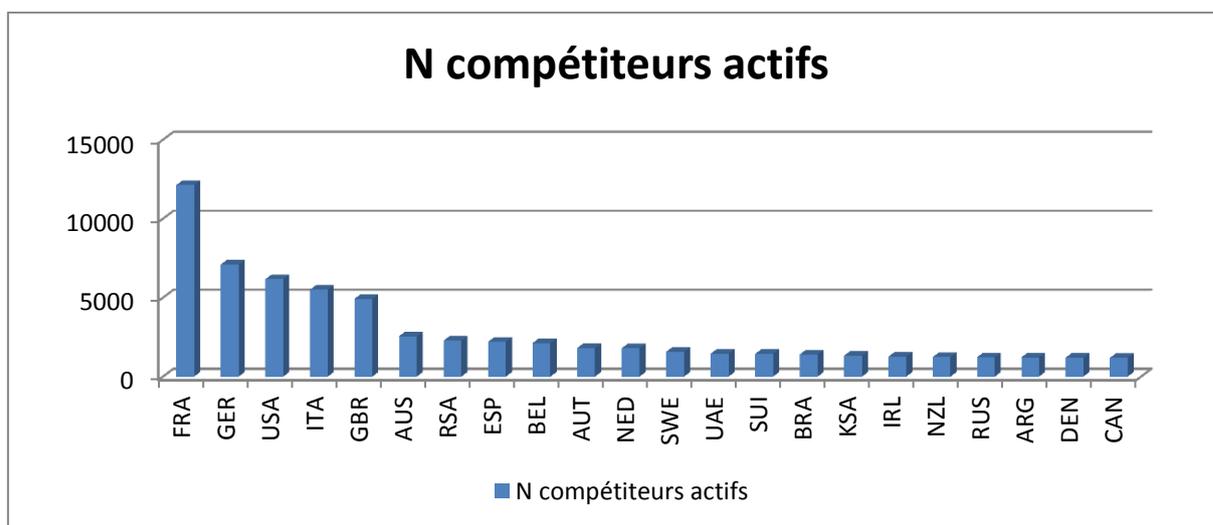
ceux qui participent aux compétitions de plus haut niveau national et éventuellement aux compétitions internationales. La statistique du nombre d'inscriptions / pays n'est donc pas une donnée exacte sur le nombre total de chevaux/cavaliers. Cependant, elle nous permet de connaître le potentiel d'athlètes d'un sport équestre et d'identifier les foyers potentiels de candidats au clonage.

Par ailleurs, lorsque l'on s'intéresse aux studbooks producteurs de chevaux de ces mêmes sports au niveau mondial dont le classement est édité par la WBFSH, nous rencontrons aussi des problèmes dans la construction du classement. On peut noter un système imparfait et non standardisé d'identification des chevaux dans les différents studbooks, le caractère non obligatoire d'existence de registres de chevaux dans certains pays ou encore la forte influence des meilleurs individus sur le score global d'un studbook, contribuent à l'imperfection de ces classements.

Malgré tous ces obstacles, les informations fournies par ces institutions nous permettent de tracer les grandes lignes du développement du sport équestre professionnel tant au niveau de la compétition (identification des meilleurs individus) qu'au niveau de l'élevage (identification des studbooks les mieux classés, soit par un grand nombre de chevaux bien classés soit par la présence d'individus exceptionnels). Cela permet de d'estimer le marché potentiel du clonage sans pour autant prétendre à une précision statistique.

Nous commencerons cette analyse par une vue générale des effectifs d'athlètes de chaque pays inscrits à la FEI.

Graphique I : Nombre total de cavaliers inscrits à la FEI par pays.



Source : FEI (2012)

Le Graphique I montre la distribution des cavaliers inscrits à la FEI dans les différents pays. Nous observons un premier groupe composé par la France, l'Allemagne, les EUA, l'Italie et la Grande Bretagne, comptant individuellement plus de 4000 cavaliers inscrits à

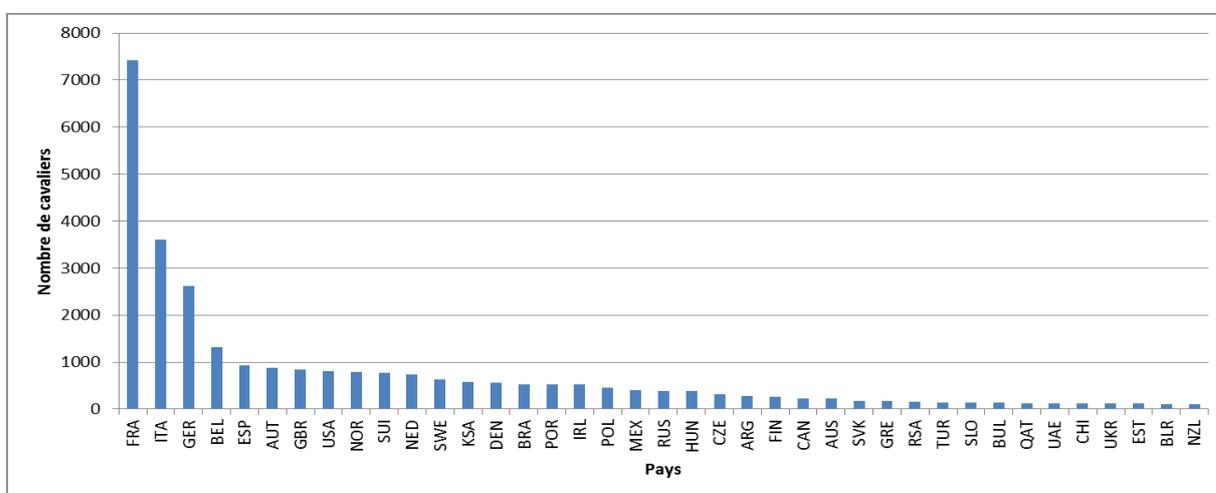
la FEI. Un deuxième groupe, comptant entre 1500 et 2600 cavaliers est composé par l’Australie, l’Afrique du Sud, l’Espagne, la Belgique, l’Autriche, les Pays Bas et la Suède. Finalement, nous retrouvons un troisième groupe où les comptent avec moins de 1500 cavaliers.

Ce premier graphique nous montre une forte participation des pays européens et des USA aux compétitions officielles de la FEI en général. Par la suite nous analyserons la situation actuelle des quatre principales disciplines de la FEI : le jumping, le dressage, le concours complet et l’endurance.

LE JUMPING

Le jumping est le sport équestre officiel de plus grande importance dans le monde, comptant avec le plus grand nombre d’adeptes, que ce soit au niveau amateur ou professionnel. Nous nous intéressons maintenant d’identifier la part des cavaliers participant aux compétitions dans cette discipline et, par la suite, analyser la participation de chaque unité fédérale à la catégorie de plus haut niveau. Nous accepterons que les chevaux participant au plus haut niveau soient les meilleurs individus d’une discipline et par conséquent, les candidats potentiels au clonage.

Graphique II : Nombre de d’athlètes de jumping inscrits à la FEI par pays.



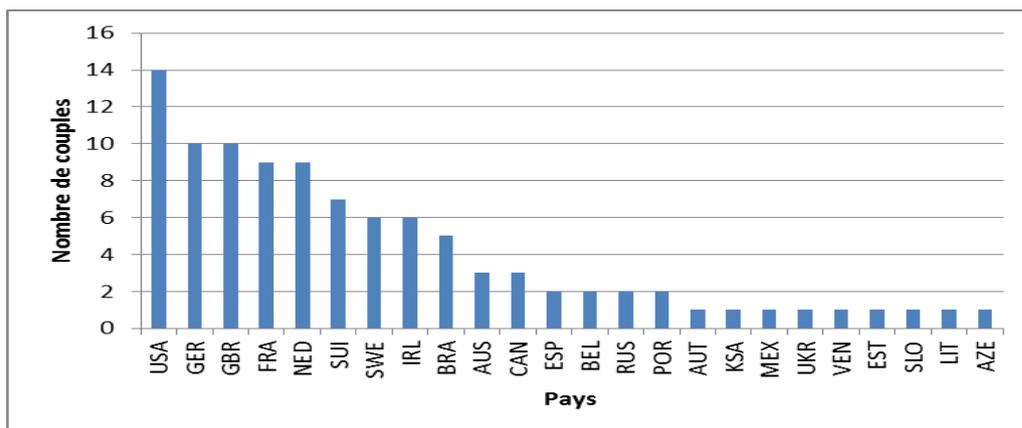
Nous remarquons une forte participation des pays européens et des EUA à cette discipline. La France, l’Italie, l’Allemagne et la Belgique comptent le plus grand nombre de concurrents, suivis par l’Espagne, l’Autriche, la Grande Bretagne, les EUA, la Norvège la Suisse et les Pays Bas.

Afin d’identifier les seuls chevaux qui nous intéressent, nous avons accepté le nombre de couples (cheval/cavalier) inscrits à la discipline de jumping de la FEI comme représentatif de la population connue de chevaux qui participent à cette discipline. Par la suite nous avons calculés ce qui représente 0,3% de cette population. Enfin, nous nous sommes adressés au ranking de la World Cup, l’évènement annuel le plus important au niveau

mondial, afin d'identifier les individus compris dans cette population sélectionnée. Suite à leur identification nous pouvons réaliser des analyses plus précises sur les individus.

La population totale identifiée a été de 31.239 couples (donc, un nombre similaire de chevaux), 0,3% de cette population représente les 100 meilleurs classés. Nous reportons dans le Graphique III les pays les mieux représentés par cette population d'élite.

Graphique III : Distribution des 100 meilleurs couples cheval-cavalier de jumping (sélectionnés à partir du ranking de la World Cup).



Source : FEI (2012)

Nous remarquons la forte présence des EUA et des pays européens tels que l'Allemagne, la Grande Bretagne, la France et les Pays Bas. Ces pays comptent à eux seuls la moitié des 100 meilleures places dans le « ranking ». Au deuxième niveau d'importance, nous retrouvons la Suisse, la Suède, l'Irlande, le Brésil, l'Australie et le Canada.

Comme prévu, il existe une certaine discordance entre le nombre total d'athlètes par unité fédérale (Graphique II) et le nombre de couples placés dans le TOP 100 de cette discipline (Graphique III) montrant que ce classement est plutôt le résultat d'une combinaison complexe entre l'élevage de chevaux pour le sport, le système de compétitions menant à la professionnalisation et à la compétition de haut niveau, et l'importation des meilleurs individus d'une région productrice vers une région exploratrice (cas des EUA, acheteurs traditionnels de bons chevaux européens mais traditionnellement peu engagés dans cet élevage).

Pour apporter une information complémentaire pour la compréhension de cette situation, nous analyserons le classement de studbooks de la WBFSH (Tableau II). Malgré les défauts de construction pointés auparavant, nous pouvons dresser un portrait approximatif de la situation de l'élevage de chevaux destinés au jumping dans le monde.

Tableau II : Classement WBFSH des studbooks producteurs de chevaux de jumping.

Studbook	Pays	Position	Points
KWPN	NED	1	10370
Holsteiner	GER	2	7717
Selle Français	FRA	3	7011
BWP	BEL	4	6751
Hannovrien	GER	5	4844
AES	GBR	6	4634
Westfallian	GBR	7	4193
Oldenburger	GER	8	4172
ISH	IRL	9	4060
Zangersheide	BEL	10	4000
SBS	BEL	11	3351
BAVAR	GER	12	2930
Brandenburg	GER	13	2058
SWB	SWE	14	1811
BAD-WU	GER	15	1706
DWB	DEN	16	1297
NRPS	NED	17	1297
Swiss Warmblood	SUI	18	1060
MECKL	GER	19	1053
RHEIN	GER	20	936
Trakehner	GER	21	920
SCSL	LUX	22	855
UNIRE	ITA	23	735
AAFE	ARG	24	615
La Silla	MEX	25	525
HSHBA	HUN	26	505
PHBA	POL	27	475
CDE	ESP	28	418
FWB	FIN	29	395
CCDM	MEX	30	376
SATHU	GER	31	355
CWHBA	CAN	32	345
CSHA	CAN	33	300
SACHS	GER	34	283
Oldenbourg international	USA	35	208
Anglo-arabe	FRA	36	165
SSH	SCO	37	150
ZWEIB	GER	38	78
ABCCH	BRA	39	70

SAWHS	RSA	40	68
SSW	SLO	41	65
ESHB	EST	42	52
ZVDP	GER	43	45
NWB	NOR	44	40
American Holsteiner	USA	45	35
AWHA	AUS	46	27
VNP	AUT	47	20
THU	GER	48	10
HolsteinerAustralia	AUS	49	2

Source : WBFSH (2011)

Les races développées en Allemagne, au Pays Bas, en France et en Belgique sont les mieux placées parmi les producteurs de chevaux de sport. En effet, ces pays possèdent un important système d'élevage pour ce sport. Il existe tout de même un biais sur cette analyse parce que le marché international de matériel génétique a généré deux nouveaux cas de figure : la naissance dans des pays tiers de poulains d'une race initialement développée dans un autre pays (par exemple, des poulains KWPN nés en Nouvelle Zélande) ou encore l'incorporation d'une génétique originellement développée dans un pays dans le studbook d'un pays tiers. Cependant, nous pouvons encore accepter que la majorité des poulains enregistrés sous un studbook soit née dans le pays de développement de la race. Donc, nous pouvons accepter que le classement WBFSH permette d'identifier les principaux foyers de production de chevaux de sport.

Par ailleurs, la confrontation de ce classement avec celui de la FEI, permet de confirmer l'existence d'un pôle producteur et de pays importateurs de bons chevaux pour le sport de haut niveau. C'est le cas des EUA et de la Grande Bretagne, bien classés dans le « ranking » de sport (FEI) mais possédant un élevage de chevaux de sport moins connu au niveau mondial. Ces pays sont typiquement acheteurs de meilleurs exemplaires produits à l'étranger, surtout en Europe.

Les pays tels que le Brésil, l'Australie et le Canada, moyennement classés dans le « ranking de la FEI, reproduisent à moindre échelle le modèle américain et britannique d'importation de bons animaux pour le sport et présentent un système d'élevage débutant.

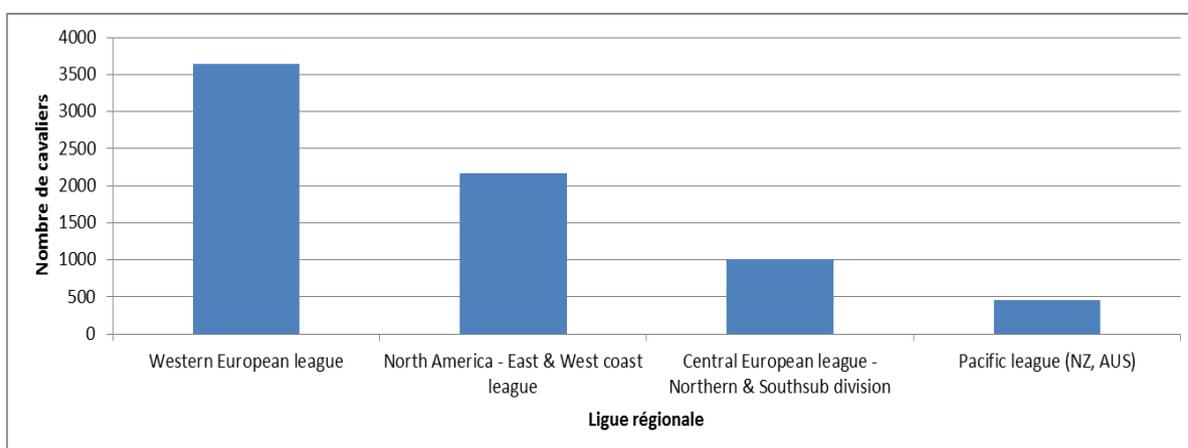
Cette analyse nous permet d'affirmer que l'axe Europe – EUA est le plus important pour le jumping de haut niveau. Il existe une forte concentration de l'élevage de haut niveau en Europe, surtout en Allemagne, France, Pays Bas et Belgique. Quelques pays sont importateurs d'animaux malgré un certain développement local de l'élevage. Les autres pays sont de moindre importance pour ce sport tant au niveau sportif qu'au niveau de l'élevage. Le nombre de candidats potentiels au clonage dans cette discipline selon le

paramètre de performance propre est de 100 chevaux, incluant mâles entiers, hongres et femelles.

LE DRESSAGE

Le dressage est le deuxième sport le plus important de la FEI. Le nombre d'adeptes est moins élevé et moins bien distribué dans le monde que pour le jumping. Le Graphique IV présente une vue générale de ce sport au niveau mondial par région (représentées par des « ligues » à la FEI).

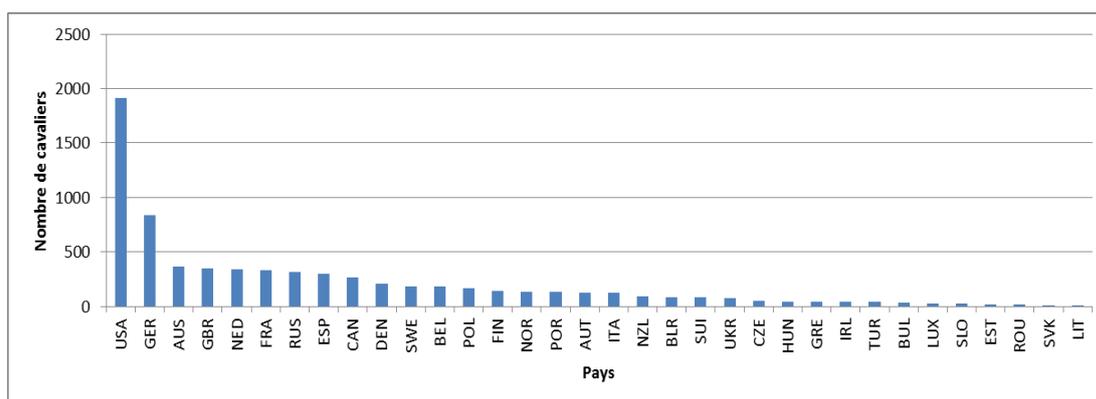
Graphique IV : Nombre de cavaliers inscrits à la FEI et participant aux compétitions officielles de dressage par région (nombre d'adeptes moins important par pays que dans le jumping).



L'Europe occidentale et les EUA possèdent le plus grand nombre d'athlètes inscrits dans cette discipline. Nous observons aussi une participation importante des pays de l'Europe Centrale, ce qui n'était pas le cas pour le jumping.

Par la suite nous analyserons la distribution des adeptes dans le monde.

Graphique V : Distribution des adeptes du dressage par pays.

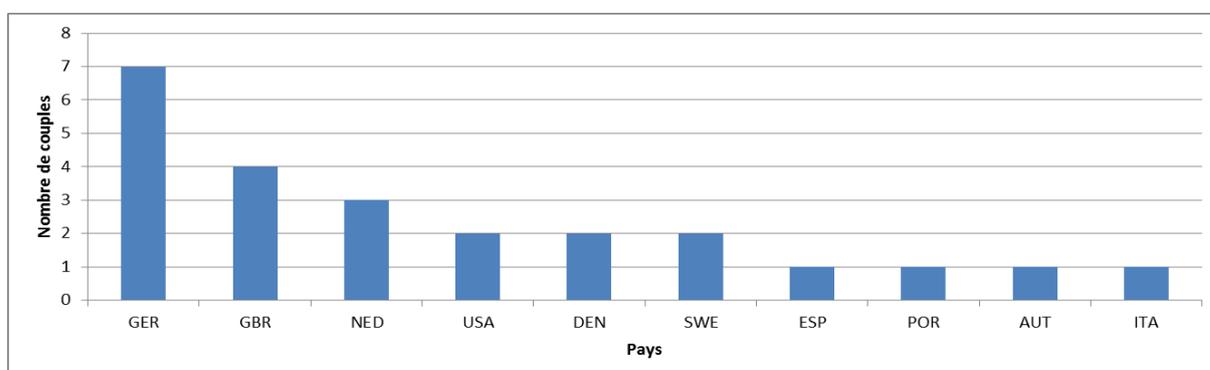


Source : FEI (2012)

Les EUA recensent le plus grand nombre de couples. L'Allemagne est le deuxième pays avec presque 1000 couples de dressage. Des pays tels que l'Australie, les Pays Bas, la France, la Russie, l'Espagne, le Canada ou encore le Danemark ont entre 200 et 400 cavaliers de dressage. Le faible effectif d'athlètes dans la plus part des pays rend difficile le développement de ce sport de façon professionnelle au niveau national puisque la professionnalisation vient de pair avec la participation fréquente et intensive à des concours professionnels. Le dressage professionnel se développe donc principalement au niveau régional plutôt qu'au niveau national. Dans ce sens, les caractéristiques géographiques des pays Européens sont un atout pour son développement en Europe occidentale.

Le TOP 24 du Dressage (0,3% meilleurs performers) peut être analysé à partir du Graphique VI.

Graphique VI : Distribution des couples cheval/cavalier parmi les 24 meilleurs du dressage international (World Cup de dressage).



Source : FEI (2012)

Parmi les 24 mieux classés, nous retrouvons surtout des couples d'Europe Occidentale, favorisés par un bon système de compétitions au niveau continental, amenant à un plus haut niveau de professionnalisme. Par ailleurs, des pays traditionnellement développeurs du dressage de haut niveau (hautes écoles de dressage) tels que l'Autriche, l'Espagne ou le Portugal trouvent aussi leur place dans ce classement, à l'exception de la France.

Les grandes surfaces et un certain isolement géographique des EUA et de l'Australie défavorisent leur classement au niveau mondial. En effet, ces deux pays présentent un nombre important d'athlètes en dressage mais sont peu représentés au meilleur niveau international. Les EUA, pays avec le plus grand nombre de cavaliers de dressage, ne se place qu'en 4^{ème} place du Top 24 du dressage. L'Australie, elle, malgré la troisième place en nombre de cavaliers de dressage, n'a aucun couple classé parmi les 24 meilleurs de la FEI.

L'analyse de l'élevage nous permet d'identifier les studbooks des Pays Bas, de l'Allemagne, du Danemark, de la Suède, du Portugal et de l'Espagne comme les principaux producteurs de chevaux de dressage au plus haut niveau. L'élevage pour le dressage est donc fortement centralisé en Europe Occidentale, à l'exception d'un studbook polonais, un canadien et un australien classés 12^{ème}, 26^{ème} et 30^{ème} respectivement.

Tableau III : « Ranking » WBFSH des studbooks producteurs de chevaux de dressage.

Studbook	Pays	Position	Points
KWPN	NED	1	14249
Hannovrien	GER	2	11390
DWB	DEN	3	11319
Oldenbourg	GER	4	10399
Westfallian	GER	5	10110
RHEIN	GER	6	9171
SWB	SWE	7	8590
Lusitanian	POR	8	7857
PRE	ESP	9	7231
Oldenbourg	GER	10	7024
BWP	BEL	11	7009
PHBA	POL	12	6549
BAD-WU	GER	13	6283
Trakehner	GER	14	6162
BAVAR	GER	15	3217
CDE	ESP	16	2807
Brandenbourg	GER	17	2604
SwissWarmblood	SUI	18	2551
UNIRE	ITA	19	2485
FWB	FIN	20	2405

SATHU	GER	21	2279
Selle français	FRA	22	1565
ZWEIB	GER	23	1348
Holsteiner	GER	24	1307
SACHS	GER	25	1232
CWHBA	CAN	26	875
SA	GER	27	765
TrakehnerDenmark	DEN	28	703
NRPS	NED	29	419
AWHA	AUS	30	252

Source : WBFSH (2011)

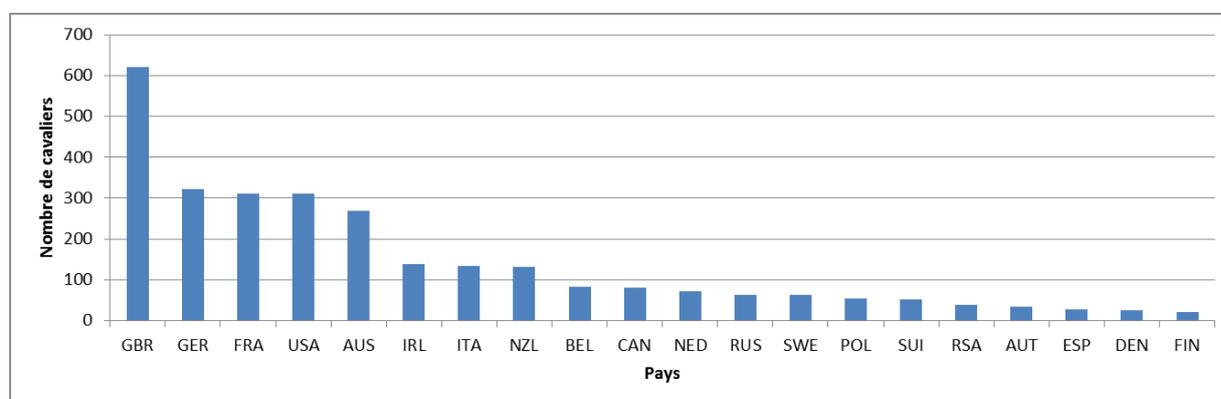
En conclusion, le faible nombre d'adeptes demande une forte interaction régionale pour le développement du dressage professionnel. Les pays ayant une plus grande facilité d'interactions, comme les pays d'Europe, sont plus à même de développer ce sport au plus haut niveau. Les principaux producteurs sont aussi les meilleurs classés parmi les 24 meilleurs couples. Seuls les EUA et la Grande Bretagne font exception à cette règle grâce à l'achat de bons chevaux produits à l'étranger.

LE CONCOURS COMPLET

Malgré la présence de ce sport dans plusieurs pays, nous constatons que le concours complet de haut niveau est un sport à fort caractère anglo-saxon (Graphique VIII).

Du fait du petit nombre de cavaliers dans cette discipline, nous avons sélectionné seulement les pays avec plus de 20 compétiteurs pour notre analyse (Graphique VII). La Grande Bretagne est le pays avec le plus grand nombre d'athlètes. L'Allemagne, la France, les EUA et l'Australie suivent avec un peu plus de 300 cavaliers.

Graphique VII : Distribution des cavaliers de Concours complet par pays.

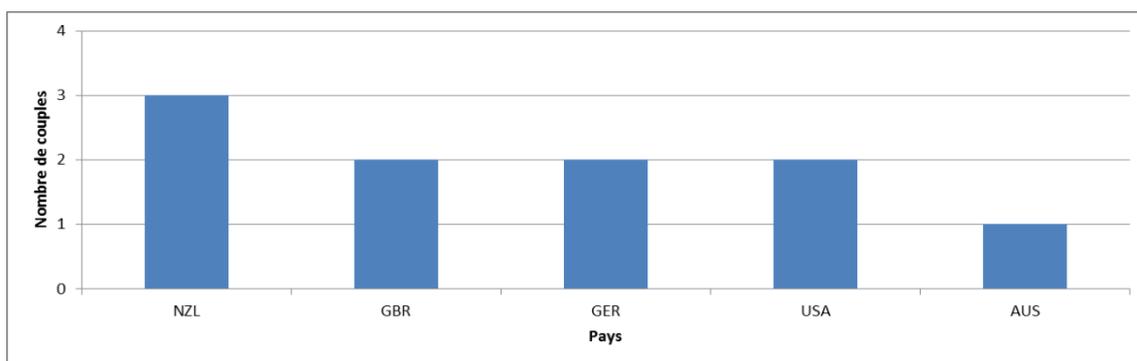


Source : FEI (2012)

Le faible nombre de cavaliers par pays et la fragilité du système de compétitions de concours complet empêchent l'analyse consistante de ce sport au niveau continental ou international. Son développement se fait principalement au niveau national, avec quelques épreuves de niveau international organisées tout au long de l'année et formant ce qui s'appelle le « ranking » HSBC (nom du tournoi international annuel de cette discipline).

Les 11 meilleurs couples de cette discipline (0,3% des coureurs du championnat HSBC) sont montrés dans le graphique VIII.

Graphique VIII: Distribution des couples classés parmi les 11 meilleurs du concours complet (ranking HSBC - FEI, 2012).



Nous observons que cette discipline est plus développée dans les pays anglo-saxons. La Nouvelle Zélande et l'Australie se placent parmi les meilleurs au plus haut niveau.

Par la suite nous nous sommes intéressés à l'élevage de chevaux pour cette discipline. Comme vu antérieurement, les pays anglo-saxons ne sont pas traditionnellement éleveurs de chevaux de selle. La situation est similaire pour le concours complet (Tableau IV). Seul un studbook anglo-saxon, l'irlandais ISH a atteint récemment le haut du classement des studbooks pour cette discipline.

Tableau IV : « Ranking » WBFSH des studbooks produisant des chevaux pour la discipline de Concours Complet.

Studbook	Pays	Position	Points
Selle français	FRA	1	1312
Hannovrien	GER	2	1286
ISH	IRL	3	1090
Holsteiner	GER	4	911
KWPN	NED	5	818
SWB	SWE	6	802
Trakehner	GER	7	743
SHBGB	GBR	8	738
BAD-WU	GER	9	638
SATHU	GER	10	600
CDE	ESP	11	590
Oldenbourger	GER	12	565
Anglo-arabe	FRA	13	528
Westfallian	GER	14	519
PHBA	POL	15	476
BWP	BEL	16	440
ZVDP	GER	17	376
BAVAR	GER	18	338
RHEIN	GER	19	318
MECKL	GER	20	316
SBS	BEL	21	312
Brandenbourg	GER	22	312
Swisswarmblood	SUI	23	270
UNIRE	ITA	24	238
HSHBA	HUN	25	218
CSHA	CAN	26	200
Zangersheide	BEL	27	198
AES	GBR	28	189
ABCCH	BRA	29	186
DWB	DEN	30	175
SSW	SLO	31	108
KISB/GIDR	HUN	32	63
NRPS	NED	33	62
SACHS	GER	34	56
FWB	FIN	35	47
SA	GER	36	41
Oldenbourger USA	USA	37	39
SAWHS	RSA	38	38

AWO	AUT	39	23
Lusitanian	POR	40	22
ZWEIB	GER	40	22
CWHBA	CAN	42	18
AWS	USA	43	10
HESS	GER	44	8
NWB	NOR	45	5
SSH	SCO	46	4
AWR	USA	47	3
ESHB	EST	48	3
AA France	FRA	49	2
KISBERI	HUN	50	1
Oldenburger International		50	1
SCSL	LUX	50	1
TAF	DEN	50	1
THU	GER	50	1

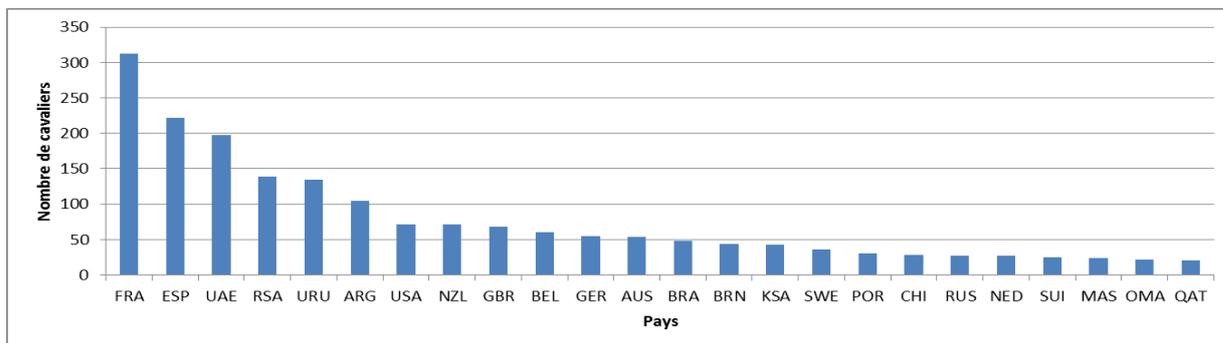
Source: Ranking WBFSH (2011)

Ces données montrent que les pays anglo-saxons sont les plus grands adeptes du concours complet de haut niveau. L'élevage des chevaux pour ce sport est récent et réduit. Ces chevaux doivent être courageux, calmes, rapides, avoir une bonne aptitude au saut d'obstacle et pouvoir réaliser des épreuves de dressage. Par conséquent, les studbooks traditionnellement actifs sur le jumping et le dressage restent les principaux producteurs de chevaux pour ce sport.

ENDURANCE

L'endurance est l'une des disciplines plus récentes de la FEI. Il est en pleine expansion et la sélection génétique n'est pas encore à un niveau professionnel. Les chevaux utilisés sont majoritairement de race Pur-Sang Arabe. Il n'existe aucun « ranking » de studbooks spécialisés dans l'endurance. Par conséquent, notre analyse se restreindra au classement sportif (FEI).

Graphique IX : Nombre de cavaliers inscrits à la FEI et participant aux compétitions officielles d'endurance selon les pays.

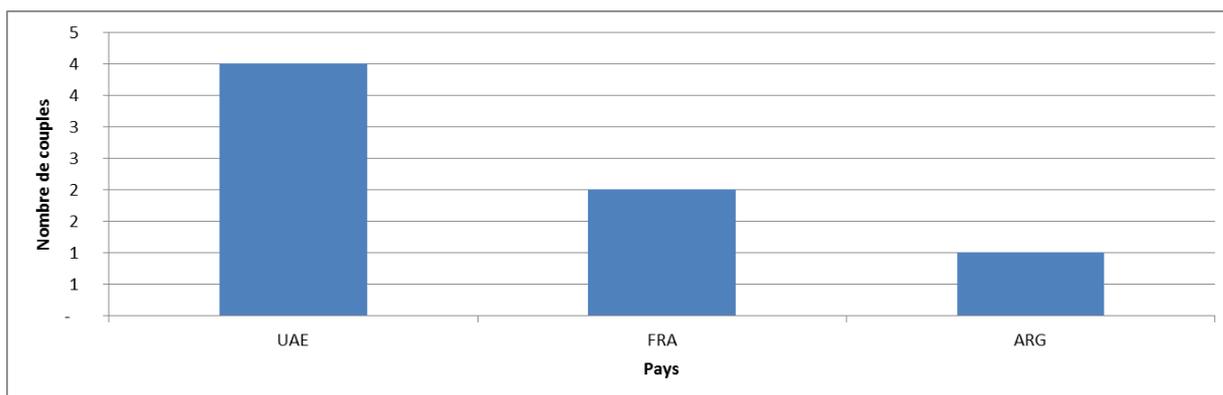


Cette nouvelle discipline équestre présente un modèle de développement différent. Il n'est pas centralisé dans l'Axe Europe-EUA. La discipline se développe plus au moins équitablement dans les différents continents et compte avec une forte présence et influence des pays arabes, passionnés de cette discipline. Comme c'est une discipline récente, le nombre de cavaliers est encore réduit.

Cependant, nos discussions avec les éleveurs et cavaliers de cette discipline nous ont fait remarquer que l'endurance a un fort potentiel de développement puisqu'elle représente la seule discipline équestre réalisable en famille.

L'endurance compte 2.438 athlètes inscrits à la FEI. L'élite de ce sport est représentée par 8 couples participants à la Meydan Cup, principal tournoi d'endurance de la FEI.

Graphique X : Distribution des 8 meilleurs couples d'endurance au niveau international (Meydan Cup).



Ce classement de l'endurance à la FEI représente la réalité de ce sport telle que nous avons pu comprendre à partir des interviews d'acteurs. Les UAE sont principalement acheteurs des meilleurs chevaux afin de se maintenir parmi les meilleurs classés. La France a un système d'élevage et de compétition bien développé permettant de maintenir sa présence

dans les meilleurs classements et de vendre les meilleurs exemplaires aux pays arabes, surtout les UAE, le Qatar, le Bahreïn et l’Oman et l’Arabie Saoudite. L’Espagne occupe une position similaire à celle de la France : production de bons chevaux et vente surtout aux pays arabes. Elle a aussi un bon système d’élevage et de bons entraîneurs, souvent employés par les UAE pour entraîner leur équipe. Malheureusement, compte tenu du nombre réduit d’athlètes en Endurance, notre sélection au niveau de 0,3% des meilleurs couples ne nous a pas permis de retrouver un couple Espagnol dans le groupe des meilleurs classés. L’élevage de chevaux d’endurance est fortement financé par les UAE en Argentine et en Uruguay.

Pour la première fois, nous observons un changement de l’axe de développement du sport équestre. Le développement de l’endurance est surtout basé sur le besoin des UAE et autres pays arabes en matière de chevaux d’endurance. Les régions productrices sont principalement la France, l’Espagne, l’Argentine et l’Uruguay et les régions « consommatrices » sont les pays arabes et la Belgique.

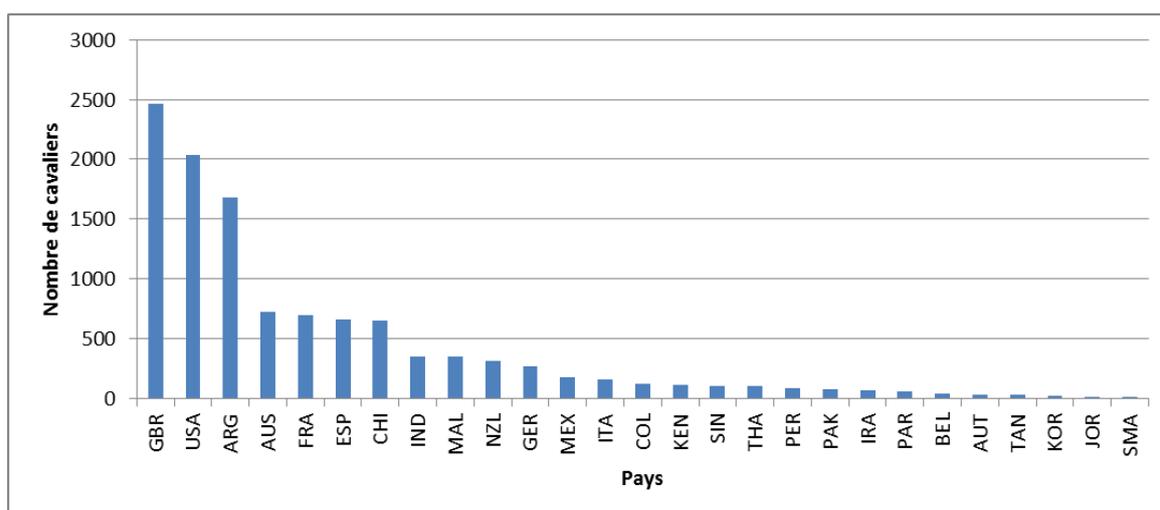
LE POLO

Le Polo : une discipline non officielle développée au niveau mondial.

Le Polo est un sport développé au niveau mondial sans faire partie des sports officiels de la FEI. La FIP (Federation of International Polo) est l’entité qui contrôle cette discipline au niveau international.

A partir de l’analyse des données de la FIP nous avons pu identifier les pays ayant des joueurs de Polo (Graphique XI).

Graphique XI : Les pays ayant des joueurs de Polo inscrits à la FIP.



Nous avons recensé 11.406 joueurs de Polo inscrits à la FIP. Ce sport a donc plus d'athlètes affiliés que le dressage, l'endurance ou le concours complet. Il est nécessaire de souligner que pour participer à un match, une équipe doit être capable de fournir 4 à 5 chevaux à chacun de ses joueurs, ce qui revient à dire que chaque équipe de 4 joueurs doit posséder au minimum 16 chevaux.

La Grande Bretagne, les EUA et l'Argentine sont les principaux pays pour ce sport. Ils sont suivis par l'Australie, la France, l'Espagne et le Chili, avec plus de 500 joueurs au niveau professionnel. Le polo s'est récemment développé dans des pays tels que l'Inde, la Malaisie ou encore le Singapour.

Le polo est généralement pratiqué avec des Poneys de Polo, une race développée en Argentine depuis un siècle. Nous n'avons pas de chiffres officiels sur les prix de ces chevaux mais ils peuvent être très variables. M. Noel, rédacteur en chef du magazine Polo y Polistas, avait déclaré au journal Le Monde que le prix moyen d'un poney de Polo est de 100 mille euros (15 mille euros pour les chevaux moins chers) (Luna, 2011).

Afin de mieux comprendre la participation de différents pays à l'élite de ce sport nous avons construit, à l'aide des données de la FIP, le Tableau V, réunissant tous les pays qui possèdent des joueurs professionnels, c'est-à-dire ayant au minimum un handicap 5.

Tableau V : Nombre de joueurs ayant un handicap minimum égal à 5 par pays.

Pays	Handicap 5	Handicap 6	Handicap 7	Handicap 8	Handicap 9	Handicap 10	Total
Argentine	105	82	46	22	9	12	276
Angleterre	29	29	25	12	10	3	108
USA	21	21	11	7	10	5	75
Espagne	19	18	18	6	2	3	66
France	18	12	12	2	2	1	47
Australie	6	10	10	1	0	0	27
NZL	5	10	1	1	0	0	17
Chili	7	2	1	1	0	0	11
Italie	4	1	1	0	0	0	6
Pérou	4	0	0	0	0	0	4
Thaïlande	2	1	0	1	0	0	4
Inde	2	1	0	0	0	0	3
Colombie	2	0	0	0	0	0	2
Belgique	0	0	1	0	0	0	1
Allemagne	1	0	0	0	0	0	1
Malaisie	1	0	0	0	0	0	1
Mexique	1	0	0	0	0	0	1

L'Argentine et l'Angleterre sont les deux pays comptant le plus de joueurs de Polo de haut niveau, suivis de près par les EUA, l'Espagne et la France. L'Argentine est le pays qui possède le plus de joueurs au plus haut niveau (handicap 10), montrant l'importance de ce pays pour ce sport.

Le pays possède une organisation exceptionnelle pour le polo comprenant un système d'élevage très puissant. L'Argentine est à l'origine de la quasi-totalité des chevaux utilisés en Polo. Son élevage jouit d'une position de monopole sur ce sport à l'échelle mondiale. Par conséquent, les éleveurs argentins sont de grands consommateurs des biotechnologies de la reproduction afin d'accélérer non seulement l'amélioration génétique mais aussi la production d'animaux pour le marché mondial.

En prenant en compte le nombre de joueurs à Handicap 10 dans le monde (plus haut niveau), le fait que pour chaque joueur au moins 4 chevaux doivent être préparés pour assurer la qualité du jeu, que les juments sont préférées aux mâles dans ce sport et que la sélection est appuyée sur la descendance des femelles, nous jugeons que ce sport représente un marché potentiel pour le clonage comptant entre 25 et 100 chevaux (athlètes et reproducteurs).

Un autre atout de ce sport pour le clonage est le fait que l'élevage se développe quasi exclusivement en Argentine. Le pays serait le seul à réunir un marché potentiel conséquent et une culture plutôt demandeuse de biotechnologies.

Discussion

Lorsque l'on analyse les sports officiels de la FEI, les trois sports les plus importants sont le Jumping, le Dressage et le Concours Complet. L'Endurance y a été récemment incluse.

Le sport le plus répandu est le jumping avec une large majorité des athlètes affiliés en activité. L'axe production – utilisation de chevaux est surtout basé sur une production en Europe et une utilisation en Europe et aux EUA.

Derrière le jumping nous retrouvons le Dressage. Il compte moins d'athlètes et un développement majoritairement européen dans le haut niveau. Les pays de l'Europe centrale et les pays traditionnellement liés à l'équitation classique figurent aussi parmi les mieux représentés dans cette discipline.

Le concours complet dont le nombre de chevaux et de compétitions officielles est très faible présente un marché restreint et fortement orienté vers les pays anglo-saxons, notamment l'Australie et la Nouvelle Zélande.

Finalement, l'inclusion récente de l'endurance dans le cadre de la FEI représente un nouveau pas vers la professionnalisation de ce sport. L'axe de développement du haut niveau est déplacé par rapport aux sports traditionnels. Les producteurs sont des pays isolés en Europe (France et Espagne) et en Amérique du Sud (Argentine et Uruguay) et l'axe consommateur se déplace vers le moyen et proche orient où l'endurance est le sport préféré et largement financé par les familles gouvernantes.

D'après notre analyse empirique, qui a considéré le plus haut niveau sportif (et par conséquent les performances propres) comme un gage de supériorité des individus, les disciplines officielles réuniraient ensemble une population potentiellement candidate au clonage d'environ 132 chevaux. Ainsi, le jumping compterait environ 100, le dressage 24, le concours complet 11 et l'endurance 8 chevaux. Malgré le fait de ne pas être une discipline officielle, le Polo est une discipline d'importance internationale et pourrait compter entre 15 et 100 chevaux candidats au clonage. Il est important de noter qu'un cheval se maintient à ce niveau de compétition pendant 2 à 4 ans, ce qui veut dire que le turnover de cette population est d'environ 2 ans.

Une entreprise qui souhaite développer le clonage devrait avoir une bonne connaissance des marchés. Ainsi le Tableau VI résume certaines informations importantes.

Tableau VI : Les axes de développement de chevaux d'élite selon les disciplines et positionnement idéal de l'acteur pour atteindre le marché.

Type de cheval (race ou utilisation)	Principal marché
Jumping	Europe et USA
Dressage	Europe et USA
Concours complet	Angleterre / Allemagne / Australie / NZ
Endurance	Emirats Arabes Unis (UAE) / France / Espagne
Poney de Polo Argentin	Argentine / Angleterre / USA

Deux populations d'intérêt, pour lesquelles le clonage n'est pas interdit, n'ont pas été traitées dans ce travail mais méritent notre attention. Premièrement, les chevaux Mangalarga Marchador, élevés au Brésil. Il s'agit d'une race nationale de grande importance au niveau national (plus de 350.000 chevaux enregistrés dans le studbook). Les éleveurs de cette race sont en recherche constante d'amélioration génétique et les meilleurs exemplaires atteignent des valeurs financières importantes. Nous n'avons pas inclus cette race dans notre analyse parce que nous n'avons pas obtenu de données officielles précises sur le nombre de compétiteurs. Par ailleurs, l'absence d'index de qualité génétique concernant cette race, interdit une analyse objective du potentiel de cette population pour le clonage.

D'autre part, la population de chevaux chinois représente environ 20% de la population mondiale et le pays est très ouvert au développement technologique. D'après les informations fournies par les membres du gouvernement chinois interviewés nous avons constaté que la Chine ne possède actuellement pas de chevaux d'intérêt zootechnique. Malgré le nombre élevé de chevaux en Chine, ceux-ci ne sont pas les plus appropriés aux loisirs et sports équestres car ils se présentent en état quasi sauvage et sont relativement petits. Actuellement il n'y existe donc pas de marché potentiel pour le clonage.

Toutefois ce marché doit être suivi de près puisque les chinois mènent actuellement (depuis les Jeux Olympiques de 2008) une importante action d'importation de chevaux. Leur objectif actuel est de croiser ces chevaux importés avec des juments locales afin de constituer une population de base permettant au peuple chinois de s'introduire aux loisirs équestres. Par ailleurs, la Chine promeut annuellement depuis 2012 un Grand Prix international de Jumping de haut niveau. Ce pays pourra prochainement faire partie du scénario international de Jumping.

Conclusion

En conclusion, la détermination du potentiel de développement du clonage selon l'argument théorique de contribution à l'amélioration génétique d'une population est extrêmement compliquée. Les causes sont le manque d'une base de données génétiques commune (ou même des bases de données concernant les différentes populations), le manque de définition d'objectifs précis d'élevage et la non uniformité des méthodes d'évaluation de performance et d'estimation de sa valeur pour l'élevage.

Face à ces difficultés nous avons proposés une analyse du marché potentiel à deux niveaux. Le premier prend en compte la taille et le type du marché du cheval local, une opposition de la valeur des chevaux au prix du clonage, la culture locale vis-à-vis des technologies de la reproduction et finalement l'insertion des acteurs du clonage sur le marché. La combinaison de ces facteurs permettrait une première analyse qualitative du potentiel de marché pour le clonage au niveau local.

Dans cette optique, actuellement les EUA semblent offrir un marché suffisamment développé, diversifié et ouvert aux technologies pour supporter une stratégie de développement à l'échelle nationale. L'Argentine, surtout grâce à son élevage de Poneys de Polo – qui fournit des chevaux à l'échelle mondiale – pourrait aussi présenter un potentiel de développement national, à condition que les prix du clonage soient cohérents avec le marché de ces chevaux. Dans son ensemble, l'Europe représente un bon marché potentiel pour le clonage en quantité. Cependant, ce continent présente la plus haute réticence culturelle à la technologie parmi toutes les régions observées.

Le deuxième niveau de l'analyse comprend une analyse des différentes disciplines équestres afin de quantifier le marché potentiel du clonage dans les principales disciplines équestres mondiales selon le seul argument de la performance propre en gage de supériorité génétique.

Le marché potentiel pour le clonage, tel qu'identifié dans cette étude, se trouve entre 150 et 250 chevaux (incluant les disciplines de jumping, de dressage, d'endurance, de concours complet et de polo), sachant que le turnover de cette population est d'environ 2 ans.

Ce marché pourrait s'élargir si certaines races importantes acceptaient le clonage (notamment le Pur Sang et le Quarter Horse) et s'il y avait des révolutions sur la commercialisation et l'acceptation du clonage. Dans ce deuxième cas, les facteurs pouvant contribuer à un élargissement de ce marché seraient des innovations techniques permettant d'améliorer le rendement technique ; des innovations dans la structure de l'industrie permettant de valoriser la technologie auprès des éleveurs et de proposer des prix adaptés aux différents segments du marché et l'identification de nouvelles caractéristiques permettant d'élargir l'intérêt du clonage pour l'élevage (ou les différents élevages).

Références bibliographiques

Arnason T. & Van Vleck L.D., 2000. Genetic improvement of the horse. *In The genetics of the horse*, ed. Bowling A.T. & Ruvinsky A., New York, CABI Publishing, pp. 473-497.

FAO - Food and Agriculture Organization, 2009. FAOSTAT - live animals. *United Nations* <http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor>

FEI – Fédération Equestre Internationale, 2012. Rankings jumping, dressage, concours complet et endurance. Disponible sur : www.fei.org.

FIP – Federation of International Polo, 2012. Liste des athlètes de polo. Disponible sur : www.fippolo.com.

Karpik L., 2007. L'économie des singularités. Ed *Gallimard*, 373p.

Koenen E.P.C., Aldridge L.I., 2002. Testing and genetic evaluation of sport horses in an international perspective. In proceedings of the : 7th World Congress Applied to Livestock Production, Montpellier, August 2002.

Liljenstolpe C., 2009. Horses in Europe. Swedish University of Agricultural Sciences. *Valsåtra-Utuna*, 27p.

Lima R.A.S., Shirota R. & Barros G.S.C., 2006. Estudo do complexo do Agronegócio Cavalo. *Rapport de recherche*. CEPEA/ESALQ/USP, Piracicaba, 251p.

Reis A.P., Palmer E., 2010. L'insertion des clones dans l'élevage équin : ce que l'on en attend et ce que nous enseigne le marché. *Equ'idée, hiver*.

Ricard A., Dubois C., 2006. Cloning and embryo transfer in selection plans in horses. *Proceedings of the : 57th Annual EAAP Meeting*, Antalya, 2006.

WBFSH – World Breeding Federation for Sport Horse, 2011. Rankings de studbooks de jumping, dressage, concours complet. Disponible sur : <http://www.wbfs.org/GB/Rankings/WBFSH%20rankings.aspx> .

ANNEXE II : LA FILIERE DE LA VIANDE CHEVALINE DANS LE MONDE

Contexte historique

La viande chevaline a été utilisée sans restrictions jusqu'au moyen âge. En 742, le pape Grégoire III a interdit sa consommation afin de combattre les traditions païennes. A partir du XIX siècle elle a regagné sa popularité, surtout pendant les périodes de guerre où d'autres sources de protéines animales devenaient rares (Torres et Jardim, 1977).

Cette filière est actuellement caractérisée par un nombre restreint de fournisseurs et une divergence entre les régions productrices et les régions consommatrices. Le trading y est omniprésent et la consommation se trouve principalement en Europe et en Asie.

Consommation de viande chevaline

La viande chevaline trouve différentes formes d'utilisation selon les cultures (Lilijestolp, 2009). En Belgique le steak tartare est préférentiellement préparé avec cette viande car elle donne un goût spécialement apprécié à l'assaisonnement. En Allemagne, elle est mangée dans le sauerbraten, un plat mariné à saveur aigre-doux mais elle est de plus en plus substituée par de la viande bovine. En Bavière, une saucisse de viande bovine et chevaline est commercialisée sous le nom de Rosswurst. En Islande elle peut être mangée dans des ragoûts, fondues ou encore sous forme de bifteck.

Elle est aussi consommée dans plusieurs régions d'Italie dans différentes spécialités régionales (ragoût (patissada), bifteck, carpaccio, bresaola). La graisse est utilisée dans des recettes comme le pezzetti di cavallo. Des saucisses de cheval peuvent être retrouvées dans la région de Veneto (salsiccia di equino).

Aux Pays-Bas, elle est consommée en saucisse ou fumée. Les slovènes mangent des hamburgers de cheval. En Suède la viande chevaline est plus consommée que les viandes d'agneau et de mouton. Elle peut être préparée en fines tranches, comme une sorte de jambon ou en tant que saucisse fumée (Gustavskorv). En Suisse, il existe une large gamme de saucisses et on peut la retrouver aussi dans la fondue bourguignonne ou encore le bifteck.

En Asie, la viande chevaline est appréciée dans plusieurs pays. En Indonésie elle est grillée en morceaux et servie avec une sauce épissée (satay). Les japonais la mangent crue (sakura), en sashimis (basahi) ou en barbecue (yakiniku – baniku ou bagushi). Au Kazakhstan, dont le peuple a des racines nomades, la viande chevaline représente une composante importante du régime alimentaire populaire. Elle peut être consommée sous forme de saucisse (kazy, shuzhuk, etc) ou en tant que viande sèche. La Mongolie inclut également la viande de cheval dans le menu. Certaines régions de Chine n'utilisent pas cette viande, cependant elle est plutôt bien acceptée par la population en général. Elle est spécialement consommée dans le sud-ouest, à Guilin (viande de cheval aux vermicelles de riz).

Une commercialisation controversée dans les pays occidentaux

En France la viande chevaline est relativement bien acceptée par la population et est vendue dans des boucheries spécialisées, les boucheries générales et les supermarchés. Il y existe un site internet nommé « La viande chevaline » pour promouvoir sa commercialisation et sa consommation. Parallèlement, les associations de producteurs de viande chevaline réalisent des actions afin de protéger les races françaises actuellement utilisées pour la production de viande.

A l'inverse, dans les pays anglo-saxons la viande chevaline n'est pas bien acceptée. Au Royaume Uni, bien que l'abattage, la préparation et la consommation de viande chevaline n'ait pas été interdite, elle n'est plus officiellement consommée depuis les années 30 (Lilijenstolp, 2009). Elle y a été consommée pendant les périodes de rareté d'autres viandes comme les périodes de guerre (Ross, 2005 ; BBC Radio, 2004). Actuellement sa consommation représente un tabou dans ce pays. Le scandale de la viande de cheval dans les lasagnes Findus en 2013 ont rouvert le débat sur sa consommation en Angleterre.

Aux Etats Unis, la période de plus grande consommation a été pendant la deuxième guerre mondiale, en raison du faible approvisionnement et du prix élevé de la viande bovine. Mais le cheval possède avant tout un statut d'animal de compagnie et les associations de protection des droits des animaux militent pour l'interdiction de l'abattage de chevaux pour

la consommation humaine. En 2007 cet abattage a été interdit et tous les abattoirs du pays ont été contraints d'arrêter cette activité (Burghart, 2007).

Une production orientée par la préférence des consommateurs et la vocation locale

La préférence du marché consommateur et l'existence ou non d'un élevage spécialisé pour la production de viande déterminent le type d'animaux abattus (sexe, taille, âge, etc). Dans les pays où il existe un élevage destiné à la production de viande (Pologne, Canada), l'abattage de chevaux de moins de 12 mois est courant. Dans les pays où cet élevage n'est pas développé (Brésil, Argentine), la majorité de chevaux abattus est représentée par des animaux adultes reformés (Brésil) ou sauvages (Argentine).

De manière générale, les consommateurs préfèrent la viande de jument, suivie par celle de hongre et ensuite d'étalon. La viande d'étalon est ferme. En France, la viande d'animaux plus âgés est bien appréciée car elle est déjà « mure », prête à la consommation (Hachette et Gonzales, communication personnelle).

Le boucher chevalin peut proposer deux options à la clientèle : la viande de poulain, blanche, avec une valeur nutritionnelle équivalente à celle de veau et facilement digestible, ou la viande de cheval adulte. Le marché de la viande d'autres équidés est restreint : les viandes de mule et d'âne ont un goût plus prononcé et ne sont consommées en Europe qu'en Espagne et au Portugal. La viande de zèbre a un goût trop fort, est trop grasse et trop dure, et ne trouve pas de marché consommateur (Richelieu, 2011).

Le type de population abattue peut influencer sur la qualité des ovocytes récoltés. Brinsko et al. (1995) ont démontré que seulement 25% des ovocytes de juments de plus de 15 ans atteignent le stade MII (nécessaire pour le clonage), alors que ce taux s'élève à 52% pour les ovocytes de juments de 2 à 14 ans. Par ailleurs, des chercheurs polonais, pays ayant un élevage destiné à la production de viande, ont constaté que les ovocytes compacts des juments de moins de 12 mois sont moins compétents pour la méiose que ceux des juments pubères (28% vs 50%) (Mlodawska et Okolski, 2009).

Une filière opaque

Comme l'ensemble de l'industrie du cheval, cette filière est relativement opaque (Lima et al. 2006, Lebrun 2010). Les données sur la production et la consommation sont divergentes. Nous nous sommes fiés aux statistiques de la FAO (2008) pour comprendre la situation de la production dans le monde. Ensuite nous avons utilisé des informations fournies par des associations de soutien à la consommation de viande chevaline pour comprendre le comportement commercial de cette filière dans les pays occidentaux et le Japon.

D'après les données de la FAO, en 2008 le premier producteur mondial de viande chevaline était la Chine, suivie par le Mexique, le Kazakhstan, l'Argentine, les USA, la Russie, la Mongolie, l'Australie, le Brésil, la Pologne, le Kirghizistan, le Canada, l'Italie, la Roumanie, le Chili et la France. La production officielle de viande chevaline en 2008 a été de 660.000 tonnes, alors qu'en 1988, elle atteignait seulement 382.000 tonnes, soit une augmentation de plus de 70%.

Cependant, cette augmentation est seulement relative. Elle s'explique par l'inclusion dans les statistiques de la FAO de la production des ex-pays communistes à partir de l'ouverture de leur marché. Kazakhstan, Pologne, Kirghizistan et Russie produisent ensemble 150.000 tonnes produites en 2008. La Chine a augmenté sa production (ou la déclaration) de 50.000 tonnes en 1988 à presque 200.000 tonnes en 2008.

A part cette inclusion des données des ex-pays socialistes, la production des acteurs traditionnels du marché a montré un léger recul de 6% dans les 20 dernières années. Le Mexique a présenté la plus forte augmentation de la production dans les dernières années. Cela s'explique par la fermeture des EUA en 2007 suivie de l'export de chevaux vivants des EUA vers le Mexique pour l'abattage (Nolen, 2008).

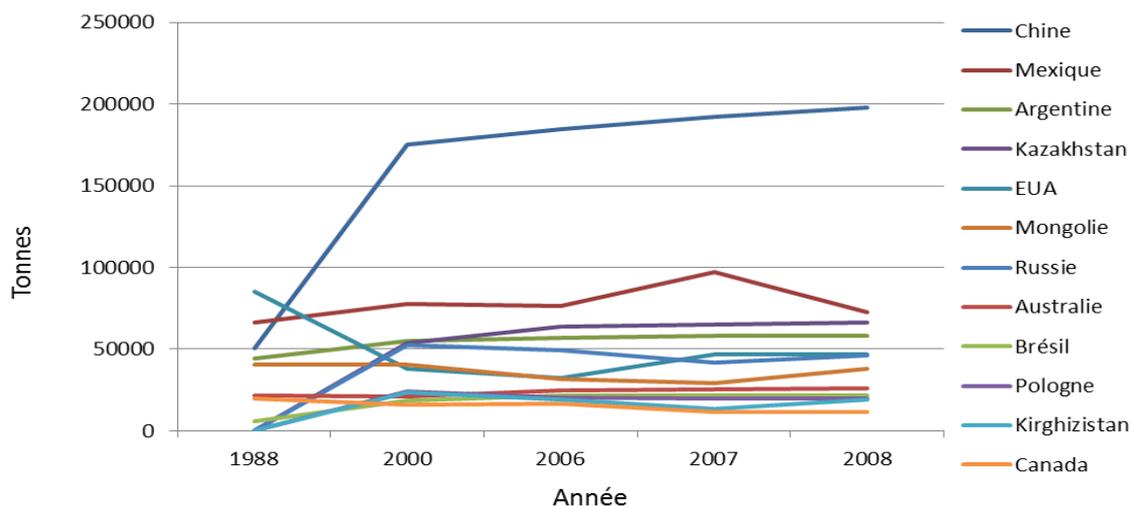


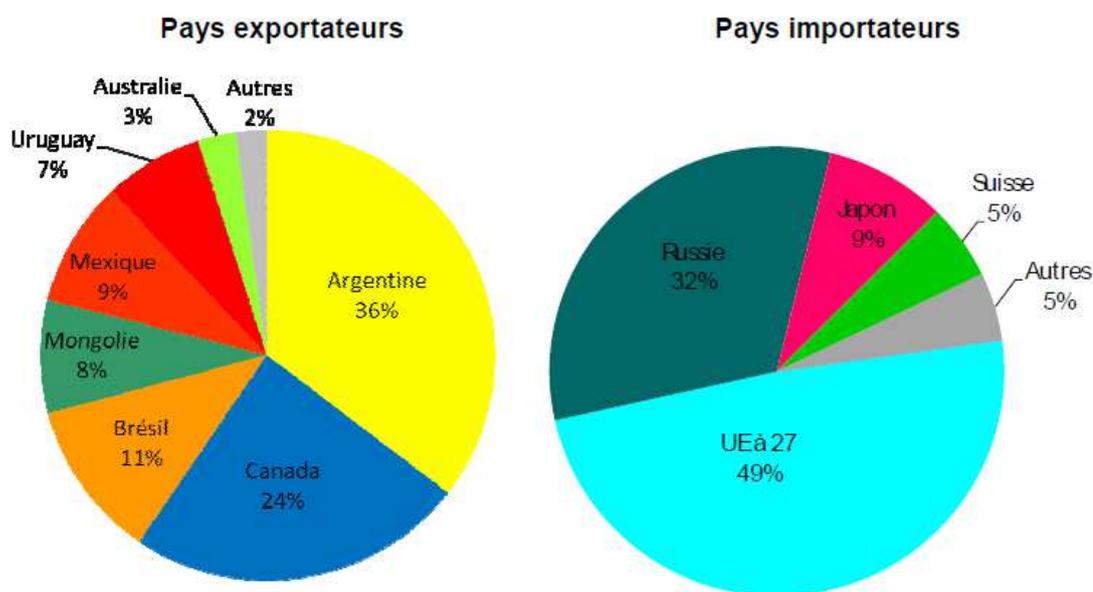
Figure 1 : Evolution de la production de viande chevaline indigène entre 1988 et 2008.

Source : FAO, 2008.

Trading omniprésent

Le commerce de cette viande est marqué par l'existence d'un axe producteur-exportateur / importateur-consommateur. En occident, les principaux producteurs sont l'Argentine, le Canada, le Mexique et le Brésil. Les USA étaient le principal pays exportateur jusqu'à la fermeture officielle de ces abattoirs en 2007. Après 2007, le Mexique et le Canada ont absorbé son flux d'abattage et ont augmenté leur part dans les exportations mondiales. L'axe importateur est représenté par l'Europe occidentale (Pays Bas, France, Belgique, Italie), la Russie et le Japon.

D'après un rapport (Tregaro, 2010) produit à partir d'une combinaison de données disponibles à la FAO, des sources officielles françaises et d'avis d'experts, l'Argentine et la Nouvelle Zélande exportent approximativement 100% de leur production, le Canada 90%, le Brésil 80% et l'Uruguay 75%. Par ailleurs, la Suisse importe 100% de la viande consommée, alors que le Japon importe 70%, l'Union Européenne plus de 60% et la Russie importe l'équivalent de 30% de sa consommation.



Source : FranceAgriMer d'après FAO, sources nationales hors échanges intra-ALENA et intra-communautaire (Estimation 2008)

Figure 2 : La filière de viande chevaline, un axe producteur-exportateur et un axe importateur-consommateur.

Source : Tregaro, 2010.

Zoom sur les pays producteurs

Comme la production de viande chevaline est guidée par le commerce international, il est important de connaître les principaux partenaires de chaque pays exportateur afin de comprendre les enjeux et par conséquent les effets possibles sur la production de clones. Nous traiterons ici la production de viande dans les pays occidentaux.

L'Argentine représente à elle seule 30% des exportations de viande chevaline dans le monde occidental (S.A.G.F., 2008). Les Pays-Bas en étaient les principaux importateurs. A partir de 2001, la Russie est devenue le principal partenaire argentin. L'Europe est la destination de 90% de la viande réfrigérée, alors que la Russie achète principalement des viandes congelées. L'exportation argentine est restée stable dans les dernières années. Les chevaux abattus en Argentine proviennent, en grande partie, des montagnes et sont à l'état semi-sauvage.

Le Brésil est le troisième pays exportateur. Sa production a fluctué pendant les 20 dernières années allant jusqu'à 20% des exportations mondiales pour se stabiliser ensuite à environ 10%. La Belgique est son principal partenaire. Environ 90% des exportations brésiliennes ont comme destination l'Union Européenne, alors que les 10% restants sont exportés vers le Japon.

L'exportation brésilienne est majoritairement composée de viande congelée (75% des exportations) ce que lui vaut le prix le plus bas du marché international. Il n'y existe pas d'élevage de chevaux de boucherie. Cette viande représente surtout une valeur additionnelle au cheval en fin de carrière. Les chevaux sont abattus dans des abattoirs spécialisés puisqu'au Brésil il est interdit d'abattre une autre espèce animale dans la structure d'un abattoir de chevaux (Lima et al. 2006).

Le Mexique a pris un tournant important dans son activité d'exportation de viande chevaline. En effet, suite à l'arrêt de l'activité d'abattage aux USA, les exportations mexicaines ont été multipliées par 8, dont plus de 75% vers l'Union Européenne (principalement Belgique et Pays Bas). Le Mexique se démarque par l'exportation sous forme de carcasse. Une partie des chevaux abattus proviennent des USA.

La fermeture des abattoirs américains a aussi profité au Canada. Selon l'USDA (Tregaro, 2010), les exportations de chevaux vivants des USA vers le Mexique et le Canada ont augmenté équitablement d'environ 4.000 à 14.000 têtes depuis l'arrêt des activités d'abattage aux USA. Avec la fermeture des abattoirs américains, le Canada a doublé ses exportations et est devenu le deuxième exportateur mondial de viande chevaline. Son marché est diversifié. La France, la Belgique, le Japon et la Suisse représentent plus de 75% de ses exportations. D'autres pays comme la Lituanie, le Kazakhstan et les Pays-Bas sont aussi ses clients. Environ 40% des exportations canadiennes se font sous forme de pièces désossées, 40% en pièces non désossées, environ 7% en carcasses et le restant sous d'autres formes.

Les pays importateurs

L'Union Européenne absorbe 52% des achats sur le marché occidental, même si ses importations ont été réduites de moitié ces vingt dernières années. La France, la Belgique

et l'Italie restent les principaux clients et l'Amérique du Sud le principal fournisseur (60%), devant l'Amérique du Nord (25%) et l'Amérique Centrale (17%).

La Russie a augmenté ses importations, atteignant 40.000 tonnes avant une diminution à 27.000 tonnes en 2008. L'Argentine est son principal fournisseur, suivie par la Mongolie, l'Uruguay et l'Australie.

L'importation de viande chevaline par le Japon a été réduite de deux tiers dans les vingt dernières années. Elle tend à se stabiliser vers 4.000 tonnes/an. Le Canada, l'Argentine, le Brésil et le Mexique sont les seuls fournisseurs. Le Canada à lui seul assure 40% des importations japonaises.

Le prix la viande chevaline a augmenté légèrement entre 1995 et 2008. En 2008, le prix de départ de la viande chevaline fraîche a varié entre 2,50 et 4,50US\$/kg et le prix de la viande congelée a varié entre 2,50 et 3,50US\$/kg selon les pays producteurs.

Conclusions

La production de viande chevaline est dépendante de la préférence des marchés consommateurs et de la présence ou non d'un élevage spécialisé. Dans les pays capitalistes, il s'est établi un axe producteur/exportateur – importateur/consommateur. Les Amériques sont les principaux exportateurs et l'Europe et le Japon sont les principaux importateurs. Après l'ouverture des pays socialistes, la Russie est entrée dans le marché en tant qu'importateur. La production de cette viande est importante dans certains de ces pays, notamment en Chine, Pologne, Russie et Kazakhstan.

Au Canada et en Pologne, un élevage spécialisé s'est développé, alors que dans les autres pays l'abattage sert surtout à contrôler la population équine en abattant des chevaux réformés et/ou sauvages.

Malgré les volumes de production importants dans certains pays, le volume mondial de production de viande chevaline est nettement inférieur à celui de la viande bovine (660.000 tonnes vs 278,3 millions de tonnes).

Finalement, concernant la production de clones, nous pouvons observer que l'établissement d'un axe producteur/consommateur peut participer à la limitation de la recherche et de la production de clones au niveau mondial.

Références

BBC Radio, 2004. Why don't we Brits have a taste for horsemeat when it is widely eaten in Europe ? <http://www.bbc.co.uk/radio4/factual/foodprogramme_20040425.shtml>.

Brinsko S.P.; Ball B.A., Ellington J.E., 1995. In vitro maturation of equine oocytes obtained from different age groups of sexually mature mares. *Theriogenology*, 44:4, pp. 461-469.

Burghart T., 2007. Last US Horse Slaughterhouse Close. *The Huffington Post*, New York, 16/07/2007. < <http://www.huffingtonpost.com/huff-wires/20070629/horse-slaughter/> >

FAO – FAOSTAT, 2008. <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>

Lebrun, J. 2010. Les enjeux et les perspectives de la filière équine en France. *Avis et rapports du Conseil économique, social et environnemental*. République française, 9, 55p.

Liljenstolpe C., 2009. Horses in Europe. Swedish University of Agricultural Sciences. *Valsätra-Utuna*, 27p.

Lima R.A.S., Shiota R. & Barros G.S.C., 2006. Estudo do complexo do Agronegócio Cavalos. *Rapport de recherche*. CEPEA/ESALQ/USP, Piracicaba, 251p.

Mlodawska W. & Okolski A., 2009. Morphological characterization and meiotic competence of oocytes collected from filly ovaries. *Theriogenology*, 71:7, pp. 1046-1053.

Nolen R.S., 2008. U.S. slaughter exports to Mexico increase 312%. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 232 :1, 177.

Richelieu, 2011. Clarifying the notion of horse meat. *Viande Richelieu*, <<http://www.vianderichelieu.com/en/cheval/content.htm>>

Ross B., 2005. Horsemeat, a wedding treat. WW2 People's war. *BBC Home*.
<<http://www.bbc.co.uk/ww2peopleswar/stories/25/a7269825.shtml>>

S.A.G.N. – Subsecretaria de Agricultura, Ganaderia y Forestation., 2008. Boletín de producción equina. *Rapport de la Dirección de ganaderia – area de equinos*, 11p.

Torres A.P., Jardim W.R., 1977. Criação de cavalos e de outros equinos. *Nobel*, Brésil, 654p.

Tregaro Y., 2010. Le commerce international de la viande de cheval. Regard rétrospectif. *France Agrimer*.

ANNEXE III : LES BIOTECHNOLOGIES DANS L'ESPECE EQUINE

Etude préliminaire (article en préparation)

Abstract

Biotechnologies of reproduction represent important tools to improve genetic selection in the equine industry. Firstly, the artificial insemination (AI) allowed the spread of male genetics worldwide with the technology of gamete freezing/shipment. Afterwards, in the late 80's, embryo transfer (ET) introduced the possibility of increasing female offspring which is very important for the equine species because of the seasonal monovulatory characteristic of the female reproductive system. Recently, cloning technology (SCNT) became the most innovative tool for genetic selection allowing castrated top performance horses to reproduce. However, we observe that recent biotechnologies, for example cloning shows a low commercial development and besides the fact of the recent apparition, the orientation to a niche market and the low acceptance by the public, we argued if part of this characteristic could be attributed to the design of knowledge gaining and development. Literature on equine reproduction does not treat biotechnologies under the lenses of design of development. This is in our knowledge the first study regarding the aspect of technological design in the horse industry. The theoretical motivation of this article therefore is to provide a more complete account of how innovative knowledge-based structures evolve in biotechnological design in the horse industry. To answer the theoretical question we analysed and compared empirically the development of artificial insemination (AI), embryo transfer (ET) and cloning (SCNT) in the horse industry through the methodology of multiple case studies, as described by Eisenhardt (Eisenhardt & Graebner, 2007). Each of these biotechnologies were studied from a point of view of design, in parallel with the life cycle and the evolution of horse status on society. This article represents the first report able to help private players to understand the current methods of public-private partnerships in the horse industry and define their strategy towards this developmental model according to their own ambitions.

Keywords

Biotechnology; horse industry; public-private partnerships; science design; engineering design

1 Introduction

The organizations are becoming more knowledge-intensive (Alvesson, 1995) and are increasingly dependent on innovative knowledge to create value (Kim and Mauborgne, 1997). Therefore, the question of how the design spaces should be organized to generate and exploit new forms of knowledge is a very important one. Innovation in knowledge-based organizations is particularly challenging owing to the ambiguous nature of knowledge itself. One approach has emphasized the importance of individuals' expertise (Alvesson and Wilmott, 2004). Another view emphasizes the importance of the social processes by which knowledge comes to be recognized as useful and valuable (Morris and Empson, 1998). A third perspective highlights the importance of systems, such as codification routines by which innovative types of expertise can be appropriated (Werr and Stjernberg, 2003; Orr, 1996). However, little of the prior research on change in knowledge-intensive firms has directly examined organizational structure as a way to generate and exploit new forms of knowledge.

One exception is the research on communities of practice (Contu and Willmott, 2003; Ferlie et al., 2005). This literature has overlooked the case of where a single process design contains multiple communities (Foray, 2002). New forms of innovation in the knowledge economy are irreducible to three "archetypes" (Nelson, unpublished thesis): to increase the influence of science, a decentralized system of innovation, composed of a multitude of heterogeneous agents emerged, increasing complexity and modularity of technology.

The first trend relates to increasing the scientific methods of production of innovation. There are two aspects analyzed by Nelson (Dewar and Dutton, 1986), a method of scientific advancement, based fundamentally on the ability to design and conduct experiments, and secondly, a direct and immediate design between scientific progress and innovation production.

Design as a Generator of Technological Change is commonly studied through the lens of the life cycle, which emphasizes either radical or incremental change (Dosi, 1982) and many models of technological evolution focus on these two categories (Sahal, 1985).

The theoretical motivation of this article therefore is to provide a more complete account of how innovative knowledge-based structures evolve in biotechnological design in the horse

industry and supply primary information to help firms to define their strategy for the development of biotechnologies in horse industry. To answer the theoretical question we analysed and compared the development of artificial insemination (AI), embryo transfer (ET) and cloning (SCNT) in the horse industry through the methodology of multiple case studies, as described by Eisenhardt (Eisenhardt & Graebner, 2007). Our aim is not to verify an existent theory but, understand the impact of the design of development of basic knowledge, and moment of transfer of technology to the field on horse industry. Each of these biotechnologies were studied from a point of view of life cycle and design of development, in parallel with the evolution of horse status on society. In our knowledge, this is the first study regarding the aspect of biotechnological design in the horse industry.

2 Methodology

This work is based on a multiple case study (Eisenhardt & Graebner, 2007). Our objective is not to test an existing theory; it is to understand the impact of the design of knowledge creation on the development of biotechnologies. The three main biotechnologies studied were: artificial insemination (AI), embryo transfer (ET) and cloning (SCNT). Other technologies like Intracytoplasmic Sperm Injection (ICSI), Gamete Intra-fallopian Transfer (GIFT) and *In Vitro* Fertilization (IVF) were treated secondarily, as a didactical support to understand the design of development of cloning. We performed a review of the literature and official or institutional data looking for information on development of these biotechnologies in different countries (numbers, dates, autorizations...) and interviewed key players.

3 Results

Contrary to innovation in other domain, equine biotechnologies are not often studied from the point of view of engineering design. The existing literature regards mostly the results of scientific experiments. We read more than 150 references (specialized articles and books) in order to build the chronology of the development from basic theory to commercialization and selected 50 crucial references to illustrate key facts of the evolution of the process and the factors which influenced the main phases of development.

Additionally we consulted literature about the relationships between men and horses from pre-history to current days to understand the ambiguous position of the horse on society (between production and pet animal) and to understand how it can influence the design of biotechnologies (Olsen et al., 2006). Literature on technological transfer, public-private collaboration and science design were also largely consulted.

We interviewed key researchers for the development and contemporary commercial actors of biotechnologies in different countries (France, United States, Italy, Argentina, Brazil). These actors were selected by their importance on the national or international development of these technologies. The interviews were important to give a socio-political dimension for the data recovered in literature.

Finally we compared the chronologies to understand the design changes on the process of knowledge production, transition from science to product development and their impact on the commercialization of each biotechnology.

3.1 - The case of artificial insemination (AI)

In 1322, a sheik first performed empirical AI by using cotton to collect semen of his neighbor' stallion and inseminate his mare (Perry, 1945). Despite this early empirical use of this biotechnology, scientific knowledge only started to be produced in late XIXth century when the horse played an important role as a tool for war and agriculture (Torres and Jardim, 1977) and was important for State supremacy. The army of Russia invested massively on production of basic knowledge for this technology in order to insure a sufficient production of horses for wars (Foote, 2002). The knowledge produced was first transferred to Asian countries like Japan and China and later to western countries.

In western countries, AI was first perceived as a mean of treating sub fertile stallions and later as a tool to spread genetics transporting semen of the best stallions. However, in the beginning, the stud books were opposed to its use in their breeding programs. Commercialization of artificial insemination was not allowed until a large number of studies was accomplished and the technology stabilized. Certain countries and stud books only authorized commercialization of AI in mid-80's (Margat, 2007).

The engineering design of AI can be summarized in the Figure I. We can observe that governments of several countries played an important role in the development of the technology by financing all the basic science necessary to stabilize the technology. Nowadays, efforts are done, in strong partnerships with private sector, in order to develop incremental innovations to improve fertilization rates and increase possibilities of use by breeders.

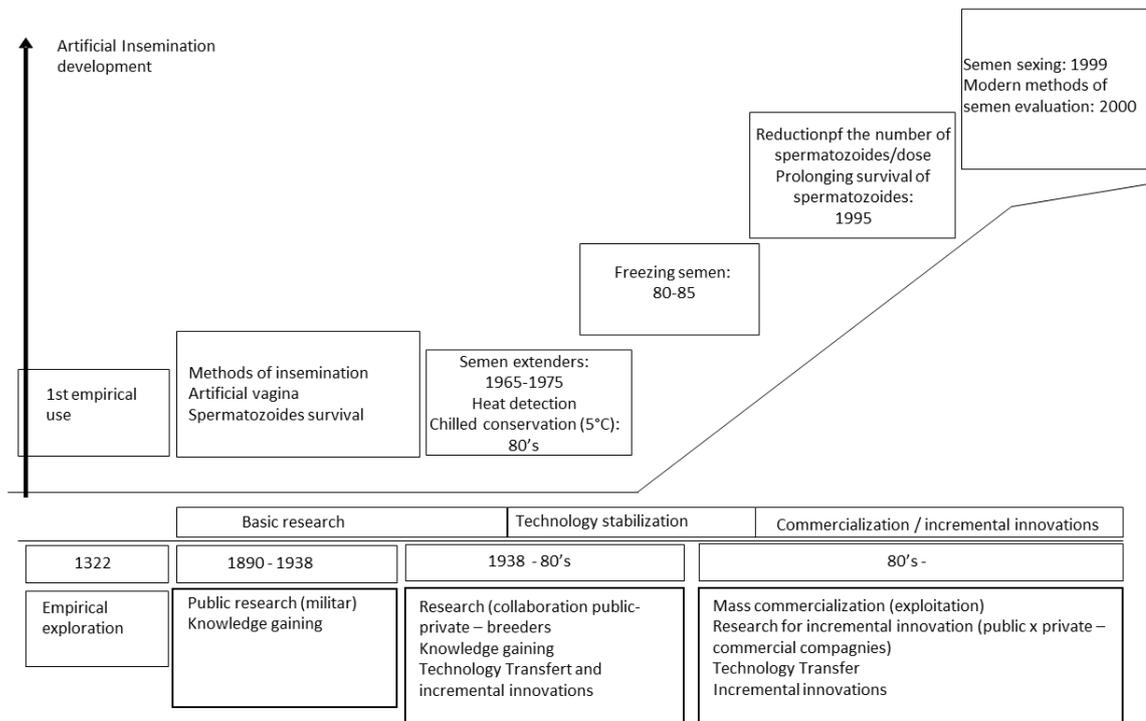


Fig. I: Chronological development of artificial insemination in the horse industry.

Forty years after the first studies, when basic knowledge was stabilized, authorities opened research programs for partnerships with breeders. Both governmental (in some countries) and stud books authorization arrived in the 80's and represented the final impulse for the use of AI on a large scale system.

We describe the engineering of this biotechnology as a “shower” design (Figure II). The Authorities first supported and incubated basic science for a long period. After this first period of knowledge gaining, some public-private partnerships helped to generate incremental innovations needed to develop a marketable technology. When technology entered the market, the knowledge was stabilized and the market reacted with a massif adoption. Nowadays, the research developed on this technology aims to application of increments and is basically financed by commercial companies while public funds financed research for more than 50 years.

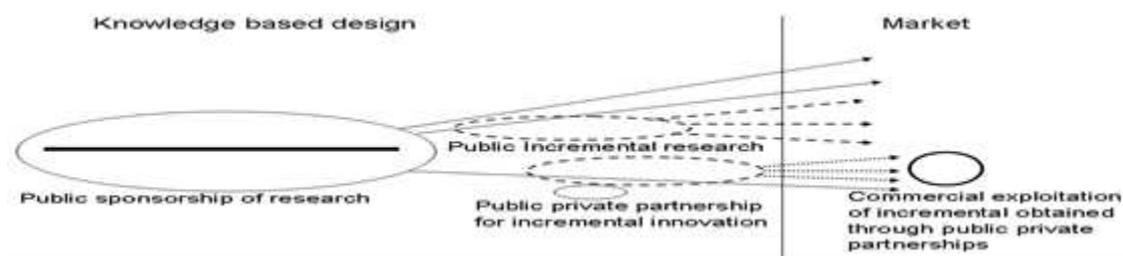
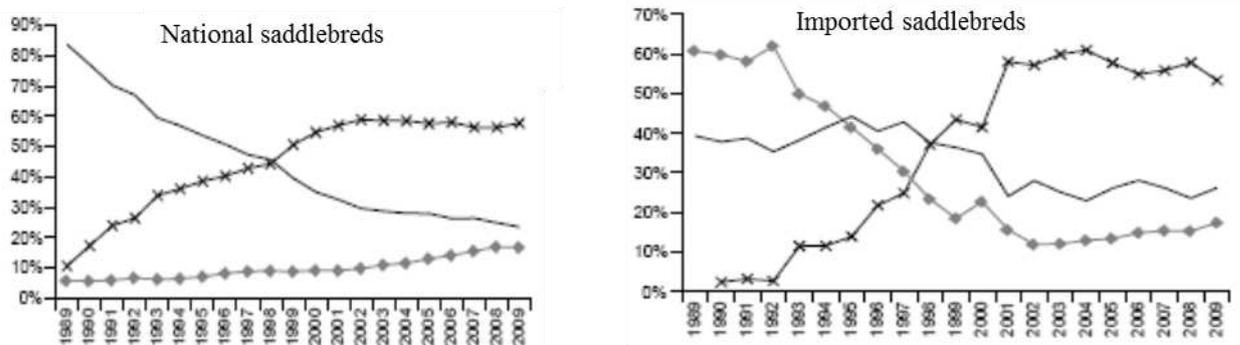


Fig. II: Artificial insemination in the horse industry: the shower design of technology transfer

The lined circle represents public institutions performing basic research (black line inside the circle) during more than 5 decades. The “shower” stripes represent the transfer of knowledge to the field. After the first transfer, new research programs have been developed (dotted circle) and incremental innovations transferred to the field. Private companies (small lined circle) in partnership with governments assume research aiming to produce incremental innovation and development of new products.

Progressively, AI became a popular practice of reproduction on the field because of the numerous sanitary advantages, high efficiency and relatively low cost of utilization. In order to estimate the commercial impact of AI on the horse industry it would be necessary to know the number of mares inseminated worldwide. Unfortunately, in most of the countries this information is not officially available.

In order to illustrate this impact of this technology on the horse industry we will describe the example of France, a country which made significant efforts on basic research and engineering this technology. Additionally, France holds official data concerning the distribution of the reproduction techniques adopted by breeders each year.



Legend: * Artificial insemination; + Open range breeding; — Monitored breeding

Fig. III: Evolution of utilization of AI in France from 1989 to 2009

Source: Haras Nationaux (2010)

France only authorized the commercialization of AI in 1986. Breeders understood the advantages of this technology and progressively adopted in detriment to other traditional reproductive techniques (Figure III). From 1989 to 2009 the percentage of mares being inseminated increased from 10% to around 60% (Haras Nationaux, 2010). French government offers regular training sessions in order to learn the AI and ET techniques for the professionals on the field affording access to new entrants for the commercialization of these technologies. The number of reproduction centers authorized by the government to market this technology increased from 2 in 1986 to about 200 in 2010.

3.2 – The case of embryo transfer (ET)

The first successful equine embryo transfer (ET) was reported in 1972 (Allen and Rowson, 1972). At that time, the widespread of ET technology was limited by the need of maintaining recipient mares at the site of embryo collection, or shipping donor mares to an embryo transfer facility. Scientific work, funded by government and later with collaboration of the private sector, pursued until late 1980's when the first non-surgical transfers (Squires et al., 1985) and the development of a method for cooling equine

embryos (Carnevale et al., 1987), led to the development of a practical method of short-term (24 hr) storage and transportation of equine embryos.

This breakthrough opened the market to ET allowing collection of embryos in the field and shipment to a centralized facility for non-surgical transfer to suitable recipient mares. The ability to transport embryos provided veterinarians with the opportunity to offer embryo transfer service without the onerous task of maintaining recipient mares, and eliminated the need of shipping donor mares to an embryo transfer facility.

In Figure IV we summarize the main progress of this development.

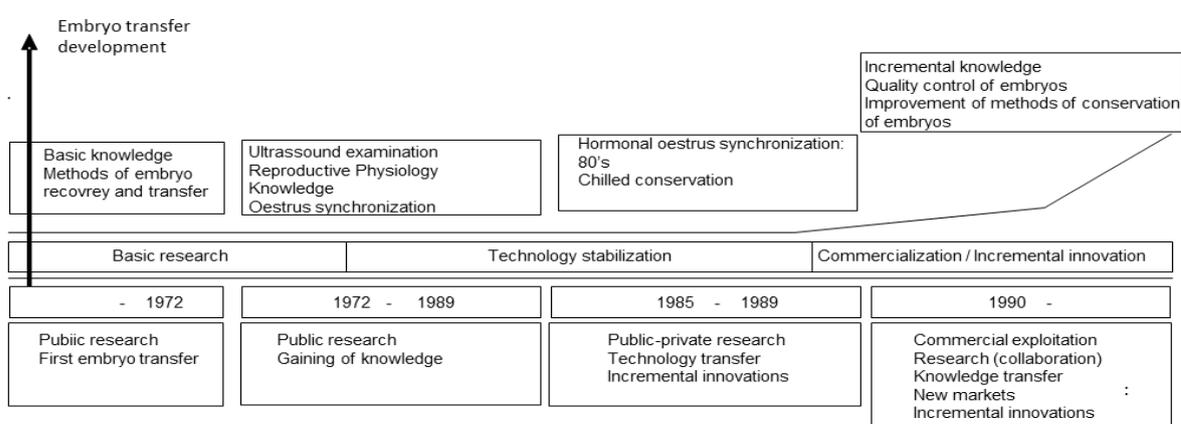


Fig. IV: Chronological development of embryo transfer in the horse industry

Part of the basic knowledge needed for ET, especially studies on physiology of reproduction, was acquired in previous studies developed for AI, contributing positively to the development of embryo transfer by shortening the engineering design period (~15 years).

In late 1970's, only the American Quarter Horse Association accepted equine ET only for use in older, barren mares. Commercial equine embryo transfer was generally unauthorized in other countries until the technological stabilization of the technology in mid-1980. Since 2002, collection and transfer of fresh embryos is allowed in most breeds, and shipment of cooled and frozen embryos is gaining wider acceptance (Hudson and McCue, 2004). In most cases, there are no restrictions regarding the age or reproductive status of the donor mare.

The design of ET is basically the same as AI. Basic research first developed by public institutions with public funds. After more than a decade of basic studies, the first breeders'

associations recognized the technology as a useful tool for reproduction. But the relatively high cost and low efficiency (global success around 40%) resulted in a lower rate of commercial development than artificial insemination.

In the 90's the course of the design of ET diverges from AI due to the transfer of the technology (already stabilized) to universities of emerging countries like Argentina and Brazil. This transfer represented a second impulse to technological development.

We named this new design as a “double shower”. The first phase is represented by the first basic studies performed in Western developed countries (USA and Europe) in order to stabilize the technology and entrance in the market. The following transfer of the technology to emerging economies is the second phase of expansion on the shower system (second shower). These countries also performed some research in order to stabilize the technology for their own reality (Figure V).

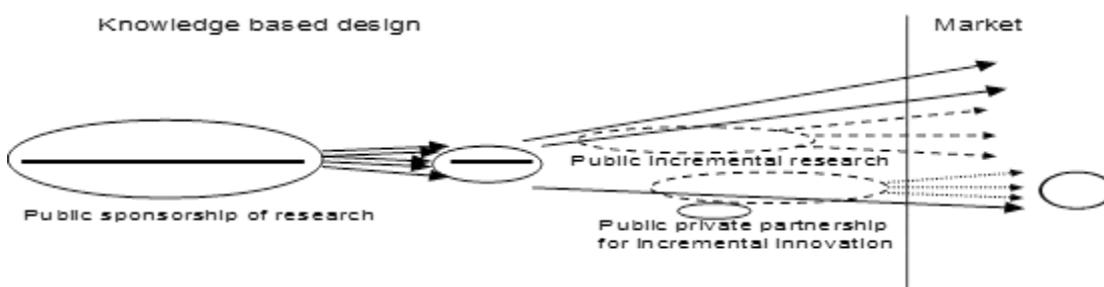


Fig. V: Embryo transfer in the horse industry: the “two phases” shower design of technology transfer

In emerging countries breeders are looking for fast genetic selection and aim at increasing the number of foals/mares of high genetic potential. As the technology was already stabilized in the first step of development, commercialization in emerging countries was possible after a short period of adaptation. One factor contributing to the development of ET in emerging countries is that the studbooks of national breeds do not limit the number of transfers per mare and per year. In addition, a relative low cost of land and workforce in these countries enabled the creation of two different organizational models contributing to spread the technology.

The Argentinean model was based on the creation of “reproduction centers” managing a high number of recipient mares at a low cost and performing a high number of embryo

transfers per year, contributing to reduce costs for clients and increase efficiency by increasing the experience of veterinarians. This model is possible because of the concentration of breeders around Buenos Aires and Cordoba.

In Brazil, the large extensions of land allowed breeders to manage their own herd of recipient mares at a very low cost (no additional costs to feed the mares and low cost of labor) and contract a veterinary to control their own mares and perform a high number of embryo transfers on his herd reducing global costs and avoiding transport of donor mares or embryos to reproduction centers. This model is also possible because of the general breeding model in Brazil (a standard breeder can own 15-30 donors while the standard in France, for example, is 2 mares / breeder).

As for AI, data on the number of embryo transfer performed each year is difficult to obtain. In order to illustrate the commercial development of ET we will mention the estimations available on the literature. Squires et al. (1999) estimated approximately 1,500 foals produced by embryo transfer in that year in United States. The author considers this number relatively small, considering that approximately 300,000 foals are registered annually in that country.

The International Embryo Transfer Society (IETS) publishes annual estimations of the number of equine embryo transfer performed by country or region (Figure VI). These reports do not represent official data but are built under collaboration with professionals from different countries. These numbers can reflect the reality and give us an idea of the commercial progression in the different countries or regions.

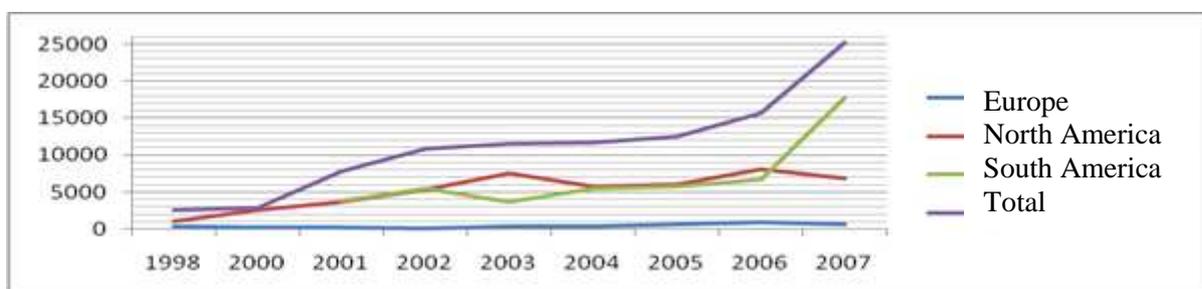


Fig. VI: Number of embryo transfers performed on the equine species since 1998.

Estimations of the International Embryo Transfer Society

Source: Adapted from IETS reports 1999-2008 (Thibier 1999 – 2008)

When possible we pooled data of IETS per region. Argentina and Brazil represent South America, leader on commercialization of the technology. In Europe, due to the breeding model (small studs, high price of land and cost of workforce), this technology is still reserved to the very best or sub fertile mares and the annual number of embryo transfers remains low.

We noted that the use of ET has increased steadily over the last decade although it has fluctuated in tandem with the financial health of the equine industry.

3.3 – The case of *in vitro* biotechnologies (IVF, GIFT, ICSI)

After the development of embryo transfer, scientists oriented research to *in vitro* reproduction. Progress in this area was slow. Firstly because of the scarcity of raw material (oocytes) to perform studies. As the mare is monovulatory (McKinnon and Voss, 2005), the number of oocytes recovered *in vivo* is insufficient to support rigorous and relevant research programs. Scientists were forced to use oocytes issued from slaughterhouses in order to develop basic studies. However, only a few numbers of countries in the world produce horse meat generating a scarcity of equine oocytes and restricting research to countries producing horse meat.

The second factor contributing to slow down the engineering of *in vitro* biotechnologies in the equine species was the lack of success of *in vitro* fertilization (IVF). Only 2 foals were produced by IVF in the world (Palmer et al., 1991).

As a consequence equine reproduction science experienced a period characterized by basic research on oocyte maturation, fecundation and GIFT (gamete intra-fallopian transfer) (Alm et al., 1997; Hinrichs et al., 1997; Carnevale, 2004). Unfortunately these studies were not sufficient to clarify all fundamental questions and retarded the process of technological development.

Recently, the development of Intracytoplasmic sperm injection (ICSI) using an equipment called Piezo Drill that helps to penetrate the oocyte reducing damage to its membrane

(Choi et al., 2002; Galli, 2002) enabled the first studies on embryo development *in vitro* opening new technological possibilities.

These technologies are not embedded in the horse industry because of the lack of success (IVF), need of surgery (GIFT) or the very recent development (ICSI). In this article these technologies are treated secondarily as a source of basic knowledge for horse cloning design.

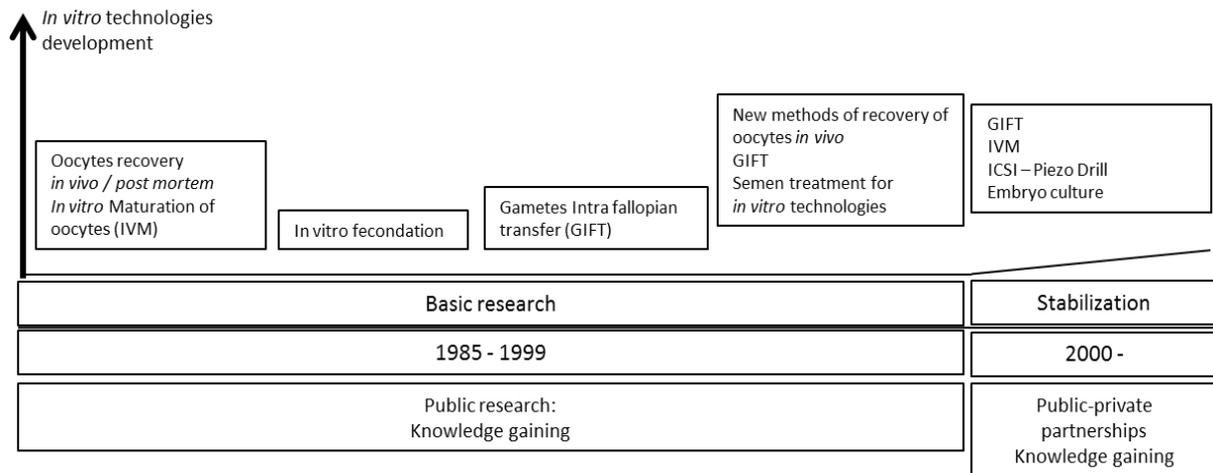


Fig. VII: Chronological development of the first *in vitro* technologies in the horse industry.

In vitro technologies represented a rupture innovation in horse industry. Fifteen years of basic research were necessary to produce the first basic knowledge enabling the first progress (Figure VII).

3.3.1 – The case of cloning (SCNT)

In 1995, Wilmut and colleagues introduced the first clone of adult somatic cells to the world. It was the famous sheep Dolly (Campbel et al., 1995). The cloning project involving Dolly was a partnership between scientists and a private company (a spin off) with the final objective of producing genetically modified animals for research and production of special molecules (Fransman, 2001).

For the horse industry, cloning technology represented the opportunity to exploit castrated horses as stallions and improve genetic selection, especially in disciplines like show jumping, dressage and endurance where most of the males are castrated. Scientific and commercial interests on this technology for sport horses appeared at the same moment.

We can observe on Figure VIII that the relatively advanced stage of basic knowledge (common with IVF, GIFT, ICSI) associated with a reduction of the public budget for research on this domain, stimulated the simultaneous development of research and product, strongly supported by private funds.

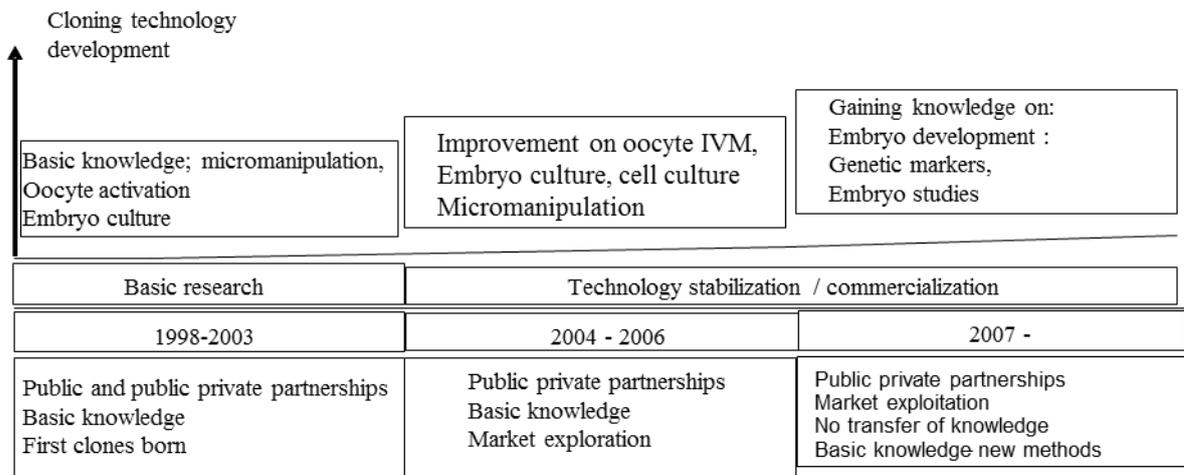


Fig. VIII: Chronological development of cloning in the horse industry.

The first clones were born in 2002 and 2003, after 5 years of public-private research (Woods et al., 2003; Galli et al., 2003) they were shortly followed by the commercial clones also produced under public private partnerships. In these partnerships, the private sector could exploit the product: “the clones” and the public institutions owned all the knowledge. The first equid (a mule), the first castrated horse, the first stallion, the first clone from South America are examples of this model based on public-private partnerships.

Figure IX illustrates this new model of development that stimulated a system of endogenous development of knowledge characterized by a reduced number of articles published, reduced number of vacancies for students and scientists in cloning programs, reduced exchange between groups and restricted number of new entrants either on research or commercial activity.

We named this design a design of “balloons”. Each group working on cloning is represented by a balloon. The knowledge developed inside each balloon (horizontal line) is not transferred to other institutions and is used for commercial aims or research ends developed by (and inside) each balloon. Some punctual commercial relationships were established between the first commercial company and two public institutions (arrows).

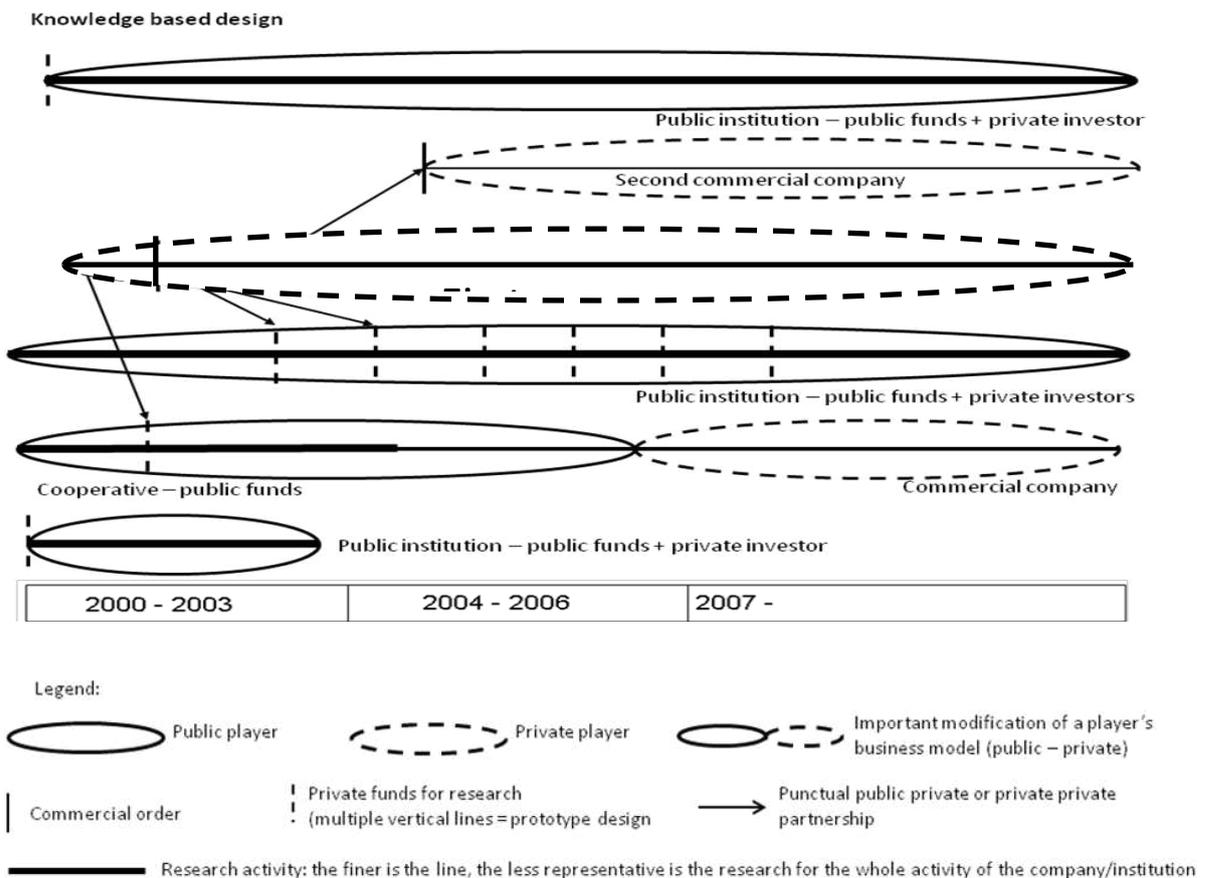


Fig. IX: Cloning in the horse industry: a new design of development. The balloon design. Multiple standards, independent and endogenous knowledge gaining.

In this competitive environment marked by endogenous knowledge and early commercialization of technology by public institutions, an American company working on genetics of farm animals acquired the Scottish company which owned worldwide rights on cloning of pigs and cows (except for New Zealand and Australia). This operation gave the company a combination of intellectual property on cloning and in-house experience enabling its entrance in the market producing horse clones. It was the first actor on the market producing horse clones on a commercial basis independent of a public institution for the production process.

The more recent actor in the market of horse clones is an University in Argentina, also financed by a private biotech company. The company financed the first 5 years of research

and a clone was born in 2010, opening the market of horse cloning in South America (Bär, 2010).

The distance from a slaughterhouse is a determinant factor for development of actors in this field. Public-private partnerships with technology transfer would be important to afford an actor with capacitated workforce.

It is important to observe that even if private funds were fundamental for research development, the knowledge created in the public-private partnerships was held with the public institution producing the clones. These partnerships were not designed to allow any transfer of technology. Currently, two of the commercial companies work in partnership for production under contracts of *sous-traitance* no transfer of knowledge is observed.

This design is opposite to the open innovation, commonly employed to develop technologies in partnership, sharing risks, shortening the period of engineering and product development, where the limits of the companies are usually difficult to define. In the design of balloons described in this article the limits of the companies and institutions forming partnerships can be easily defined and knowledge and risks are not shared.

The current immaturity of cloning, the lack of knowledge concerning the potential market and the early appearance of the first commercial companies contributed to this high level of endogeneity of knowledge. Reduction of the public budget for equine reproduction research also contributed to this design inducing research institutions to commercialize the technology before complete stabilization of the knowledge.

This design contributes to increase concurrence and prevents rapid development of a technological or commercial dominant standard because of a lack of collaboration between players. From the point of view of product development we observed as many design as the number of players: a prototype design (each clone is produced under a different method in one institution), a mass production design (one of the commercial companies is prepared to produce until 100 clones/year), and lux commerce design (clones commercialized as lux articles).

The lack of a dominant standard coupled with the resistance of most of the studbooks to accept clones in their registries contributes to flatten commercial development. Despite the high social impact of cloning on equine industry, only a few numbers of clones were

produced. We identified 40 lines of horses officially cloned from 2003 to mid-2010, all members of the sector included (Figure X).

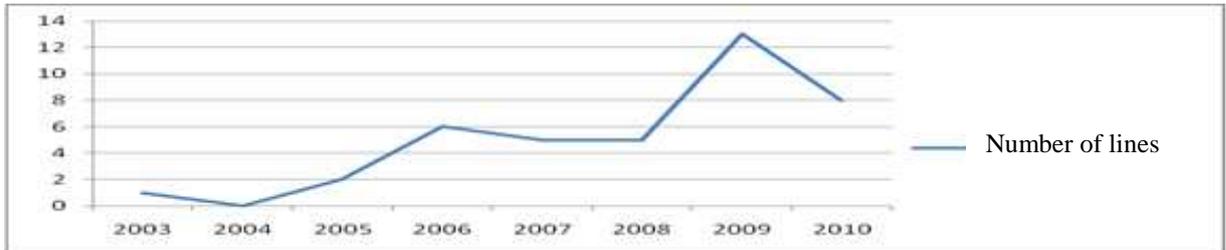


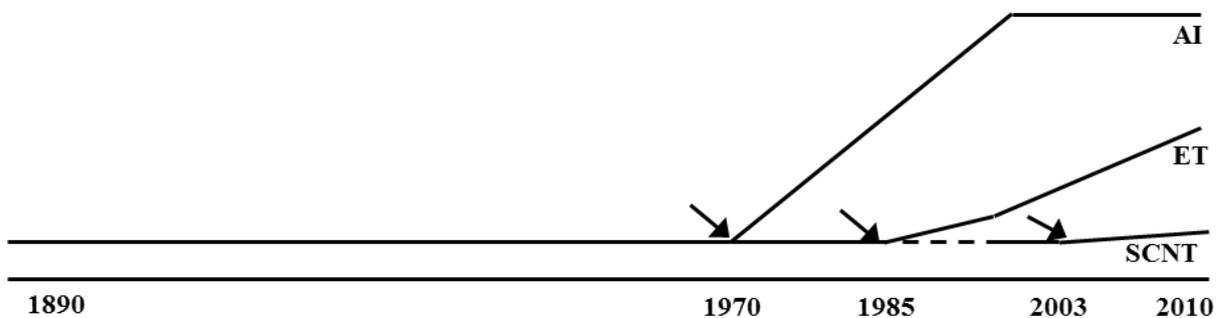
Fig.X: Number of lines of horses officially cloned from 2003 to 2010

One line is defined as one genotype cloned.

4 Discussion

The improvement of agriculture systems (machines) and production of meat through farm animals (chicken, cow, pig) transformed the horse in an obsolete animal for agriculture and food production. The horse is being progressively transformed in a “pet” animal mostly for sport and recreation. This status modification implies a reduction of the importance of the horse for the autonomy of countries allowing governments to reduce investments on equine reproduction and move the remaining funds to other sectors of research more interesting under the society point of view including equine behavior and pathology.

A schematic comparison of the three main biotechnologies studied in this article shows a significantly shortened period of technological engineering before commercialization (cloning vs AI and ET) (Figure XI).



➤ Transition: knowledge creation / technology stabilization vs. commercialization

--- Unspecific knowledge production

Fig. XI: Comparison of the lifecycle of three biotechnologies in the horse industry

This observation indicates an important modification on the design of biotechnologies in the horse industry represented by a different strategy of knowledge gaining and commercialization. The knowledge needed for AI and ET was produced under a science design (Winter 2008) where research was first developed to create theory and embed technology development. This model was based on social exchange, as mentioned by Morris and Empson (Morris & Empson, 1998). The exchange of students, professionals and information was and still is important between laboratories of different countries for these technologies.

On the other hand, design of cloning is the reflex of the recent design of governmental policies established in the 80's to motivate public institutions to develop science under public private partnerships (Blume, 1984). The aim is to shorten distance and time between basic and applied research. In the horse industry, as universities remain the main source of knowledge concerning biotechnologies of reproduction and private companies do not invest massively on research in order to build their own knowledge to exchange, this objective can only be attained by changing the strategy of knowledge gaining by the universities. As it is a long and expensive process, the strategy of investment on the

individuals' expertise as discussed by Alvesson and Willmott (2004) was the solution to continue development.

This model combined with the reduction of public funds results in an endogenous system of knowledge development. The knowledge produced is held inside public institutions. The mobility of students and professionals and the exchange of information between equine laboratories are extremely reduced. Sometimes practices in a laboratory must be paid (one week of practice in a reference laboratory can rise until several thousands of euros) and are often restricted to a specific part of the process avoiding the student/professional to have a complete overview of the technology.

Actors who do not develop public private partnerships are most likely to leave this domain of research/commerce because of a lack of knowledge (private sector) and/or a lack of funds to develop in-house knowledge (public institutions). Equine cloning is the illustration of the risks identified by Doutriaux and Sorondo (2005) concerning this recent approach of research funding.

5 Concluding remarks

This inaugural study regarding the development of biotechnologies of reproduction on the horse industry showed that the modern status of the horse -“pet animal”- combined with recent governmental policies stimulating public-private partnerships and reducing the budget of the States for equine reproduction research had an important impact on the design of biotechnologies of reproduction.

Artificial insemination was developed under a science design with strong support of public funds until embedment of the technology and based on social exchange. Progressively, this design lost importance for a more pragmatic one based on public-private partnerships, with strong investment on individual's capacity and aiming the engineering of a marketable technology.

The recent design observed in the case of equine cloning is relatively different of the ones observed in other industries which followed a similar developmental pathway based on public-private partnerships. In these industries, the private sector supports public research

aiming to acquire full or a part of a technology that will be exploited on the field (example of the Dolly project).

In horse industry the partnerships represent small or medium sized contracts (sometimes several contracts within the same players) and the benefit for the private sector in these partnerships is limited to the exploitation of the product issued of the research developed: the clone. The intellectual property and knowledge gained is still kept inside the institutions and no transfer of technology to the private sector is observed.

For the first time we highlighted the constant changing on design of biotechnologies in the horse industry that became progressively more complex and knowledge dependent. It is important to observe that this recent model is characterized by an endogenous character of knowledge, reduced exchange within external partners and premature commercialization and is possibly contributing to slow down the technological development by preventing the emergence of a standard technology.

Finally, these observations represent the first report that can help private players to understand the current methods of public-private partnerships on the horse industry and to define their strategy towards this developmental model of biotechnologies according to their commercial ambitions.

6 References

Allen, W. R., Rowson, L. E. A. (1972). Transfer of ova between horses and donkeys. *Proceedings of the 7th International Congress of Animal Reproduction and Artificial Insemination*. 484-487.

Alm, H., Torner, H., Kanitz, W., Becker, F. Hinrichs, K (1997). Comparison of different methods for recovery of horse oocytes. (Original Report). *Equine Veterinary Journal Supplement*, 25, 47-50.

Alvesson, M. (1995). *Management of knowledge-intensive companies*. Berlin and New York: Walter de Gruyter.

Alvesson, M., Willmott, H. (2004). Identity regulation as organizational control producing the appropriate individual, Book Chapter in *Organizational identity: a reader*. Oxford: Oxford.

Bär, N. (2008) Lograron clonar un caballo criollo. *La Nacion*. Available online: http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1316661 . Accessed: 02 February 2011.

Blume, S. (1984). *Industry and University, New forms of Co-operation and Communication*. Washington, DC: OECD Publications and Information Center.

Campbell, K. H. S., McWhir, J., Ritchie, W. A., Wilmut, I. (1995). Sheep cloned by nuclear transfer from a cultured cell line. *Nature*, 380, 64–66.

Carnevale, E. M., Squires, E. L., McKinnon, A. O. (1987). Comparison of Ham's F10 with CO₂ or Hepes buffer for storage of equine embryos at 5 C for 24 H. *Journal of Animal Science*. 65, 1775-1781.

Carnevale, E. M. (2004). Oocyte transfer and gamete intrafallopian transfer in the mare. *Animal Reproduction Science*, 82-83, 617-624.

Choi, Y. H., Love, C. C., Love, L. B., Varner, D. D., Brinsko, S., Hinrichs, K. (2002). Developmental competence in vivo and in vitro of in vitro-matured equine oocytes fertilized by intracytoplasmic sperm injection with fresh or frozen-thawed spermatozoa. *Reproduction*, 123, 455–465.

Contu, A., Willmott, H. (2003). Re-embedding situatedness: The importance of power relations in learning theory. *Organization Science*, 14, 283–296.

Dewar, R. D., Dutton, J. E. (1986). The Adoption of Radical and Incremental Innovations: An Empirical Analysis. *Management science*. (32), 1422-1433.

Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*. 11(3), 147-162.

Doutriaux, J., Sorondo, A. (2005). University-Industry Cooperation Comparing the Canadian and Uruguayan experiences. University of Ottawa. 2005. Available online: <http://www.relec.com.ar/arti/industry.pdf>. Accessed on: 25 January 2011.

- Eisenhardt, K. (2007). Theory building from cases: opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*. 50(1), 25-32.
- Ferlie, E., Fitzgerald, L., Wood, M., Hawkins, S. (2005). The nonspread of innovations: The mediating role of professionals. *Academy of Management Journal*. 48, 117–134.
- Foote, R. H. (2002). The history of artificial insemination: Selected notes and notables. *Journal of Animal Science*. 80, 1-10.
- Foray, D. (2002). Innovation et concurrence dans les industries de réseau. *Revue Française de Gestion*. (139), july-august, 131-154.
- Fransman, M. (2001). Designing Dolly: Interactions between economics, technology and science and the evolution of hybrid institutions. *Research Policy*, 30, 263-273.
- Galli, C., Crotti, G., Turini, P., Duchi, R., Mari, G., Zavaglia, G., Duchamp, G., Daels, P., Lazzari, G. (2002). Frozen-thawed embryos produced by ovum pickup of immature oocytes and ICSI are capable to establish pregnancies in the horse. *Theriogenology*, 58, 705–708.
- Galli, C., Lagutina, I., Crotti, G., Colleoni, S., Inrini, P., Panderata, N., Dachi, R., Lazzari, G. (2003). Pregnancy: a cloned horse Born to its dam twin. *Nature*, 424, 635-636.
- Haras Nationaux. (2010). *Annuaire de la monte 2009. Chiffres globaux sur l'activité des étalons*. Paris : Haras Nationaux.
- Hinrichs, K., Matthews, G. L., Freeman, D. A. (1997). Effect of oocyte maturation time on embryo development after oocyte transfer in the mare. (Abstract). *Theriogenology*, 47, 392.
- Hudson, J. J., McCue, P.M. (2004). How to increase embryo recovery rates and transfer success. *Proceedings of the American Association of Equine Practitioners*. 50, 406-408.
- Kim, W. C., Mauborgne, R. (1997). Value innovation: The strategic logic of high growth. *Harvard Business Review*. Jan-Feb, 103-112.
- Margat, A. (2006). L'insémination artificielle équine. *Fiches techniques*. Paris: Haras Nationaux.
- McKinnon, A. O., Voss, J. L. (2005). *Equine reproduction*. Iowa: Blackwell Publishing.

- Morris, T., Empson, L. (1998). Organisation and expertise: and exploration of knowledge bases and the management of accounting and consulting firms. *Accounting, Organizations and Society*, 23, 609-624.
- Olsen S., Grant S., Choyke A.M. & Bartosiewicz L., 2006. Horses and humans : the evolution of human-equine relationships. Ed. *Oxford Archaeopress*, Oxford, 375p.
- Orr, J. (1996). *Talking about machines: Ethnography of a modern job*. Ithaca, NY: ILR Press.
- Palmer, E, et al. (1991). In vitro fertilization in the horse. A retrospective study. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*. 44, 375-384.
- Perry, E. J. (1945). *Historical, in the Artificial Insemination of farm animals*. New Brunswick: Rutgers University Press.
- Sahal. (1985). Technology, guide-post and innovation. *Research policy*. 14, 61-82.
- Squires, E. L., Garcia, R. H., Ginther, O. J. (1985). Factors affecting the success of equine embryo transfer. *Equine Veterinary Journal Supplement*. 3, 920-925.
- Squires, E. L., McCue, P.M., Vanderwall, D. (1999). The current status of equine embryo transfer. *Theriogenology*. 51(1), 91-104.
- Squires, E. L. (2009). Changes in Equine Reproduction: Have They Been Good or Bad for the Horse Industry? *Journal of Equine Veterinary Science*. 29(5), 268 – 273.
- Thibier M. (1999). The 1998 Statistical figures of the worldwide embryo transfer industry: A data retrieval committee report. *Embryo transfer newsletter*. 25-31.
- Thibier M. (2000). The animal embryo transfer industry in figures: a report from the IETS data retrieval committee. *Embryo transfer newsletter*. 16-22.
- Thibier M. (2001). A contrasted year for the world activity of the embryo animal embryo transfer industry: a report from the IETS data retrieval committee. *Embryo transfer newsletter*. 13-20.

- Thibier M. (2003). Data retrieval committee annual report: more than half a million bovine embryos transferred in 2002: a report from the IETS data retrieval committee. *Embryo transfer newsletter*. 12-20.
- Thibier M. (2004). Stabilization of numbers of in vivo collected embryos in cattle but significant increases of in vitro bovine produced embryos in some parts of the world. *Embryo transfer newsletter*. 12-19.
- Thibier M. (2005). Significant increases in transfer of both in vivo derived and in vitro produced embryos in cattle and contrasted trends in other species in 2004. *Embryo transfer newsletter*. 11-17.
- Thibier M. (2006). Transfers of both in vivo derived and in vitro produced embryos in cattle still on the rise and contrasted trends in other species in 2005. *IETS newsletter*. 24 (4), 12-18.
- Thibier M. (2007). Data retrieval committee statistics of embryo transfer – year 2006. New records in the numbers of both in vivo-derived and in vitro produced bovine embryo around the world in 2006. *IETS newsletter*. 1.25(4), 15-20.
- Thibier M. (2008). Data retrieval committee statistics of embryo transfer-year 2007. The worldwide activity in farm animals embryo transfer. *Embryo transfer newsletter*. 4-9.
- Torres, A. P., Jardim, W. R. (1977). *Criação do cavalo e de outros eqüinos*. São Paulo: Nobel.
- Werr, A., Stjernberg, T. (2003). Exploring Management Consulting Firms as Knowledge Systems. *Organization Studies*, 24(6), 881-908.
- Winter, R. (2008). Design Science Research in Europe. *European Journal of Information Systems*. 17, 470–475.
- Woods, G. L., White, K. L., Vanderwall, D. K., Li, G. P., Aston, K. I., Bunch, T. D., Meerdo, L. N., Pate, P. L. (2003). A mule cloned from fetal cells by nuclear transfer. *Science*, 301, 1063-1065.

ANNEXE IV : DYNAMIQUE DU TROUPEAU DE JUMENTS – SOLUTION INTENSIVE

(SI) : 1, 4, 8, 12 clones/cycle

SI, production : 1 clone/cycle, Période T=3 ans, 2 cycles																																									
Mois	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Total			
Valide?	VRAI	VRAI																																							
dispo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	17	21	7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	17	18		
repos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	8	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	0		
pleines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	4	4	4	4	2	2	2	2	0	0	6	5	4	4	4	4	2	2	2	2	2	0	0			
achat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24		
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
Nb de transferts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
TAILLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	21	21	20	19	19	19	19	19	19	19	19	22	21	21	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18	508	
livraison	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
Cout par mois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126	21	21	20	19	19	19	19	19	19	19	37	21	21	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18	628,0		

SI, production : 4 clones/cycle, Période T=3 ans, 2 cycles																																								
Mois	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Total		
Valide?	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
dispo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	7,0	21,0	21,0	21,0	15,0	23,0	9,0	17,0	17,0	17,0	21,0	8,0	18,0	21,0	24,0	11,0	21,0	8,0	16,0	16,0	16,0	18,0	19,0	19,0	19,0	19,0	21,0	22,0	24,0	25,0		
repos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	8,0	8,0	8,0	0,0	10,0	2,0	4,0	6,0	8,0	14,0	8,0	6,0	4,0	10,0	2,0	10,0	2,0	2,0	2,0	4,0	2,0	4,0	4,0	4,0	2,0	2,0	0,0			
pleines	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	5,0	10,0	15,0	19,0	17,0	20,0	19,0	16,0	14,0	10,0	16,0	11,0	8,0	6,0	12,0	9,0	12,0	11,0	10,0	10,0	6,0	6,0	4,0	4,0	2,0	2,0	0,0	0,0			
achat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	6,0	14,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49	
X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8	
Nb de transferts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	14,0	14,0	14,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
TAILLE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	21,0	27,0	40,0	45,0	44,0	42,0	40,0	39,0	38,0	37,0	39,0	39,0	38,0	37,0	35,0	34,0	33,0	32,0	30,0	29,0	28,0	28,0	28,0	27,0	27,0	27,0	27,0	26,0	26,0	25,0	1009			
livraison	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0				
Cout par mois	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	126,0	21,0	57,0	110,0	75,0	44,0	42,0	40,0	39,0	38,0	37,0	49,0	39,0	38,0	37,0	35,0	34,0	33,0	32,0	30,0	29,0	28,0	28,0	28,0	27,0	27,0	27,0	27,0	26,0	26,0	25,0	1254			

SI, production : 8 clones/cycle, Période T=3 ans, 2 cycles																																							
Mois	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Total	
Valide?	VRAI																																						
dispo	0	21	21	21	21	21	15	23	21	15	23	9	19	22	11	22	21	21	21	21	16	26	13	21	9	18	20	23	26	29	32	33	35	36	38	39	39		
repos	0	0	8	8	8	8	8	0	10	12	6	16	10	8	16	8	14	14	14	12	12	4	12	6	16	8	10	8	8	6	6	4	4	2	2	0	0		
pleines	0	0	6	11	15	19	23	21	24	27	23	26	21	18	20	15	18	21	23	25	27	23	26	23	24	21	16	14	10	8	4	4	2	2	0	0	0		
achat	21	14	6	6	6	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	10	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	
X	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
Nb de transferts	0	14	14	14	14	14	0	14	14	0	14	0	14	0	14	14	14	14	14	14	0	14	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TAILLE	21	35	41	46	50	48	46	56	55	54	52	51	50	48	47	55	58	60	61	58	55	53	51	50	49	47	46	45	44	43	42	41	41	40	40	39	39	1757	
livraison	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	
Cout par mois	126	105	71	76	80	48	46	116	55	54	52	51	50	48	47	105	83	80	76	58	55	53	51	50	49	47	46	45	44	43	42	41	41	40	40	39	39	2192	

SI, production : 12 clones/cycle, Période T=3 ans, 2 cycles																																							
Mois	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Total	
Valide?	VRAI																																						
dispo	0	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	18	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	57		
repos	0	0	8	8	8	8	8	8	10	12	14	16	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	10	10	10	10	10	10	8	6	4	2	0		
pleines	0	0	6	11	15	19	23	27	29	31	33	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	29	24	20	16	12	8	6	4	2	0	0		
achat	21	14	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	129	
X	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	
Nb de transferts	0	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TAILLE	21	35	41	46	50	54	58	62	66	70	74	76	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	74	71	68	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	2405
livraison	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Cout par mois	126	105	71	76	80	84	88	92	96	100	104	96	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	74	71	68	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	3050

SMI, production : 8 clones/cycle, Période T=3 ans, 2 cycles																																								
Mois	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Total		
Valide?	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	
dispo	0,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	17,0	14,0	11,3	9,4	7,4	6,9	7,1	21,4	21,0	21,0	18,0	16,6	15,5	13,4	12,5	10,1	9,5	7,4	8,9	9,1	15,0	17,7	20,1	22,4	24,2	25,9	27,4	28,6	29,6	30,6	31,0			
repos	0,0	0,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	6,3	7,1	8,0	9,4	10,3	12,3	10,1	16,9	15,9	14,7	12,1	10,6	8,9	8,7	9,9	10,1	11,3	11,6	11,6	7,9	7,0	6,1	5,4	4,6	4,1	3,0	2,1	1,3	0,7	0,0			
pleines	0,0	0,0	6,0	11,0	15,0	19,0	23,0	25,7	25,8	25,4	24,8	23,6	20,6	16,9	19,2	21,1	22,3	23,3	24,3	25,8	24,9	24,4	23,3	23,0	20,3	18,3	14,5	11,3	8,9	6,6	4,9	3,0	2,1	1,3	0,7	0,0	0,0			
achat	21,0	14,0	6,0	6,0	6,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	10,0	3,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,0
X	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0
Nb de transferts	0,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	11,0	9,0	7,0	6,0	4,0	4,0	1,0	14,0	14,0	14,0	12,0	11,0	10,0	8,0	8,0	6,0	6,0	4,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
TAILLE	21,0	35,0	41,0	46,0	50,0	50,0	48,0	46,0	44,2	42,8	41,6	40,7	50,0	58,4	60,1	58,0	55,0	53,0	50,4	48,1	46,1	44,4	42,9	41,6	40,7	39,0	37,4	36,0	35,1	34,4	33,6	33,1	32,5	32,1	31,6	31,4	31,0	1562,1		
livraison	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4			
Cout par mois	126,0	105,0	71,0	76,0	80,0	60,0	48,0	46,0	44,2	42,8	41,6	40,7	100,0	108,4	75,1	58,0	55,0	58,0	50,4	48,1	46,1	44,4	42,9	41,6	40,7	39,0	37,4	36,0	35,1	34,4	33,6	33,1	32,5	32,1	31,6	31,4	31,0	1957,1		

SMI, production : 12 clones/cycle, Période T=3 ans, 2 cycles																																									
Mois	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Total			
Valide?	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	
dispo	0,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	18,0	29,0	32,0	35,0	38,0	41,0	44,0	47,0	50,0	53,0	56,0	57,0				
repos	0,0	0,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0	0,0				
pleines	0,0	0,0	6,0	11,0	15,0	19,0	23,0	27,0	29,0	31,0	33,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	29,0	24,0	20,0	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0	2,0	0,0	0,0				
achat	21,0	14,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	129,0	
X	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,0	
Nb de transferts	0,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
TAILLE	21,0	35,0	41,0	46,0	50,0	54,0	58,0	62,0	66,0	70,0	74,0	76,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	74,0	71,0	68,0	66,0	65,0	64,0	63,0	62,0	61,0	60,0	59,0	58,0	57,0	2405,0		
livraison	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		
Cout par mois	126,0	105,0	71,0	76,0	80,0	84,0	88,0	92,0	96,0	100,0	104,0	96,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	74,0	71,0	68,0	66,0	65,0	64,0	63,0	62,0	61,0	60,0	59,0	58,0	57,0	3050,0		

ANNEXE VI : DES DECISIONS STRATEGIQUES POUR LA PRODUCTION

Dans la Partie de II de la thèse nous avons démontré que la planification de la production dans la CBC demande l'utilisation d'un ensemble d'outils de planification (MRP, ordonnancement, PERT) orchestrés par un pilotage stratégique capable d'optimiser l'organisation inter-ateliers prenant en compte la gestion de l'aspect vivant des machines biologiques. L'objectif de cette annexe est de discuter les décisions stratégiques à prendre en compte par une unité de production de clones équins lors de la planification de son activité.

I. LA LOCALISATION DEPEND DU FOURNISSEUR D'OVOCYTES

Comme la production est dépendante d'un fournisseur rare, la localisation du producteur de clones dépendra de la localisation du fournisseur choisi. Cela impose une réflexion approfondie sur ce fournisseur, sa localisation et les relations possibles avec le même. Plusieurs études abordent la question de la gestion et de la collaboration avec les fournisseurs (Kraljic, 1983 ; Handfield et Nichols, 1999).

L'évolution récente des modes de gestion des entreprises a généré un nouveau modèle de relation avec les fournisseurs. L'objectif de ce nouveau concept de gestion de la chaîne d'approvisionnement est de créer de la valeur entraînant un processus d'intégration et de collaboration optimisant les activités internes et externes des entreprises engagées dans cette dynamique (Kogan et Tapiero, 2007 ; Calvi, 2005 ; Agrawal et Sheshadri, 2000).

Cependant, peu d'acteurs traitent la question d'approvisionnement dans des situations où la conception et la production sont simultanées, se déroulant sous grande incertitude de demande, gérées sous forme de projet et fortement dépendantes de rares fournisseurs de la principale matière-première dont le marché n'est pas structuré.

Nous proposons une grille de réflexion pour supporter la prise de décision sur la localisation d'un acteur du clonage. Cette grille permettra dans un premier temps de faciliter la sélection des candidats le plus sérieux et par la suite d'éclairer des solutions envisageables dans ce type de situation.

Dans le cas du clonage, la matière première ne se conserve pas et sa production n'est pas dépendante du besoin du producteur mais résultante de la demande en viande pour la

consommation humaine. La première partie de la grille est un exercice visant établir une relation entre la capacité de production d'un fournisseur et sa capacité à supporter la production. Chaque séance de production doit compter sur l'accès à une matière-première fraîchement produite. Nous avons proposé de confronter le besoin moyen du composant en question (ovocytes/projet) avec la capacité d'abattage des fournisseurs potentiels. Cette confrontation permet de déterminer le nombre de séances d'abattage/manipulation nécessaires pour produire un clone (Tableau 1).

Tableau 1 : Relation entre le besoin d'ovocytes/clone et capacité d'abattage d'un fournisseur.

Rendement moyen - clonage	Capacité d'abattage		Capacité de production d'ovocytes		Besoin/lignée clonée
N ovocytes/clone	N chevaux	N juments	N ovaires	N ovocytes	N séances
1000	10	5	10	30	33
1000	20	10	20	60	17
1000	30	15	30	90	11
1000	40	20	40	120	8
1000	50	25	50	150	7
1000	60	30	60	180	6
1000	70	35	70	210	5
1000	80	40	80	240	4

Source propre. Combinaison de la moyenne de la nomenclature flexible avec les informations récoltées auprès des fournisseurs. Le nombre d'ovaires est calculé à partir de l'information des fournisseurs (en général, 50% des animaux abattus sont de femelles. Le nombre d'ovocytes obtenus est une fonction du taux de récolte moyen rencontré dans la littérature (3 ovocytes/ovaire).

Les limites supérieur et inférieur du Tableau 1 ont été déterminées par les capacités maximale et minimale des fournisseurs identifiés sur le terrain. Compte tenu du grand nombre d'ovocytes nécessaires, nous pouvons affirmer que la réalisation de chaque projet demande plusieurs séances de production d'embryons.

Le croisement de ces données avec une étude de l'ordonnancement de la main d'œuvre nécessaire pour la production montre que des capacités d'abattages en dessus de 50 chevaux par séance sont incompatibles avec l'équipe minimale (1 micromanipulateur et 1 assistant). Par ailleurs, une production inférieure à 30 chevaux par séance pourrait être

insuffisante pour assurer une activité de production industrielle. De plus, l'ordonnement de la main d'œuvre montre que l'équipe minimale (2 personnes) est capable de réaliser deux séances de micromanipulations par semaine. Cette première partie de la grille permet donc de déterminer un seuil idéal d'approvisionnement pour supporter la production commerciale de clones : entre 30 et 50 chevaux/séance, 2 à 3 séances/semaine.

Mais cette phase de la planification est stratégique pour l'activité et vise aussi à supporter la décision sur la localisation de l'activité de production. Comme les ovocytes doivent être récoltés des ovaires et mis en maturation dans les 6 heures que suivent l'abattage, l'unité de production doit se situer près du fournisseur.

La suite de la grille proposée s'appuie sur la réflexion sur l'ensemble de facteurs externes pouvant influencer la performance générale de l'unité de production et la réflexion portant sur le type de relation à adopter entre le fournisseur et le producteur.

L'analyse des facteurs externes influe principalement sur la localisation d'une unité de production (pays et/ou ville). Cette analyse peut être très difficile à réaliser. Quels facteurs retenir pour cette étape ? Comment les classer ? Afin de transposer nos questions théoriques sur la réalité nous avons imaginé l'adaptation de l'arbre des options, originaire de la théorie des options comme un outil qualitatif pour orienter cette sélection.

Dans cet exercice, nous avons évalué la question sur la localisation en relation aux pays accueillant les fournisseurs potentiels. La présence de savoir-faire local, de coûts de production favorables, d'un marché local potentiel et de concurrence ont été considérés comme étant les principaux facteurs externes pouvant influencer sur la performance d'une unité de production. A ces paramètres retenus nous avons attribué une notation « up » (u), si positif, ou « down » (d), si négatif pour l'installation d'une unité de production dans les pays en question.

Tableau 2 : Quatre paramètres influençant la localisation d'une unité de production.

Niveau	1	2	3	4
Paramètre	Savoir-faire	Coûts de production	Marché potentiel	Concurrence
u	Existence	Bas	Existence	Absence
d	Absence	Haut	Absence	Existence

L'arbre des options a été construit à partir de la caractérisation des paramètres. La capacité des pays possédant des fournisseurs présélectionnés à accueillir une unité de production ont pu être comparés qualitativement.

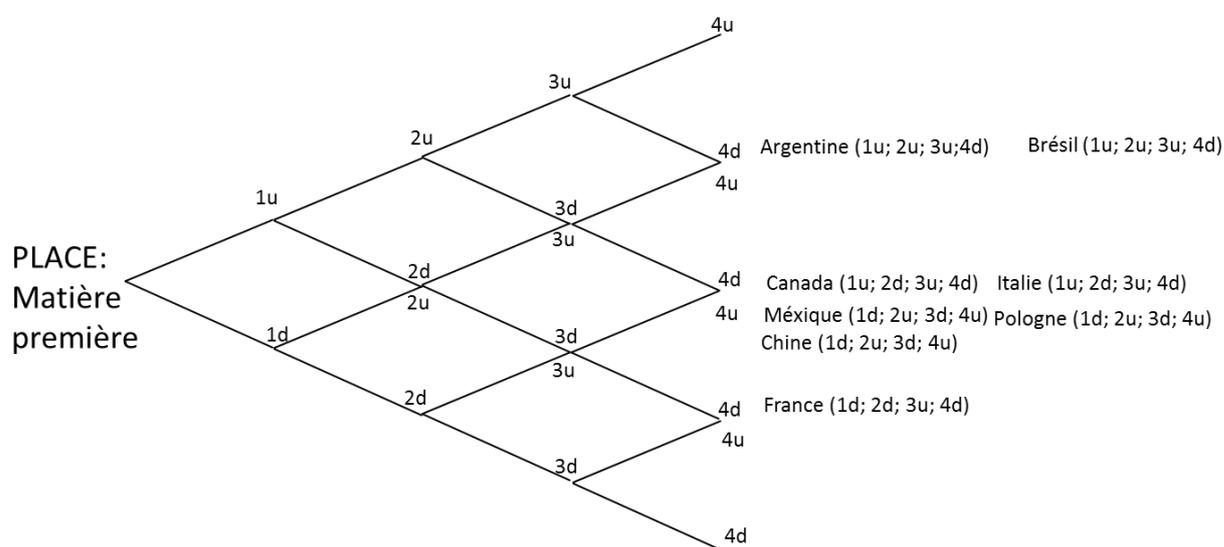


Figure 1 : L'arbre des options de localisation d'une unité de production.

Malgré le caractère qualitatif de ce schéma de classification, il nous semble suffisamment précis pour aider à établir un classement des pays qui pourront être étudiés plus en détail par la suite. Dans l'échantillon étudié, l'Argentine et le Brésil figurent à la première place du classement des pays où une installation pourrait être envisagée. En effet, en plus d'une grande capacité de production de matière première, ces pays possèdent un marché potentiel représenté par des races nationales dont ils cherchent à promouvoir l'amélioration génétique et une main d'œuvre formée et/ou en formation. En plus, les coûts d'entretien des animaux sont faibles comparés aux coûts européens. Cependant, dans les deux pays, la

concurrence s'est déjà installée (2 acteurs en Argentine et 1 acteur au Brésil). En Argentine, la concurrence entre producteurs pour les ovaires d'abattoir a engendré une surenchère du prix des ovaires. Le seul abattoir capable de fournir pour la production commerciale et pas encore sous contrat (ou arrangement) avec des concurrents, se situe à La Pampa, à 600km de Buenos Aires, avec un accès limité (seulement par voie routière). Ce type d'informations récoltées surplace contribuent à affiner le classement établi par l'arbre des options.

Suite au classement des pays candidats, la grille propose de réfléchir sur le type de relation à établir entre les acteurs. L'incertitude de la demande empêche le producteur de prévoir son besoin en matière-première à l'avance et de planifier des commandes régulières auprès d'un fournisseur. Cette situation associée au risque de concurrence entre les acteurs potentiels contribue à complexifier la relation entre ces deux acteurs. Le producteur se trouve dans une situation de fragilité par rapport au fournisseur, surtout, lorsqu'une concurrence entre différents acteurs pour la matière-première s'installe.

Dans un essai de terrain réalisé en France nous avons testé deux situations extrêmes : pour le premier partenaire, nous avons proposé un partenariat d'approvisionnement tel que pratiqué par certains acteurs du clonage représenté par l'absence de compromis d'achat. Pour le deuxième partenaire, la proposition comprenait l'achat de l'ensemble de sa production dans une relation gérée par un contrat.

En l'absence de contrat entre les acteurs le producteur s'est retrouvé en situation d'extrême fragilité. Le manque d'engagement officiel du fournisseur vis-à-vis du producteur a engendré un manque d'intérêt de son personnel à récolter les ovaires lors de l'abattage. Le résultat a été une instabilité de l'approvisionnement. Dans le cas d'une production complexe, cette situation peut déstabiliser toute la chaîne de production et engendrer un besoin de ré-planification de l'activité de l'ensemble d'acteurs du processus. En plus, cela peut engendrer des retards de livraison et l'augmentation des coûts de production. Pour contrer ce problème, le producteur est obligé de placer un de ces employés sur la chaîne d'abattage pour récupérer les ovocytes, parfois dans des situations d'absence totale hygiène, ce qui peut augmenter le risque de perte de matériel par contamination. Dans cette expérimentation la situation s'est rapidement dégradée jusqu'à l'imposition de la part des employés de l'organisation d'une cagnotte pour le personnel. Cagnotte qui était souvent subtilisée par le chef des employés.

Contrairement, l'achat de l'ensemble de la production du fournisseur sous engagement par contrat, a permis d'obtenir la matière-première de façon régulière et sans difficulté majeure au niveau de l'organisation. La difficulté identifiée dans ce cas a été la négociation sur le prix de l'ovaire. Comme observé en Partie I de la thèse, lorsque le marché fournisseur n'est pas structuré, les règles de prix ne sont pas établies et les opportunités de la part des fournisseurs peuvent se traduire par un prix excessif de la matière première.

Cette expérimentation permet d'observer que le contrat est un outil indispensable pour assurer l'approvisionnement de façon convenable. Ce résultat est en accord avec d'autres études qui montrent l'importance des contrats comme outils de sécurisation du respect des engagements des parts (Nakhla, 2001). Parallèlement, la valeur générée par le producteur pour le fournisseur sera décisive pour motiver son engagement dans l'approvisionnement d'ovaires.

L'enjeu dans cette situation est celui d'engager le fournisseur sur l'ensemble de sa production pour éviter la concurrence par la matière-première de façon que cet engagement ne soit pas handicapant pour l'économie du producteur. En l'absence de règle établie sur le prix de cette matière, cet enjeu se traduit en un besoin de trouver le compromis gagnant-gagnant pour obtenir la matière première de façon durable. Pour le producteur, exposé à un marché de niche, de plus en plus concurrencé et contraint par l'incertitude de demande, tout coût excessif peut être décisif pour engendrer une perte de compétitivité.

Notre grille d'analyse propose alors une fourchette d'engagement au-delà de laquelle le producteur ne peut pas s'engager sous risque de perdre en compétitivité. Cette fourchette repose sur trois possibilités d'engagement dont les engagements respectifs sont gérés par contrat.

La première possibilité représente un engagement minimum d'achat à un prix indexé sur le prix de la viande chevaline et selon besoin du producteur. Cette proposition est simple et peut être calculée à partir d'un simple pesage de la production de la séance :

$$E_{min} = (P \times pk)$$

Où :

E_{min} = Engagement minimum

P = Poids des ovaires récoltés dans la séance

pk = Prix du kilogramme de viande chevaline dans le marché

Cette solution représenterait le bas de la fourchette : un engagement minimum de la part du producteur représenté par la seule garantie du paiement de la matière-première nécessaire pour assurer ses activités selon son besoin. Cependant, cette grande flexibilité génère une fragilité pour cet acteur. En effet, ce contrat n'établit aucune barrière contre les nouveaux arrivants souhaitant s'approvisionner auprès de ce même fournisseur. Dans cette situation, la position du producteur devient moins confortable. En présence de concurrence, des tensions importantes pour la matière première peuvent apparaître et favoriser une surenchère des prix. Par ailleurs, le caractère spéculatif des fournisseurs vis-à-vis de cette matière imposera une difficulté d'accord au prix exact du kilogramme de la viande.

A l'opposé, nous avons déterminé l'engagement maximal supportable par le producteur vis-à-vis du fournisseur. Il est généralement accepté dans les différents marchés que, dans les industries non manufacturières, le coût des matières premières et du matériel nécessaire pour produire un produit peut atteindre jusqu'à environ 30% de son coût de production. Dans le cas du clonage, il est important d'observer que l'ovaire est la matière première de l'atelier ovocytes. Les autres ateliers sont concernés par d'autres matières premières. Nous avons alors proposé que l'engagement maximal acceptable par le producteur soit équivalent à 30% des coûts liés à l'atelier ovocytes.

Par ailleurs, les ovaires ne représentent pas la matière première que sera effectivement utilisée dans le processus. En effet, les ovocytes utilisés sont récoltés dans les ovaires grâce à un travail long, précis, demandeur d'une quantité importante de main d'œuvre et de matériel.

Cela veut dire que l'achat des ovocytes obtenus ne peut pas attendre plus de 30% des coûts de cet atelier. La limite de coût supportable dans une unité de production doit être calculée selon la main d'œuvre et les autres matériels nécessaires pour l'obtention des ovocytes prêts à être mis en maturation (prêts pour le démarrage du processus). Le calcul doit prendre en compte la condition d'optimisation suivante :

$$**E_{max} \rightarrow C1 + Co < 0,3(C1 + C2 + C3 + Co)**$$

Où,

E_{max} = Engagement maximum

C1 = coût de matières et du matériel, autres que les ovaires, nécessaires pour produire un lot d'embryon ;

C2 = Autres coûts variables nécessaires pour produire un lot d'embryons ;

C3 = Coûts Fixes nécessaires pour produire un lot d'embryons ;

Co = Coût des ovaires nécessaires pour produire un lot d'embryons

Cette réflexion a permis de délimiter les limites minimale et maximale supportable pour un acteur pour l'achat d'ovaires d'abattoir. Le prix d'achat des ovocytes (Po) doit être alors contenu dans la fourchette de suivante :

$$**E_{min} < Po < E_{max}**$$

Mais le commerce d'ovaires a une tendance naturelle à atteindre le prix fort et au fur et à mesure que de nouveaux concurrents entrent sur le marché cette tendance s'intensifie laissant peu de marge de manœuvre pour le producteur. Afin d'inverser cette situation de fragilité vis-à-vis du fournisseur, nous proposons une troisième solution que permet au producteur de payer un prix/ovaire en dessous du maximum de la fourchette tout en renforçant l'engagement du fournisseur envers son activité. Cette troisième option consiste à augmenter artificiellement l'importance du producteur pour le négoce du fournisseur.

Cette option est possible à travers l'achat d'autres prestations du fournisseur. Par exemple, la logistique d'acheminement des ovaires de l'abattoir jusqu'au laboratoire, ou le loyer de la structure physique pour installer le laboratoire, ou encore l'association du fournisseur à la production.

Cette solution nous semble la plus adaptée à ce type de producteur trop dépendant du fournisseur et dont le besoin en matière première est incertain.

Cette grille de réflexion stratégique sur la gestion de l'approvisionnement peut maintenant être décrite dans la Figure 2.

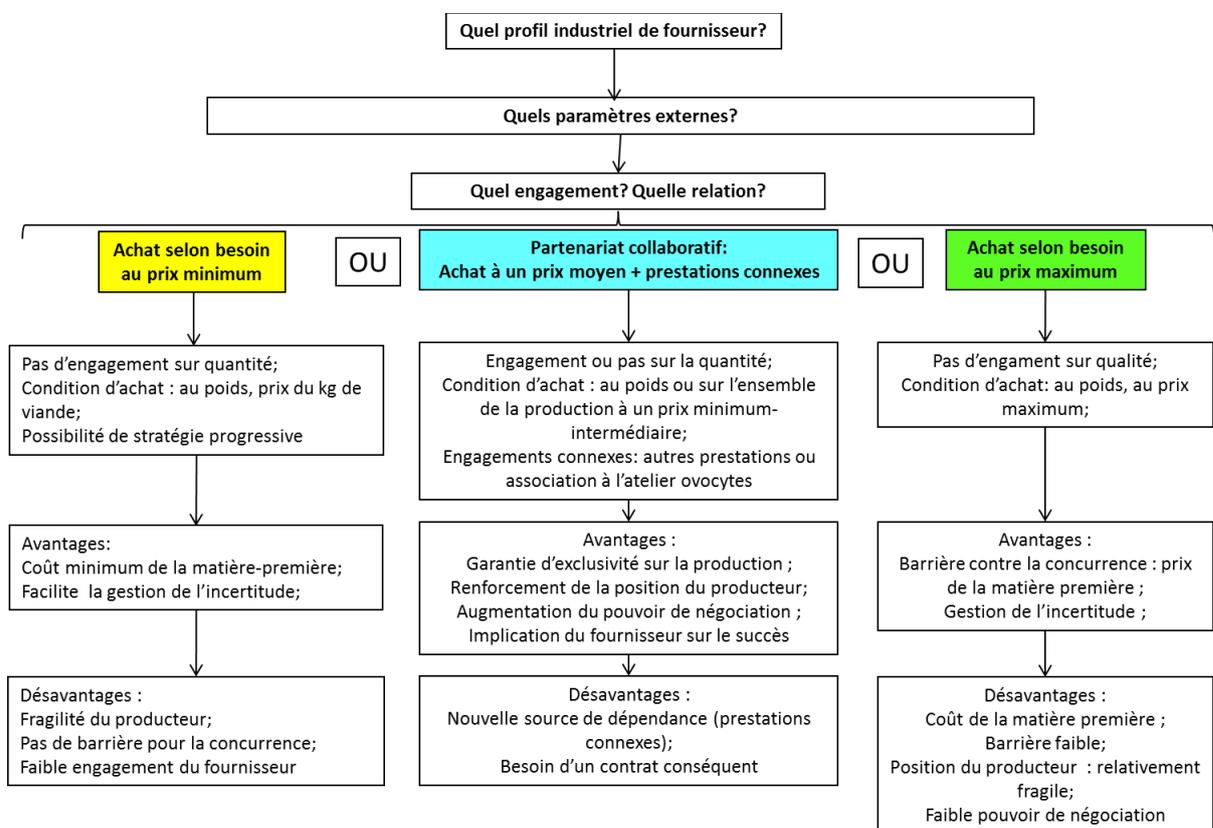


Figure 2: Grille de réflexion stratégique sur le fournisseur rare.

II. L'ORDONNANCEMENT DE LA MAIN D'ŒUVRE DE L'ATELIER OVOCYTES COMME OUTIL POUR DETERMINER LA CAPACITE DE PRODUCTION

La main d'œuvre représente un paramètre déterminant de la capacité de production. En effet, elle est rare et coûteuse. L'étude de son ordonnancement permet d'établir la capacité

de production optimale d'une équipe minimale. A partir de cette information il est possible d'analyser les outils disponibles pour l'expansion de sa capacité. Dans cette section nous discutons le besoin de cette étude de l'ordonnancement comme outil pour mesurer la capacité de production.

II.1. L'ordonnancement du travail comme outil pour déterminer la capacité de production

Les observations de terrain ont permis d'établir qu'une équipe minimum de 2 personnes peut supporter la production de clones. Mais les observations n'ont pas permis d'établir la capacité maximale de production d'une telle équipe.

Dans une unité de production biologique, une équipe peut réaliser différentes tâches (sur différents projets) simultanément. Cela est possible grâce aux temps d'attente nécessaires entre deux manipulations cellulaires. Ce temps d'attente correspond au temps nécessaire pour la progression d'une cellule dans son cycle cellulaire afin d'être « prête » à être manipulée à nouveau. Cela veut dire que le LT pour obtenir un composant ne représente pas le temps de travail effectif pour le réaliser. Une simulation de l'ordonnancement de l'équipe du laboratoire est alors nécessaire pour déterminer cette capacité de production.

L'étude de l'ordonnancement du travail doit prendre en compte les aspects physiologiques des ovocytes et des cellules. Notre exercice comprend des ovocytes triés en deux classes : les COCs compacts et les COCs expansés. Ce tri permet à la fois le respect des timings physiologiques cellulaires et l'agencement du travail de l'équipe de manipulateurs. Dans l'espèce équine, les COCs compacts sont nombreux mais tendent à être moins compétents à la maturation et au développement embryonnaire que les COCs expansés (Hinrichs 2005 ; Torner et al., 2010) et les auteurs préconisent un temps de maturation différencié entre ces deux familles. Pour l'exercice, nous considérons donc ces deux classes d'ovocytes comme montre la Figure 3.

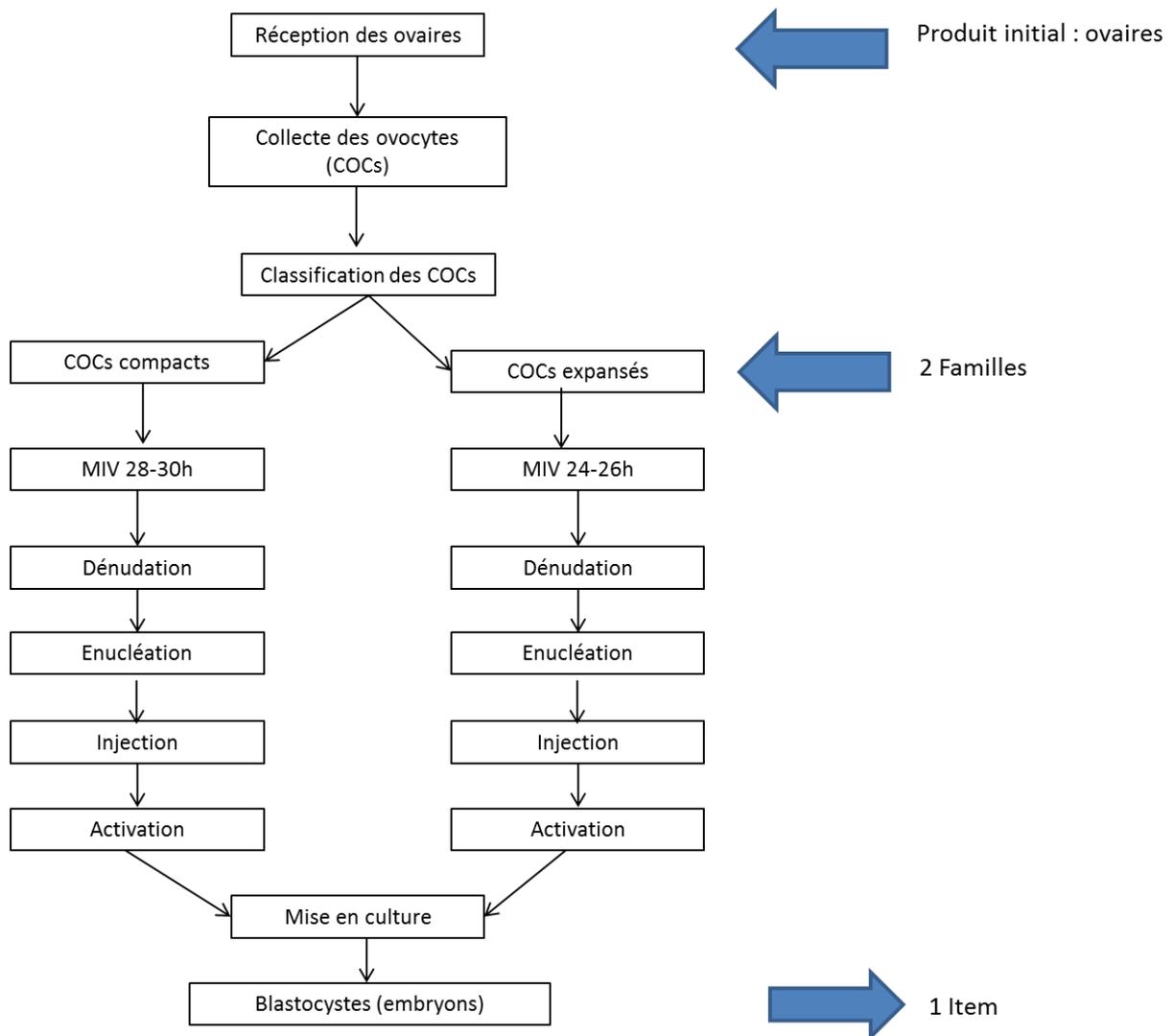


Figure3 : Découpage technique de l'atelier ovocytes avec tri d'ovocytes.

Compte tenu de la symbiose possible entre les ateliers « ovocytes » et « cellules », et l'incertitude de la demande, la simulation d'ordonnancement du travail prend en compte l'ensemble des activités de ces deux ateliers. L'exercice prend en compte la réalisation de séances basées sur une arrivée de 30-50 ovaires / séance de production.

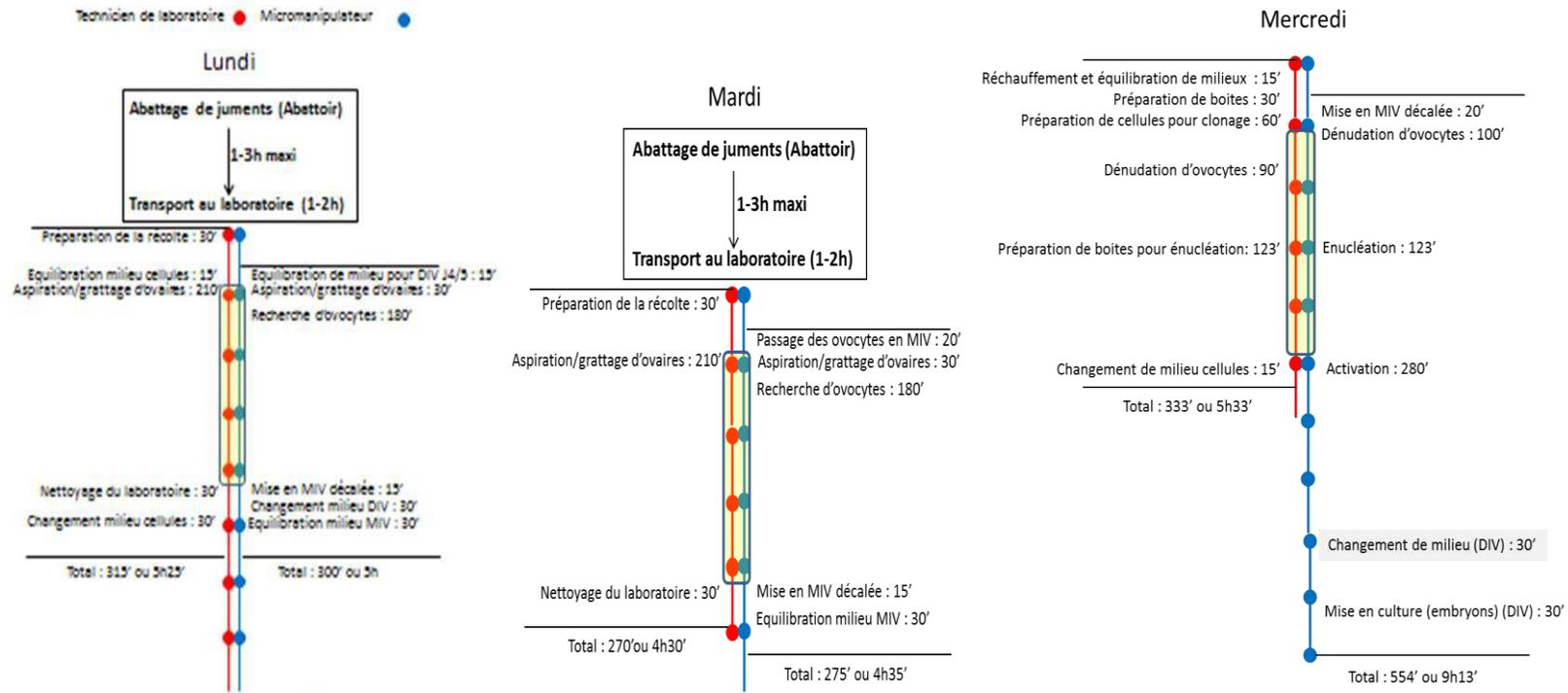
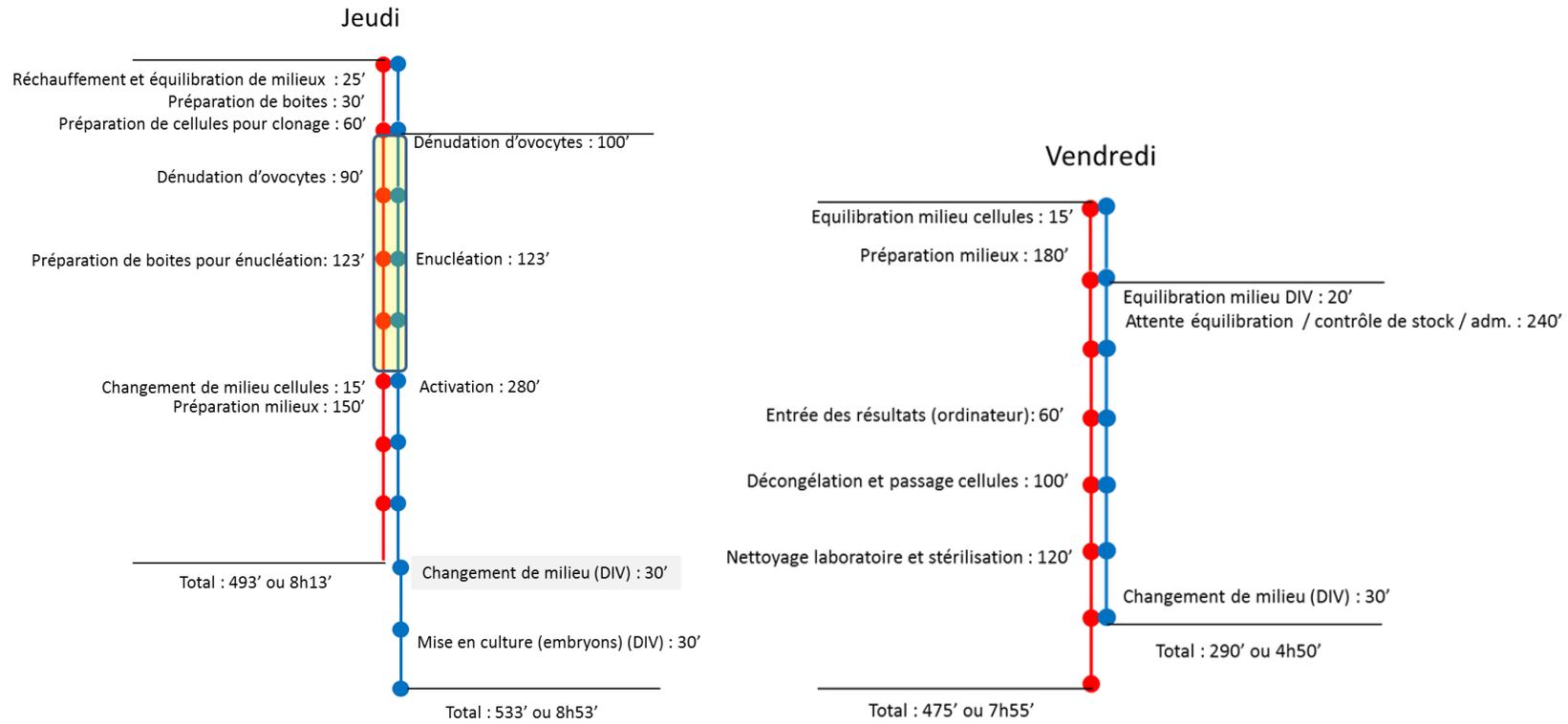


Figure 4 : Ordonnancement de la main d'œuvre de l'atelier ovocytes (équipe de 2 personnes).



Suite Figure 4 : Ordonnancement de la main d'œuvre de l'atelier ovocytes (équipe de 2 personnes).

Au rythme de production proposé le personnel de cet atelier auraient 4 à 9 heures libres par semaine (régimes de travail de 37 ou 40 heures hebdomadaires respectivement). Cette marge est importante pour permettre d'accommoder des cultures de cellules ponctuelles, ou actualiser les banques de données, et surtout pour permettre de compenser des éventuels incidents liés à l'incertitude de l'abattage (par exemple : retard d'abattage).

Tableau 3 : Distribution des heures hebdomadaires de travail du micromanipulateur et de son assistant (technicien de laboratoire) pour une production de clones à raison de 2 séances / semaine.

Employé	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Total
Technicien de laboratoire	5h25	4h30	5h33	8h13	7h55	-	-	31h36
Micromanipulateur	5h	4h35	9h13	8h53	4h50	-	-	32h31

Cet exercice montre que la capacité de production d'une telle équipe est réduite. Considérant l'équipe minimum et un temps de travail compatible avec la plupart des pays occidentaux, une équipe peut réaliser seulement 2 séances / semaine. A ce rythme de travail et considérant le rendement technique moyen, cette équipe est capable de cloner 8 lignées / an. A partir de cet exercice, il est possible de réaliser de nouvelles simulations pour étudier les possibilités d'expansion de la capacité de production.

III. L'ASPECT « VIVANT » DU TROUPEAU DE JUMENTS : UNE STRATEGIE SPECIFIQUE

Dans la Partie II de la thèse, nous avons considéré les juments comme des machines biologiques participant au processus par l'exécution de certaines tâches de la production. Cependant, il est aussi nécessaire de considérer certains aspects typiques des êtres vivants tels que l'alimentation, le logement, les médicaments de base et la main d'œuvre. En effet, le mode de gestion du vivant adopté dans un système influe fortement dans la performance générale du producteur tant au niveau de coûts qu'au niveau de performance technique.

Les exigences vitales d'un troupeau génèrent des questions sur la surface nécessaire, le mode d'alimentation, la main d'œuvre ouvrière et vétérinaire nécessaires et finalement, sur la méthode de gestion de ce troupeau (Miller et al., 2011 ; Nadeau, 2006).

L'objectif ici est de fournir les éléments nécessaires à la compréhension de ces enjeux pour l'espèce équine.

Le Tableau 4 décrit les exigences minimales par jument selon trois méthodes de gestion possibles: l'élevage en pâturage seul (lorsque l'herbe est de qualité et en quantité suffisante pour nourrir le troupeau sans apport majeur en supplémentation) ; en pâturage supplémentation avec de l'aliment concentré et du foin (lorsque la pâture ne suffit pas à répondre aux besoins du troupeau) et enfin pour la gestion d'un troupeau en stabulation (lors d'absence de surface suffisante pour entretenir le troupeau à l'extérieur ou lors de conditions climatiques extrêmes).

Tableau 4 : Surface et alimentation minimum pour garantir le bien-être animal.

Elément de premier besoin	Juments en pâturage seul		Pâturage + concentré		Stabulation	
	besoin/jument	besoin/j+p	besoin/jument	besoin/j+p	besoin/jument	besoin/j+p
Stabulation (m ² /jument)	0	0	0	0	14-16	20
Paddock exercice (*ha/5 juments)	0	0	0	0	0,2*	0,4*
Pâturage (ha)	0,5	0,7	0,5	0,7	0	0
Concentré (kg/jour)	0	0	1,5	2	2	2,5
Foin (kg/jour)	0	0	5	5	10	13
Eau (L/jour)	20	27	20	27	20	27
Supplément minéral (g/jour)	20	25	20	25	20	25

Besoin standardisé pour des chevaux de 500kg de Poids Vif.

A partir de ces informations initiales nous pouvons modéliser l'aspect vivant de cet atelier.

II.1. La structure physique

La structure nécessaire pour accueillir les juments représente des surfaces non négligeables et dont le coût est très variable selon les régions et selon les installations requises. Ce paramètre peut donc représenter un vrai enjeu pour l'atelier « animaux ». La structure nécessaire est calculée à partir de la taille maximale du troupeau et le mode d'élevage choisi. Les systèmes d'élevage en pâturage (P) ou en stabulation (B) sont évalués dans cette section.

Pâturage seul (P)

Cette méthode d'élevage est idéale d'un point de vue sanitaire et comportemental puisqu'elle permet aux juments de marcher librement, un besoin naturel des chevaux. De plus, l'entretien des animaux sur pâture permet de réduire considérablement le risque de troubles digestifs (une des premières causes de besoin de soins vétérinaires). Cependant, dans des pays tempérés, il peut être difficile de l'adopter tout au long de l'année. Pendant l'hiver, la production de matière verte peut être insuffisante et il n'est pas conseillé de maintenir les animaux en extérieur lorsque les conditions climatiques sont trop mauvaises, sauf en présence d'abris.

Dans des pays tropicaux, il est parfaitement envisageable d'adopter cette méthode d'élevage pendant toute l'année. Il est tout de même important de surveiller la qualité des prés pendant les mois de sécheresse afin de s'assurer que les juments puissent se nourrir correctement.

Toutefois cette méthode nécessite de disposer d'une grande surface pour héberger toutes les juments.

La surface nécessaire peut être calculée comme suit:

$$Sp_x = a_p J_x + b$$

Où,

Sp_x est la surface nécessaire pour la production de X clones/cycle, en utilisant la méthode d'élevage en pâturage

J_x = nombre maximum de juments pour assurer une production de X clones/cycle

a_p = surface minimale nécessaire/jument en système de pâturage

b = surface nécessaire pour contenir les box de poulinage, les paddocks des juments avec poulains au pied, le laboratoire de transfert d'embryons et des structures pour le stockage de matériel, médicaments et nourriture et un petit bureau.

Stabulation (B)

La stabulation est une option de gestion lorsque les surfaces agricoles se font rares ou trop chers. Il est en effet possible de réduire considérablement la surface nécessaire pour loger un nombre similaire d'animaux. En plus, elle permet de surveiller de près des animaux.

Cependant, cette méthode demande plus de main d'œuvre et une amélioration du niveau technique des employés. Le personnel doit être préparé à détecter rapidement tout problème sur un animal, doit être capable de maintenir les installations propres afin de réduire les risques sanitaires et contrôler la présence d'animaux pouvant transmettre des maladies (rats, pigeons, etc).

Par ailleurs, cette méthode d'élevage demande plus de bâtiments, bien aérés et spacieux afin de maintenir le bien-être animal et réduire les risques de maladies multifactorielles. Ces constructions peuvent être relativement simples, mais certaines règles doivent être appliquées. De plus, même si cette option est moins exigeante en surface agricole, elle n'élimine pas le besoin d'exercice des animaux.

La surface nécessaire pour une gestion en stabulation est donnée par :

$$Sb_x = (a_s + c_s)J_x + b$$

Où

Sb_x est la surface totale nécessaire pour la production de X clones/cycle, en utilisant la méthode d'élevage en stabulation

J_x = nombre maximum de juments pour assurer une de X clones/cycle

a_s = surface minimale nécessaire/jument pour maintenir le bien être en système de stabulation

c_s = surface minimale d'exercice/animal

b = surface nécessaire pour contenir les box de poulinage, les paddocks de juments avec poulains au pied, le laboratoire de transfert d'embryons, des structures pour le stockage de matériel, outil, médicaments et nourriture et un petit bureau.

II.2. L'alimentation

Les machines biologiques s'alimentent au repos comme au travail. L'alimentation peut être coûteuse lors qu'il faut recourir à des aliments industriels.

Un troupeau élevé en pâturage seul aura seulement besoin d'un apport en minéraux, si la prairie en est déficiente, et en eau. Cependant, le sol doit être analysé afin de vérifier le besoin éventuel d'engrais. La supplémentation avec un aliment concentré et du foin pendant les périodes de réduction de la production d'herbe doit être envisagé, surtout dans les pays tempérés. Le calcul de la quantité d'aliment dépendra du temps de supplémentation nécessaire.

En stabulation, les juments doivent recevoir un aliment concentré et du foin aux quantités indiquées dans le Tableau 4 afin de fournir les nutriments nécessaires et de maintenir le bon fonctionnement du système digestif.

Ainsi,

$$As_x = Asc_x + Asf_x + Asm_x + Ase_x$$

Où,

As_x = ensemble d'aliments nécessaires pour produire x clone/cycle

Asc_x = quantité d'aliment concentré pour produire x clone/cycle

Asf_x = quantité d'aliment vert sous forme de foin pour produire x clone/cycle

Asm_x = supplémentation minérale pour produire x clone/cycle

Ase_x = eau pour produire x clone/cycle

Ce calcul est réalisé à partir du nombre de juments nécessaires pour produire x clone/cycle.

A des niveaux similaires de production, l'élevage en stabulation demande une surface 3,7 à 8 fois inférieure à celle de la gestion en pâturage. Cependant elle est plus dépensière en aliments : 4 fois supérieure. Ces deux méthodes de gestion doivent être soigneusement comparées afin d'optimiser son impact sur la performance.

II.3. La main d'œuvre

Le besoin en main d'œuvre de cet atelier dépend aussi de la méthode d'élevage et évolue avec la taille du troupeau. Il représente le dernier facteur d'impact sur le choix du système de gestion du vivant. Cet atelier exige un travail sur tous les jours de la semaine : alimentation, veille sanitaire, hygiène des locaux, aide aux manipulations vétérinaires, etc. Le travail de weekend doit donc être considéré pour cet atelier.

II.4. Les soins vétérinaires

La gestion du vivant comprend aussi les soins vétérinaires : soins préventifs, traitements et manipulations nécessaires pour le suivi physiologique des juments. Parmi les soins préventifs, nous pouvons citer des vermifuges, des vaccins, le toilettage de sabots, l'immunisation du poulain à la naissance.

Les manipulations vétérinaires nécessaires pour la réalisation de tâches comprennent les échographies de suivi folliculaire, les diagnostics de gestation, les transferts d'embryons et éventuellement, l'intervention lors de la mise bas.

IV. Conclusion

Les aspects liés au fournisseur d'une matière première rare, à la localisation, à la capacité de production (dépendante de la main d'œuvre) et à la gestion de l'aspect vivant des machines biologiques sont des décisions stratégiques pour la production de clones. Ils peuvent avoir un impact important sur la performance technique et économique d'un acteur

producteur. Ces questions sont communes à d'autres CBC puisqu'elles peuvent dépendre aussi de fournisseurs rares (ou d'accès difficile), de main d'œuvre rare et de machines biologiques dont la gestion influe la performance générale du producteur.

V. REFERENCES

Agrawal V. et Seshadri S., 2000. Risk intermediation in supply chains. *IIE Transactions*, 32, pp. 819-831.

Calvi Richardet al., 2005. Coopérer en conception pour améliorer les supply chains de demain. Un défi pour les entreprises virtuelles. *Revue française de gestion*, 156, pp. 187-202.

Giard V., Midler C. (éds.), 1993. Pilotages de projet et entreprises : diversités et convergences, *Economica*, Paris.

Handfield R., Nichols E. Jr., 1999. Introduction to supply chain management, *Prentice-Hall*, Upper Saddle River (NJ).

Hinrichs K., Choi Y.H., Love L.B., Varner D.D., Love C.C. & Walckenaer B.E., 2005. Chromatin configuration within the germinal vesicle of horse oocytes: changes post mortem and relationship to meiotic and developmental competence. *Biology of Reproduction*, 72, pp. 1142–1150.

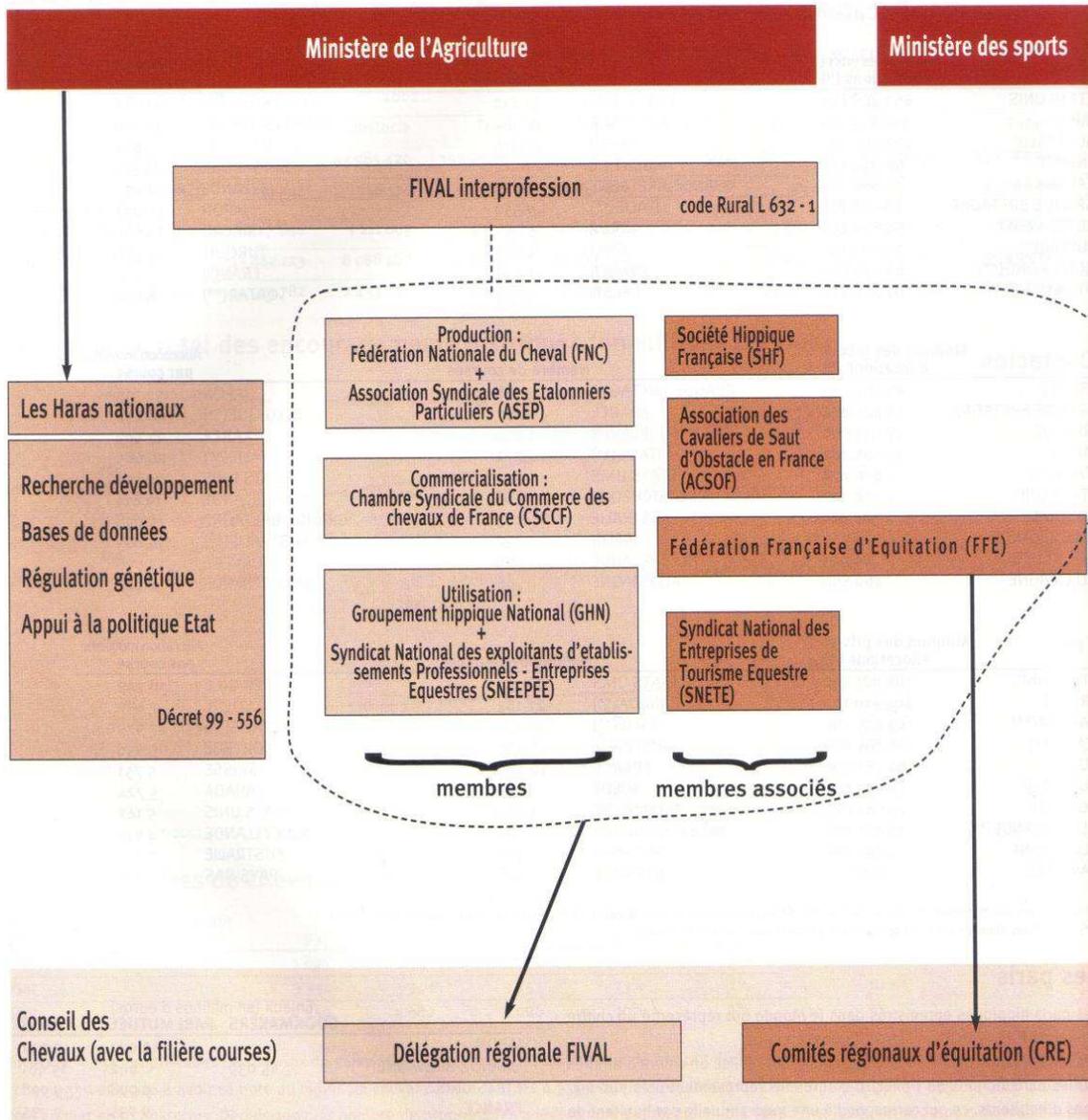
Kogan K. et Tapiero C.S., 2007. Supply chain games: Operations management and risk valuation, *Springer Verlag*, Berlin and New York.

Nakhla M., 2001. Dynamique des contrats et innovation dans l'entreprise : évolution des modes de coordination et régulations économiques des projets. *Gérer et comprendre*, 66, pp.25-37.

Torner H., Alm H., Kanitz W., Goellnitz K., Becker F., Poehland R., Bruessow K.P. & Tuchscherer A., 2007. Effect of initial cumulus morphology on meiotic dynamic and status of mitochondria in horse oocytes during IVM. *Reproduction of Domestic Animals*, 42:2, pp.176-83.

ANNEXE VII : L'INDUSTRIE DU CHEVAL EN FRANCE

Organisation du secteur sport - loisir- travail



Source : HN 2008. Annuaire Eccus 2008.

RESUME

Les sciences du vivant ont connu des développements technologiques importants dans les dernières décennies. Dans les années 90 et 2000 le monde a assisté à l'apparition de plusieurs technologies *a priori* prometteuses telles que le clonage de mammifères, la transgène animale et végétale ou encore les traitements thérapeutiques par des cellules souches. La littérature spécialisée dans le domaine est riche en publications sur les aspects technico-expérimentaux de ces technologies et, malgré la difficulté technique encore apparente dans les publications, les auteurs sont optimistes quant à la réalisation de ces technologies de façon commerciale.

Ces avancées technologiques se sont accompagnées de l'émergence d'une nouvelle industrie du vivant. Les entreprises de ce nouvel environnement sont rapidement reconnaissables par leur besoin intensif de connaissance, leur haut niveau de spécialisation et des compétences hautement spécialisées. Mais, malgré ce caractère innovant, et le développement d'un nouveau marché à haute valeur ajoutée, les entreprises qui se lancent sur ces activités sont fréquemment affrontées à des difficultés économiques.

Nous avons souhaité analyser cette nouvelle industrie du point de vue gestionnaire afin de comprendre les difficultés de gestion rencontrées par les acteurs. La littérature académique et empirique traite peu les questions managériales de ces technologies. Généralement, chaque technologie y est traitée de façon très individualisée de façon à ce que chaque technologie soit reconnue comme une entité particulière, presque unique. Ce contexte engendre l'impossibilité d'avoir une vision unifiée et générique de ces industries.

Nous avons alors proposé de concevoir un modèle générique permettant de discuter les caractéristiques managériales génériques de cette industrie. Cet effort de conceptualisation est utile dans un premier temps pour comprendre les difficultés de gestion rencontrées par les entreprises dédiées aux technologies récentes du domaine du vivant. Par la suite, le concept peut être utile pour la proposition d'améliorations managériales.

La Théorie C-K a été mobilisée pour faciliter l'organisation des informations disponibles et les structurer de façon à en faire des connaissances mobilisables pour la conception du modèle générique souhaité. La collecte des informations a été réalisée à l'aide d'une étude de cas, telle que décrite par Eisenhardt (1989). Comme il existe une grande variété de technologies dans cette industrie, nous avons décidé de développer le concept à partir du cas d'une technologie spécialement touchée par les difficultés entrepreneuriales : celle du clonage équin.

Le travail a été réalisé selon trois niveaux : la conceptualisation initiale, la planification de la production et le développement du marché. A chaque niveau, plusieurs poches de connaissances (littérature du vivant, littérature de gestion et informations de terrain) étaient mobilisées pour la finalisation du concept. Une fois l'effort de conceptualisation achevé, le concept est intégré aux poches de connaissances en tant que connaissance nouvelle.

Dans un premier temps, nous avons traité le concept d'**une caractérisation générique des technologies du vivant du point de vue du management**. Nous avons proposé d'appeler le concept résultant une « Conception Biologique Complexe » (**CBC**). La CBC concerne

1) les technologies du vivant ; 2) développées par des multiples acteurs (besoin de connaissances multiples) ; 3) avec une grande incertitude technique et commerciale ; 4) dont la conception et la production sont réalisées simultanément et gérées sous forme de projets ; 5) dont le marché est encore désorganisé à tous niveaux (fournisseurs, producteurs, consommateurs). L'ensemble de ces caractéristiques complexifient l'activité de gestion et rapproche cette industrie de celle des systèmes complexes traités dans d'autres domaines tels que l'aéronautique. Cependant, l'aspect vivant (biologique) rajoute un niveau de complexification aux modèles complexes traditionnellement étudiés.

Dans un deuxième temps nous avons conçu **un modèle de planification adapté aux CBC**. La planification d'une activité CBC doit prendre en compte l'incertitude biologique et la gestion de « machines biologiques » employées dans certaines phases de la production. Ces deux facteurs nécessitent l'utilisation d'une combinaison de plusieurs outils de planification industriels tels que le MRP, le PERT et l'ordonnancement, adaptés aux aléas biologiques (par exemple, par l'établissement d'une nomenclature arborescente flexible de composants nécessaires pour lancer la réalisation d'un projet). La gestion de l'aspect vivant des « machines biologiques », souvent négligé en utilisant les outils de planification purement industriels, doit être prise en compte. En effet, ces « machines » consomment et « tombent en panne » aussi bien au travail qu'au repos. L'optimisation de la gestion de cette ressource est importante pour la performance économique d'un acteur.

Enfin, nous avons développé la conception d'« **un marché performant pour la CBC** ». Les connaissances disponibles ont montré que le marché de la CBC est désorganisé et majoritairement primaire (producteurs → consommateurs). L'incertitude de la demande, la fragmentation du marché et la difficulté à atteindre les consommateurs tend à imposer aux acteurs un rythme d'activité sous-optimal et difficilement rentable. Par ailleurs, la forte concurrence entre les acteurs complique les relations et réduit les possibilités de réalisation de partenariats pour le développement technologique nécessaire à l'industrie. Ce nouveau marché nécessite une restructuration. Dans la configuration proposée, les groupes de chercheurs s'organisent sous forme de plateformes hybrides servant aux autres acteurs comme un partenaire pour l'amélioration technologique mais aussi en réalisant la production commerciale pour d'autres acteurs et/ou pour des éleveurs. Une nouvelle figure apparaît : le web prescripteur. Ce nouvel acteur a un rôle d'intermédiaire entre les consommateurs et les producteurs, tout en garantissant son indépendance vis-à-vis d'un fournisseur unique et en évitant de s'impliquer directement dans l'achat ou la vente de la CBC ou de son produit. Il sera capable d'apporter aux consommateurs la lisibilité des différentes offres selon les contrats et les prix. Pour garantir son existence, cette figure doit atteindre un maximum de consommateurs potentiels en respectant une structure de coûts supportable par l'industrie. Compte tenu des caractéristiques du marché, son action doit s'étendre au marché international. Cependant, le marché actuel n'est pas compatible avec le rôle traditionnel du prescripteur. D'où l'intérêt pour cet acteur de se développer sur internet. Des questions se posent alors sur les caractéristiques de cet acteur. Assumerait-il une position associative permettant à l'ensemble des acteurs de collaborer pour le développement commercial ? Ou prendrait-il la forme d'une société privée proposant un catalogue de prestataires de service et des avis d'expert sur la CBC ?

Pour conclure, ce travail a permis de caractériser les leviers de gestion de la « Conception Biologique Complexe » (CBC) qui constituent un système de gestion complexe, auquel s'ajoute la question de la gestion de l'aspect vivant des « machines biologiques ». Il est possible de créer un nouveau marché pour le développement de cette industrie en

restructurant le marché afin d'augmenter la capacité d'amélioration technique via des partenariats et une lisibilité des offres vis-à-vis des clients. Ce nouveau marché pourrait bénéficier de la combinaison du marché à prescripteurs existant avec des technologies modernes d'information et de communication, telles que l'internet afin d'augmenter son potentiel commercial.

Mots clés : Conception biologique complexe, innovation, modèle d'affaires, production, singularités

ABSTRACT

Life sciences noticed important technological developments during the last decades. Some promising examples, developed in the 90's and 2000's, were mammals cloning, animal and vegetal transgenesis and the therapeutic stem cells. The specialized literature of the life science domain is rich on technical-experimental publications and despite the technical difficulty still present, the authors are optimistic about their commercial issue.

These technological advances induced the emergence of a new life science industry where the companies are knowledge intensive and highly specialised. Despite the innovative character and the development of a new market of high added value, the companies of this sector often face economic difficulties.

We analysed this recent industry under the managerial point of view aiming to understand the difficulties presented to the managers. Little concern about these problems is available in the specialised literature. In general the technologies are treated individually as an almost unique entity. Under this context it is currently impossible to develop a general overview enabling to study general aspects of this industry.

In this aim we proceeded to design a generical model that could allow discussing the managerial characteristics of the industry. This designing effort was necessary to understand the general difficulties met by the companies specialised in these recent technologies. Thereafter the concept can be used to propose managerial improvements.

The C-K Theory was employed to structure and translate available information in order to make them available for the design of the model. The data was collected under a case study methodology, as described by Eisenhardt (1989). The existence of a rich panel of recent technologies in this domain justifies the need to develop the concept from a unique extreme case, especially affected by managerial difficulties: the case of the equine cloning.

The work was performed under three levels of questions: the first question aimed to build the initial model; the second question concerned the production planning difficulties and the last question was addressed to the market development. At each level, multiple sets of information (life science and management literature and field information) were employed to build the concept. Once the designing effort completed, the concept created was integrated to the set of knowledge as a new knowledge available.

The first concept aimed to establish a general characterisation of the life science technologies under the point of view of management. We proposed to name the resulting concept as « Complex Biological Conception » (CBC). A CBC was defined as 1) a life science technology; 2) developed by multiple players; 3) comprising high level of technical and commercial uncertainty; 4) whose conception and production are performed simultaneously; 5) developed under a market disorganisation in different levels (suppliers, producers, customers). Together, these characteristics contribute to complexify the managerial activity of the industry. This complex managerial system is close to the one observed in other complex systems like aeronautics. However, the « alive » aspect (biological aspect) adds an additional level of complexity to the models already studied (i.e. aeronautics...).

The second objective was to identify a model of production planning adapted to the CBC. Planning a CBC activity must take into account the biological uncertainty and the management of « biological machines » employed in certain production phases. Managing these two factors under a production point of view requires the combination of multiple industrial planning tools like MRP, PERT and scheduling, adapted to the biological hazards. The adaptation of these tools for the CBC activity includes the establishment of a flexible list of articles needed to launch a project and, additionally, a meticulous planning of the « alive aspect » of the biological machines. Indeed, biological machines must be managed almost similarly either in activity or at rest and their management can affect the economic performance of the actor.

The third objective was to develop a concept of analysis allowing to indicate alternative business models for a CBC industry. The available knowledge showed that the market of the CBC can be disorganised and predominantly primary (producers → customers). The uncertainty of the demand, the fragmentation of the market and the difficulty to reach the customers tend to impose the players a sub-optimal level of activity, compromising the profitability of the activity. Moreover, the strong concurrence adversely compromises relationships between actors and reduce the possibilities of partnering for technological development. This new market may require a structuration effort. In the case of horse cloning the configuration proposed concern researchers and intermediaries. The researchers could be organised under hybrid platforms offering research services for the other actors as a partner for technological development and production services for the local breeders. The new intermediary can be represented by a web prescriber. This actor would have an intermediary role between costumers and producers, ensuring his independence towards a unique actor and avoiding to be directly involved on buying and selling the products. This actor should be able to increase the readability of the offers, contracts and prices. To ensure his survival, this actor must attain a maximum of potential customers under an acceptable cost structure for the industry. The market characteristics are currently incompatible with the traditional prescriber working on his personal networking, inducing the proposal of the development on internet. Finally, a reflexion concerning the ideal structure for this actor can be engaged. Indeed the actor can adopt an associative position contributing to enhance the collaboration between actors for the commercial development of the industry or evolve under a private structure proposing a catalogue of service providers and expert advice service.

In conclusion, this work allowed the characterisation of some levers for the management of the « Complex Biological Conception » (CBC) that is a complex managerial system including the management of « biological machines ». The analysis of a CBC market structure can indicate new market development possibilities via the restructuration of actors contributing to the setup of partnerships to improve technical advances and to improve visibility of the offers by the clients. The restrained market can justify the development of a new actor combining traditional and innovative models allowing to attain a larger number of clients under a cost structure acceptable for the industry.

Key words : Complex biologic Conception, innovation, business model, production, singularity