



HAL
open science

ECODESIGN INTEGRATION IN SMEs - PROPOSAL FOR A KNOW-HOW APPROPRIATION METHOD FOR ENVIRONMENTAL PRODUCT DESIGN

Stéphane Le Pochat

► **To cite this version:**

Stéphane Le Pochat. ECODESIGN INTEGRATION IN SMEs - PROPOSAL FOR A KNOW-HOW APPROPRIATION METHOD FOR ENVIRONMENTAL PRODUCT DESIGN. Humanities and Social Sciences. Arts et Métiers ParisTech, 2005. English. NNT : 2005ENAM0021 . pastel-00001708

HAL Id: pastel-00001708

<https://pastel.hal.science/pastel-00001708>

Submitted on 24 Apr 2006

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.

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers
Centre de Paris

THÈSE

présentée pour obtenir le grade de

DOCTEUR
de
L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
D'ARTS ET MÉTIERS

Spécialité : Génie Industriel

par

Stéphane LE POCHAT

INTEGRATION DE L'ECO-CONCEPTION DANS LES PME :
Proposition d'une méthode d'appropriation de savoir-faire pour la conception
environnementale des produits.

soutenue le 18 novembre 2005 devant le jury composé de

M.	A.	BERNARD	P.U., IRCCYN, Ecole Centrale Nantes	Rapporteur
M.	D.	MILLET	P.U., Supméca, Toulon	Rapporteur
M.	P.	ROUSSEAU	P.U., IRIAF, Université de Poitiers	Président du jury
Mme.	I.	BLANC	Docteur, EPFL, Lausanne	Examineur
M.	D.	FROELICH	P.U., Institut ENSAM Chambéry	Directeur de thèse
Mme.	G.	BERTOLUCI	M.d.C., ENSAM, Paris	Co-directeur de Thèse
M.	F.	BARNABE	Responsable éco-conception, CETIM	Membre invité

INTEGRATION DE L'ECO-CONCEPTION DANS LES PME – PROPOSITION D'UNE METHODE D'APPROPRIATION DE SAVOIR- FAIRE POUR LA CONCEPTION ENVIRONNEMENTALE DES PRODUITS

RESUME: La montée des préoccupations sociétales au sujet de l'environnement se traduit notamment par une pression réglementaire croissante sur le monde industriel. Les produits émanant de la société de consommation étant à l'origine du phénomène de dégradation généralisé de l'environnement, l'éco-conception se trouve être, pour les entreprises, le processus « naturel » pour assumer leur rôle dans la préservation des ressources et de l'environnement. Or, l'état de l'art européen sur l'éco-conception dans les entreprises montre que la prise en compte des contraintes environnementales dans la conception des produits, bien que réalité industrielle, est encore un phénomène émergent. Les PME, en raison du volume de produits mis sur le marché qu'elles représentent, et de la difficulté qu'elles éprouvent à intégrer toute nouvelle contrainte qu'elles ne jugent pas stratégiques, constituent logiquement une cible prioritaire pour l'intégration de l'éco-conception.

La problématique de l'intégration de l'éco-conception dans les entreprises trouve son origine, d'une part dans un déficit culturel environnemental, d'autre part dans le fait que, les outils d'éco-conception ayant été développés en dehors du monde industriel, les aspects organisationnels de l'intégration n'ont pas été considérés. Nous proposons donc dans ce travail de recherche une méthode d'intégration de l'éco-conception – la méthode MAIECO – permettant, par l'intermédiaire de processus d'apprentissage organisationnel, une gestion du changement dans l'entreprise, et visant l'appropriation par celle-ci de sa propre démarche. Cette méthode s'appuie notamment sur un outil original d'analyse environnementale des produits – l'outil ATEP – permettant l'apprentissage d'une base minimale de connaissances environnementales par les membres participants de l'entreprise, lors de la phase d'analyse du processus d'éco-conception.

Mots-clés: *apprentissage organisationnel, analyse environnementale, analyse typologique, ATEP, éco-conception, gestion du changement, MAIECO, méthode d'intégration, PME, produits*

ECODESIGN INTEGRATION IN SMEs – PROPOSAL FOR A KNOW- HOW APPROPRIATION METHOD FOR ENVIRONMENTAL PRODUCT DESIGN

ABSTRACT: The rising societal concerns about environmental issues result in particular in an increasing lawful pressure on the industrial world. The products from the consumer society are at the origin of the generalized phenomenon of degradation of the environment. For this reason, ecodesign represents for the companies the "natural" process to assume their role in the safeguarding of the resources and the environment. However, the european state of the art on ecodesign in the companies shows that the taking into account of the environmental constraints in the product design, although industrial reality, is still an emergent issue. Because of the volume of products they represent, and of the difficulties they have to integrate all new constraint that they do not consider strategic, SMEs must constitute a priority target for the integration of ecodesign.

The problems of ecodesign integration in the companies find its origin, on the one hand in an environmental cultural gap, on the other hand in the fact that, the ecodesign tools having been developed apart from the industrial world, the organizational aspects of integration were not considered. We thus propose in this study an ecodesign integration method – the MAIECO method - allowing, through an organizational learning process, an organizational change management in the company, and aiming at the appropriation by this one of its own ecodesign approach. This method lies in particular on an original tool for environmental analysis of the products – the ATEP tool - allowing the participating members of the company to acquire the minimal basis of environmental knowledge during the analysis phase of the ecodesign process.

Keywords: *ATEP, change management, ecodesign, environmental analysis, integration method, MAIECO, organizational learning, products, SMEs, typological analysis*



REMERCIEMENTS

Je tiens ici à remercier toutes les personnes qui, par leur contribution directe ou leur soutien, m'ont aidé pour que je mène à bien ce travail de recherche.

Merci aux Miens, merci à mes amis nantais, mais aussi montluçonnais, grenoblois, ...et maintenant chambériens.

Je tiens en premier lieu à exprimer ma très profonde reconnaissance à Gwenola BERTOLUCI pour son engagement dans ce travail de thèse et son soutien enthousiaste. Sa vision des choses, qu'elle a su me faire partager, la rigueur de ses méthodes de recherche et l'exigence qu'elle a su formuler à mon égard ont contribué à l'aboutissement et à l'originalité de ce travail de thèse. Elle m'a appris le travail de chercheur. Que ceux qui jugeront que ce travail peut être qualifié de qualité considèrent qu'elle en fut un rouage essentiel.

Je tiens à remercier sincèrement Daniel FROELICH pour m'avoir proposé de réaliser ce travail de recherche et avoir accepté de diriger cette thèse.

Je remercie les personnes ayant accepté de juger ce travail de thèse, et plus particulièrement Dominique MILLET et Alain BERNARD pour avoir assumé la tâche de rapporteurs.

Je souhaite remercier vivement toutes les personnes de l'Institut ENSAM de Chambéry pour le soutien qu'ils ont su m'apporter. Une mention toute particulière à Sabine FEROU pour sa disponibilité et la qualité de ses « services ».

Que mes collègues du « plateau thésards », thésards ou non, déjà docteurs ou futurs docteurs (Carole courage tu tiens le bon bout !), trouvent ici l'expression de mon amitié.

Merci à toutes les personnes du GTT 4 du laboratoire CPI, et notamment Jean-François BASSEREAU, pour leur aide critique, enthousiaste, et pour la bonne humeur qui se dégage de ce groupe. C'est un lieu d'échanges d'idées que j'ai particulièrement apprécié et qui m'a ouvert je pense des perspectives nouvelles ... c'est tout ce que je recherche.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance au CETIM, qui a financé cette thèse et a accepté de l'encadrer sur le plan industriel. Parmi les nombreux collaborateurs du CETIM ayant accepté de m'aider dans ce travail, je tiens notamment à remercier tout particulièrement Franz BARNABE pour ses contributions critiques et enthousiastes, et pour avoir su à plusieurs reprises endurer mon caractère « rugueux ». Merci également à Vincent MOULIN pour ses conseils avisés de concepteur de produit.

J'adresse par ailleurs mes très vifs remerciements à la société DANFOSS SOCLA qui a accepté d'être partie prenante de ce travail et a ainsi contribué à l'enrichir. Je veux ainsi remercier en particulier Laurent FERIOL (Responsable BET) pour avoir porté le projet en interne et pour l'énergie qu'il a su déployer pour promouvoir l'éco-conception dans l'entreprise, ainsi que Gérard DEMICHEL et Nicolas MUSACCHIO pour leur soutien (et leur bonne humeur). Je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à Jacques CHAIZE (PDG) pour l'accueil enthousiaste qu'il m'a réservé dans son entreprise et pour l'intérêt qu'il a porté à nos travaux.

Je souhaite enfin témoigner ma reconnaissance aux sociétés et personnes suivantes pour avoir, alors que l'éco-conception dans l'industrie n'est encore que dans une phase d'émergence, accepté de m'aider et de m'enrichir ainsi de leur expérience : STEELCASE (André MALSCH), STIE (David GHENO et Willy MARTIN), HILL-ROM (Christophe FLEURY), BOSCH REXROTH (Jean LUROT, Jérôme ATTENOUX).

"La science a fait de nous des dieux avant même que nous méritions d'être des hommes."

(Jean Rostand, Pensées d'un biologiste)

Cet orgueilleux malentendu a conduit les hommes à faire de leur planète l'exutoire de leur folie scientifique.

Des dieux ne l'auraient pas permis.

Saurons nous, à temps, prendre conscience et agir pour nous permettre de continuer à vivre comme des hommes ?

Cette modeste contribution se veut une proposition d'action à destination des industriels ...

Intégration de l'éco-conception dans les PME.
Proposition d'une méthode d'appropriation de savoir-faire pour la conception
environnementale des produits.

SOMMAIRE

Index des figures	7
Index des tableaux	9
Listes des acronymes utilisés dans le texte	11
INTRODUCTION	13

CHAPITRE 1

CONTEXTE : LA LOGIQUE DE L'ECO-CONCEPTION DANS LE DOMAINE DU GENIE INDUSTRIEL

1. Finalité de l'éco-conception	17
<hr/>	
1.1. Société de consommation et développement durable	17
1.1.1. « L'état de la planète »	18
1.1.1.1. Indicateurs d'un développement non durable	18
1.1.1.2. Conséquences politiques et sociales	22
1.1.2. Responsabilité de la société de consommation	23
1.1.2.1. La société de consommation	23
1.1.2.2. Le mode de consommation des produits	24
1.2. Eco-conception et développement durable	27
1.2.1. Définition et principes de l'éco-conception	27
1.2.1.1. Définition	27
1.2.1.2. Principes	28
1.1.1. Une réponse cohérente pour le volet environnemental du développement durable	31
1.3. Quel niveau d'éco-conception ?	32
1.1.1. Objectifs quantifiés de réduction des impacts environnementaux	33
1.3.1.1. Protocoles internationaux	33

1.3.1.2. Le facteur X	34
1.3.2. Niveaux d'éco-conception correspondant aux différents facteurs X	35
1.3.3. Réalité des objectifs	37
2. Contexte industriel	39
<hr/>	
2.1. L'éco-conception, une contrainte nouvelle pour les entreprises	39
2.1.1. De la prise de conscience sociétale au cadre réglementaire	39
2.1.1.1. Prise de conscience et action internationale	39
2.1.1.2. Cadre législatif et réglementaire dans l'Union	41
2.1.2. Des obligations aux opportunités	46
2.1.2.1. Enjeux stratégiques pour l'entreprise	46
2.1.2.2. Marketing vert : valorisation des produits éco-conçus	47
2.1.3. Une problématique émergente, mais déjà une réalité industrielle	48
2.1.3.1. Emergence	48
2.1.3.2. Réalité industrielle	49
2.2. Importance des PME dans la conception des produits	49
2.3. La demande du CETIM	51
2.3.1. Veille prospective du CETIM	51
2.3.2. Evolution de la demande du CETIM en matière d'éco-conception	52
3. Contexte de recherche	54
<hr/>	
3.1. L'éco-conception, un domaine de recherche du PLM	54
3.1.1. ACV et évaluation environnementale	55
3.1.2. Outils et méthodes d'éco-conception	55
3.1.3. Intégration de l'éco-conception	56
3.1.4. Fin de vie des produits	56
3.2. Les PME comme organisation industrielle	57
3.2.1. Définir le concept de PME	57
3.2.2. PME versus grandes entreprises ?	58
3.3. Constat d'échec de l'intégration de l'éco-conception dans les PME	62
3.3.1. Taux de dissémination	62
3.3.2. Dynamique de dissémination	63
3.4. Gestion du changement	63
3.5. Question de recherche	64

CHAPITRE 2

PROBLEMATIQUE DE L'INTEGRATION DE L'ECO-CONCEPTION DANS LES PME

1. Causes d'échec de l'intégration dans les PME	66
<hr/>	
1.1. Leviers et freins à l'éco-conception	66
1.1.1. Réglementation et demandes clients	66
1.1.2. Barrières perceptives et barrières objectives	68

1.2.	Caractéristiques des PME et facteurs d'intégration de l'éco-conception	69
2.	Intégration de la dimension « E » dans le processus de conception	72
<hr/>		
2.1.	Complexité de la dimension « E »	72
2.1.1.	La dimension « E »	72
2.1.2.	Facteurs de complexité de la dimension « E »	73
2.1.2.1.	Problématique scientifique : somme des connaissances requises	73
2.1.2.2.	Complexité de la science de l'écologie	74
2.1.2.3.	Complexité liée à la transversalité des systèmes	74
2.1.2.4.	Complexité de l'information environnementale	75
2.1.2.5.	Complexité de l'interprétation	76
2.1.3.	Lacune culturelle environnementale dans l'industrie	76
2.2.	Processus d'éco-conception	77
2.2.1.	Deux phases du processus d'éco-conception	77
2.2.1.1.	Evaluation environnementale	79
2.2.1.2.	Conception environnementale	80
2.2.2.	Les outils d'éco-conception	83
2.2.2.1.	Les outils d'évaluation et d'amélioration environnementale	83
2.2.2.2.	Classification des outils d'éco-conception	87
2.2.2.3.	Les outils d'éco-conception sur une échelle des niveaux de maîtrise	89
2.2.3.	Les outils d'éco-conception dans le contexte des PME	94
2.3.	Enoncé de la première problématique	95
3.	Un nécessaire changement organisationnel	96
<hr/>		
3.1.	Précisions sur la notion d'intégration	96
3.2.	Implications de l'intégration de l'éco-conception	97
3.2.1.	Changements induits aux différents niveaux de l'entreprise	97
3.2.1.1.	Les flux d'informations	99
3.2.1.2.	Les relations intra et inter entreprise	99
3.2.1.3.	Le processus de conception	100
3.2.1.4.	La stratégie	101
3.2.1.5.	Les connaissances et les compétences	102
3.2.1.6.	Changement culturel	102
3.2.2.	Conséquences pour l'organisation	104
3.2.3.	Problèmes posés par la gestion du changement	106
3.2.3.1.	Risques d'échec du changement organisationnel	107
3.2.3.2.	La résistance au changement	108
3.2.4.	Gestion du changement	109
4.	Gestion du changement et apprentissage organisationnel	110
<hr/>		
4.1.	Les connaissances et les compétences	110
4.1.1.	Les connaissances	110
4.1.2.	Les compétences	111
4.2.	La création de connaissances	112
4.2.1.	Le moteur de la création de connaissances	112
4.2.2.	Pré-requis à la création de connaissances organisationnelles	116

4.3.	L'apprentissage organisationnel	116
4.3.1.	La notion d'apprentissage organisationnel	116
4.3.2.	Apprentissage et changement organisationnel	118
4.3.3.	Le modèle intégré LAKC	118
4.4.	Enoncé de la deuxième problématique	120

CHAPITRE 3

PROPOSITION D'UNE METHODE D'INTEGRATION DE L'ECO-CONCEPTION DANS LES PME

1.	Hypothèses et modèles	122
1.1.	La phase bloquante de l'évaluation environnementale	122
1.1.1.	Proposition d'une approche différente	122
1.1.2.	L'hypothèse de l'analyse typologique	125
1.2.	ATEP, un « outil expert » d'analyse environnementale	125
1.2.1.	Principe de l'analyse typologique	125
1.2.1.1.	Définition et principe	125
1.2.1.2.	Difficulté de l'analyse typologique	127
1.2.2.	Développement de l'outil ATEP	128
1.2.2.1.	Synthèse des éléments du « cahier des charges »	129
1.2.2.2.	Champ de l'analyse environnementale	130
1.2.2.3.	Hierarchisation versus évaluation	131
1.2.2.4.	L'analyse typologique	132
1.3.	L'objectif du changement organisationnel	148
1.3.1.	Gestion du changement et processus d'apprentissage	148
1.3.2.	L'hypothèse de la gestion du changement par des processus d'apprentissage	149
1.4.	MAIECO, une méthode d'intégration basée sur l'apprentissage organisationnel	150
1.4.1.	Les principes de la méthode MAIECO	150
1.4.2.	La méthode MAIECO	152
1.4.2.1.	Cadre général	152
1.4.2.2.	La démarche d'accompagnement avec MAIECO	152
2.	Expérimentations	164
2.1.	Calage et validation initiale de l'outil ATEP	164
2.1.1.	Choix des cas d'étude	165
2.1.2.	Champ de la comparaison	166
2.1.3.	Résultats obtenus avec la méthode ACV EDIP	167
2.1.4.	Résultats obtenus avec l'outil ATEP	168
2.1.5.	Comparaison des résultats	169
2.1.5.1.	Notion de convergence	169
2.1.5.2.	Résultats des comparaisons pour les dix produits	169
2.1.6.	Analyse et conclusion	170
2.1.6.1.	Résultats des tests de convergence	170

2.1.6.2.	Discussion des résultats	171
2.1.6.3.	Positionnement de l'outil ATEP par rapport à l'ACV	172
2.1.6.4.	Conclusion sur l'outil ATEP	172
2.2.	Mise en œuvre de la méthode MAIECO dans la société DANFOSS SOCLA	173
2.2.1.	Démarche d'accompagnement mise en œuvre	174
2.2.1.1.	L'entreprise DANFOSS SOCLA	174
2.2.1.2.	Le projet pilote	175
2.2.1.3.	Les séquences de l'accompagnement et le déploiement dans l'entreprise	177
2.2.2.	Résultats mesurables de la démarche d'accompagnement	181
2.2.2.1.	Stratégie	181
2.2.2.2.	Processus de conception	183
2.2.2.3.	Connaissances et compétences	186
2.2.2.4.	Amélioration environnementale des nouveaux produits	188
2.2.2.5.	Conclusion sur les modifications réalisées dans l'entreprise	190
2.2.2.6.	Discussion sur les notions d'apprentissage, d'appropriation et d'intégration	191
2.2.2.7.	Conclusion sur la phase expérimentale	196
2.3.	Conclusions sur la méthode MAIECO	196
2.3.1.	Réponses à la question et à la demande initialement posées	196
2.3.1.1.	Réponse à la question de recherche	196
2.3.1.2.	Réponse à la demande du CETIM	197
2.3.2.	Limites de la méthode MAIECO	198
2.3.3.	Originalité de la méthode MAIECO	199
2.3.4.	Perspectives d'améliorations de la méthode MAIECO : mise sous forme logicielle	200
CONCLUSION		203
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		207
	Publications	207
	Textes législatifs, réglementaires et normatifs	217
ANNEXES		219
	Annexe 1	219
	Annexe 2	227
	Annexe 3	239
	Annexe 4	253
	Annexe 5	255
	Annexe 6	267
	Annexe 7	279
	Annexe 8	283
	Annexe 9	289

Index des figures

Figure 1a.	Empreinte écologique des différents pays regroupés par zones continentales (2001)	20
Figure 1b.	Empreinte écologique de l'humanité pour la période 1961-2001	20
Figure 2.	Dichotomie entre produit et mode de consommation du produit, et représentation des principaux paramètres influençant les impacts environnementaux	25
Figure 3.	Représentation schématique du cycle de vie environnemental d'un produit	29
Figure 4.	Niveaux d'éco-efficacité en fonction du degré d'innovation produit	36
Figure 5.	Evolution des modes de gestion de l'environnement : d'une gestion « end-of-pipe » et par pays à une gestion intégrée et communautaire	42
Figure 6.	Explicitation de l'origine des champs de contraintes s'exerçant sur l'entreprise en terme d'éco-conception	46
Figure 7.	Marché européen des catégories de produits concernées par l'éco-conception	48
Figure 8.	Positionnement du sujet de recherche dans le cadre du génie industriel	54
Figure 9.	Différentes dimensions typologiques des PME représentées sur un continuum	59
Figure 10.	Illustration de l'interdisciplinarité et de la transversalité de la « science environnementale », à l'origine de la complexité du sujet de l'éco-conception	75
Figure 11.	Intégration des aspects environnementaux dans le processus de conception de produit, d'après la norme ISO 14062	78
Figure 12.	Les deux phases pivot du processus d'éco-conception	79
Figure 13.	Ensemble des sources de contraintes liées à la dimension environnementale, et susceptibles d'être prises en compte par l'entreprise	81
Figure 14.	Classement des outils d'éco-conception, adapté de [Janin 00]	88
Figure 15.	Echelle d'évaluation des niveaux de maîtrise, d'après [Tukker 00a]	90
Figure 16.	Niveaux de maîtrise minimum requis pour l'utilisation des outils d'éco-conception	94
Figure 17.	Flux relationnels et informationnels intra et inter entreprise, dans le cadre de l'éco-conception	100
Figure 18.	Transformation de la vision du produit lors de l'intégration de l'éco-conception	103
Figure 19.	Les composantes de l'organisation, selon [Livian 01]	104
Figure 20.	Relation dynamique entre connaissances et compétences, d'après [Le Boterf 02]	112
Figure 21.	Le moteur de la création de connaissances, d'après [Nonaka 96]	115
Figure 22.	Représentation d'une évolution dynamique des connaissances dans l'organisation	116
Figure 23.	Les boucles de l'apprentissage organisationnel selon [Argyris 00]	117
Figure 24.	Modèle LAKC : un cadre pour mesurer l'apprentissage lors des projets de développement de produits	119
Figure 25.	Synoptique de l'analyse de la question de recherche	120
Figure 26.	Approche simplifiée de la démarche d'éco-conception par restriction du champ d'investigation	123
Figure 27.	Exemples de critères produits fixés par les éco-labels UE pour les ampoules électriques et le papier à copier	124
Figure 28.	Principe de l'analyse typologique	127
Figure 29.	Analyse environnementale typologique basée sur les critères des produits	128
Figure 30.	Expression des résultats de l'analyse typologique environnementale du produit A	132
Figure 31.	Processus de construction de la typologie des critères environnementaux de produit	132
Figure 32.	Arbre de décision pour l'aspect environnemental transports (T)	146
Figure 33.	Séquences de l'algorithme d'analyse typologique environnementale	148
Figure 34.	Illustration du principe de mise à disposition de l'information de la méthode MAIECO	151
Figure 35.	Principe de sélection de l'information pertinente par la méthode MAIECO	151
Figure 36.	Synoptique de la démarche d'accompagnement d'un projet pilote d'éco-conception avec MAIECO	153
Figure 37.	Détail des séquences de l'analyse environnementale	154
Figure 38.	Structure de l'arborescence proposée pour le classement des lignes directrices, depuis les aspects environnementaux jusqu'aux lignes directrices	155

Figure 39.	Principe de la pondération stratégique (exemple) _____	157
Figure 40.	Référentiel environnemental produit (exemple) _____	158
Figure 41.	Synoptique général de notre démarche de recherche _____	163
Figure 42.	Synoptique de la démarche expérimentale de comparaison des résultats _____	165
Figure 43.	Protocole expérimental pour la mise en œuvre de MAIECO sur un projet pilote _____	174
Figure 44a.	Clapet de non retour _____	176
Figure 44b.	Vanne ENODIA motorisée _____	176
Figure 45a.	Résultat de l'analyse du clapet NR 462 avec ATEP _____	178
Figure 45b.	Résultat de l'analyse de la vanne ENODIA motorisée avec ATEP _____	178
Figure 46.	Déroulement de la démarche d'accompagnement réalisée pour l'intégration de l'éco-conception dans la société DANFOSS SOCLA _____	180
Figure 47.	Évolution du clapet de non retour F. 402 vers le clapet F. 462 _____	189
Figure 48.	Faisceau d'arguments permettant de mettre en évidence l'intégration de l'éco-conception _	194
Figure 49.	La méthode MAIECO comme méthode d'intégration et comme outil de capitalisation _____	200
Figure 50.	Modèle général d'intégration _____	205

Index des tableaux

Tableau 1.	Réserves prouvées pour quelques ressources fossiles et minérales de première importance	21
Tableau 2.	Principales catégories d'impacts environnementaux générés par l'activité humaine et types de conséquences	22
Tableau 3.	Ensemble des produits, au sens de la norme ISO 14062, susceptibles de rentrer dans le cadre de l'éco-conception	27
Tableau 4.	Exemple de transferts (non exhaustifs) entre impacts environnementaux liés à des choix de conception	31
Tableau 5.	Illustration, par l'exemple de la voiture, des différents niveaux d'éco-conception	36
Tableau 6.	Conventions et protocoles internationaux pour la protection de l'environnement	40
Tableau 7.	Part relative du nombre de PME, en % du nombre total des entreprises du champ ICS	50
Tableau 8.	" Top 3 " des stimulus et barrières ayant le plus d'influence relative sur l'intégration de l'éco-conception dans les PME	67
Tableau 9.	Stimulus et barrières, « réels » et « perçus », d'après l'étude de [Hemel 98]	69
Tableau 10.	Etude de compatibilité entre leviers pour l'éco-conception et caractéristiques des PME	71
Tableau 11.	Protéiformité des expressions des contraintes environnementales et traduction de ces contraintes en langage des concepteurs	82
Tableau 12.	Types et familles d'outils d'éco-conception	84
Tableau 13.	Typologies d'outils d'éco-conception et critères d'évaluation de ces outils, selon plusieurs auteurs	87
Tableau 14.	Niveaux d'expertise, et compétences et tâches correspondantes, d'après [Clermont 02]	92
Tableau 15.	Types de données nécessaires pour les deux phases d'éco-conception, et localisation de ces données	98
Tableau 16.	Correspondance entre les éléments de l'entreprise modifiés par l'intégration de l'éco-conception et les 4 composantes du modèle d'organisation de [Livian 01]	106
Tableau 17.	Les 3 niveaux de connaissances dans l'activité de conduite de la conception, selon [Merlo 02]	111
Tableau 18.	Les 4 modes de conversion des connaissances d'après [Nonaka 97], et leur description d'après [Lopez 02]	114
Tableau 19.	Modes et critères du modèle LAKC	119
Tableau 20.	Postulats environnementaux	135-39
Tableau 21.	Postulats, critères et valeurs des critères	141-44
Tableau 22.	Explicitation et séquençage des différentes phases de la méthode MAIECO	161-62
Tableau 23.	Dix cas d'études utilisés pour la comparaison expérimentale des résultats obtenus avec ATEP	166
Tableau 24.	Exemple de classement des phases du cycle de vie, respectivement avec et sans prise en compte des contraintes réglementaires	168
Tableau 25.	Exemple de classement des aspects environnementaux par ATEP, respectivement avec et sans prise en compte des contraintes réglementaires	168
Tableau 26.	Tests de convergence des dix produits du protocole expérimental	170
Tableau 27.	Analyse quantifiée des résultats de la série de tests de convergence	170
Tableau 29.	Exemple de déclinaison des lignes directrices en actions stratégiques	183
Tableau 30.	Résultats mesurables obtenus concernant la modification de la stratégie de l'entreprise DANFOSS SOCLA	183
Tableau 31.	Résultats mesurables obtenus concernant la modification du processus de conception	185
Tableau 32.	Éléments expérimentaux de projet pilote participant de la création de connaissances dans l'entreprise	187
Tableau 33.	Bénéfices environnementaux obtenus par la reconception du clapet de non retour F. 402	190
Tableau 34.	Ensemble des modifications apportées dans l'entreprise et permettant de conclure à la réalité d'un changement organisationnel	191
Tableau 35.	Les phases de la méthode MAIECO et leur correspondance avec les modes de conversion des connaissances du modèle LAKC, d'après [Zhang 04]	192
Tableau 36.	Liste des arguments bibliographiques permettant d'établir la conclusion d'une intégration de l'éco-conception	195

Liste des acronymes utilisés dans le texte, et signification

(Entre parenthèses l'acronyme anglais équivalent)

ACP	Analyse en Composantes Principales
ACV	Analyse du Cycle de Vie (LCA)
ADEME	Agence de l'Environnement et de Maîtrise de l'Energie
ASPO	Association for the Peak Oil Study
ATEP	Analyse Typologique Environnementale des Produits
BE(T)	Bureau d'Etudes (Techniques)
CART	Classification and Regression Trees
CdC(F)	Cahier des Charges (Fonctionnel)
CdV	Cycle de Vie
CLRTAP	Convention on Long Range Transboundary Air Pollutants
DfE	Design for Environment
DfD	Design for Disassembly
DEEE	Déchets des Equipements Electriques et Electroniques (WEEE)
EEA	European Environment Agency, www.eea.eu.int
EC	Eco-Conception
EDIP	Environmental Design of Industrial Products
EPA	Environmental Protection Agency (US EPA), www.epa.gov
EPD	Environmental Product Declaration
EuP	Energy Using Products
GES	Gaz à Effet de Serre
HQE	Haute Qualité Environnementale
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IE	Impacts Environnementaux
IFEN	Institut Français de l'Environnement, www.ifen.fr
ISO	International Organization for Standardization
kWhe	Kilo-Watt-heure électrique
LCA	Life Cycle Analysis
LUSD	Limitation de l'Utilisation de Substances Dangereuses (ROHS)
MAIECO	Méthode d'Apprentissage organisationnel pour l'Intégration de l'Eco-Conception
MEDD	Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, www.ecologie.gouv.fr
MINEFI	Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, www.minefi.gouv.fr
OPM	Oil Point Method
ONG	Organisation Non Gouvernementale
PDU	Plan de Déplacement Urbain

PIP	Politique Intégrée de Produits (<i>IPP</i>)
POEMS	Product Oriented Environmental Management System
POPs	Polluants Organiques Persistants (<i>POPs</i>)
QFDE	Quality Function Deployment for Environment
QSE	Qualité Sécurité Environnement
RàPC	Raisonnement à partir de cas
R&D	Recherche et Développement
SMDD	Sommet Mondial sur le Développement Durable (<i>WSSD</i>)
SME	Système de Management de l'Environnement
TQM	Total Quality Management
UE	Union Européenne (<i>EU</i>)
UF	Unité Fonctionnelle
UNEP	United Nation Environment Programme, www.unep.org
VHU	Véhicules Hors d'Usage (<i>EoLV</i>)
WWF	World Wildlife Fund for Nature, www.wwf.org

INTRODUCTION

« *Ce qui est simple est toujours faux. Ce qui ne l'est pas est inutilisable.* »

Cette citation de Paul Valéry¹ résume parfaitement la problématique de cette thèse. La dialectique entre, d'une part la complexité inhérente à la dimension environnementale, transversale et transdisciplinaire, et d'autre part la nécessaire simplicité requise pour son intégration dans le monde industriel, est à l'origine de notre problématique de l'intégration de l'éco-conception dans les PME.

Ce travail de recherche, réalisé à l'institut ENSAM de Chambéry, est issu d'une demande du Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM).

Ces travaux de thèse s'inscrivent dans le cadre d'une recherche-action, fruit d'un besoin établi sur le constat que, une quinzaine d'années après les premières expériences industrielles d'éco-conception dans l'industrie, la part des entreprises ayant intégré l'éco-conception dans leurs pratiques courantes de conception de produits reste anecdotique. Ce constat est particulièrement marqué pour les PME, qui interviennent pourtant dans la production de la majorité des produits mis sur le marché.

Cependant, trois remarques pourraient sembler contredire ce constat :

- D'une part, il est indéniable que le sujet de l'éco-conception suscite l'intérêt des grandes entreprises qui, abordant souvent le sujet sous l'angle de la veille prospective et technologique, y voient sans doute une source potentielle d'innovation. Leur intérêt pour le sujet est d'autant plus vif que, leurs moyens de veille leur ayant permis de sentir « l'air du temps », elles ont rapidement compris les bénéfices marketing qu'elles peuvent en retirer en terme d'image de leurs produits, en ces temps de communication effrénée sur le thème du développement durable.
- D'autre part, la volonté politique, bien que confuse, est exprimée au plus haut niveau, tant au sujet du développement durable que de celui du domaine plus restreint de l'éco-conception. Ainsi, la France déploie-t-elle sa Stratégie Nationale du Développement Durable, tandis que l'Union Européenne affiche sa Politique Intégrée de Produit. La Commission européenne invoque, quant à elle, la nécessité d'inciter à la création d'un marché de produits verts [CCE 01a], afin de susciter l'intérêt des industriels.
- Enfin, la recherche académique a investi, depuis la quinzaine d'années que dure son émergence, le domaine de la conception « écologique » des produits, et a développé outils et méthodes d'aide à l'éco-conception.

La question se pose alors de savoir pourquoi l'éco-conception ne se diffuse toujours pas dans le monde industriel. Certes, les grandes entreprises n'y représentent qu'une minorité. Elles sont pourtant, par leur position de donneur d'ordres, les locomotives du monde industriel, et il peut de ce fait paraître étonnant que le monde des PME reste à l'écart de cette thématique émergente².

¹ Paul Valéry (1942), *Mauvaises pensées et autres*, in *Oeuvres*, Tome II, Gallimard.

² Cette assertion, vraie pour l'Union Européenne, ne s'applique pas, semble-t-il, au cas du Japon, où par culture industrielle, la supply chain est fortement impliquée dans les décisions prises au sommet de la chaîne par les grands donneurs d'ordres [Charter 02].

Nous souscrivons, dans cette thèse, au constat réalisé par plusieurs auteurs expliquant que la principale raison de l'échec de l'intégration tient au fait que les outils et méthodes développés jusqu'à maintenant ne traitent que les aspects techniques, sans traiter les aspects organisationnels. Or, nous montrerons que l'éco-conception induit nécessairement des changements organisationnels et que, par conséquent, ces aspects doivent être abordés dans toute démarche d'intégration de l'éco-conception. Si la Commission européenne, dans son livre vert sur la Politique Intégrée de Produit, affirme effectivement la nécessité de discriminer les approches, en prenant en compte tant les spécificités propres aux différents secteurs industriels que celles liées à la taille des entreprises (PME / grandes entreprises), nous souhaitons, dans le cadre de nos travaux qui s'intéressent en priorité aux PME, aller plus loin, pour développer une approche nouvelle dans l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise.

Ainsi, nous proposons, non pas une méthode d'éco-conception qui serait adaptée aux PME, mais une démarche d'appropriation de l'éco-conception par l'entreprise.

L'éco-conception est par nature complexe, car transversale et interdisciplinaire. Cependant toute intégration de l'éco-conception dans l'entreprise, y compris dans les grandes entreprises, ne peut s'envisager que sous l'angle de la simplicité. La difficulté de l'appropriation réside donc dans la simplification de la complexité du sujet de l'éco-conception.

Comme l'indique la Commission européenne, qui insiste sur la nécessité de positionner l'éco-conception à la confluence de l'offre (clients) et de la demande (industriels), l'éco-conception est un sujet qui se situe au cœur même de la « société de consommation ». Notre travail de recherche s'inscrivant dans le champ du génie industriel, nous n'occulterons pas totalement les aspects sociétaux de l'éco-conception qui contribuent à la formation de l'offre, car ces aspects s'expriment, in fine, dans le processus de conception des produits par l'intermédiaire du cahier des charges.

Le chapitre 1 de cette thèse s'attache à définir l'éco-conception dans toute sa complexité, d'abord en la montrant sous l'angle de sa finalité, puis en la positionnant respectivement par rapport au contexte industriel, puis au contexte de recherche. Ce chapitre, dont l'objectif est de faire émerger la question de recherche objet de cette thèse, a également pour but de faire saisir au lecteur l'étendue du sujet de l'éco-conception et sa complexité qui font ressortir la problématique : comment rendre simple et accessible à l'entreprise, en vue de son appropriation, un sujet aussi vaste et complexe ?

Le chapitre 2 analyse la question de recherche et définit la problématique de l'intégration de l'éco-conception dans les PME. Les causes d'échec de l'intégration, dont le constat est établi dans le chapitre 1, sont mises en évidence. Deux causes ressortent distinctement de l'analyse. Ces causes sont, d'une part l'incompatibilité structurelle des PME avec les moyens requis pour l'éco-conception, et d'autre part le problème posé par l'utilisation des outils d'éco-conception dans une entreprise n'ayant pas envisagé de faire évoluer son organisation pour rendre possible la production de produits éco-conçus. La première problématique qui émerge ainsi est donc celle de l'expertise nécessaire pour l'utilisation des outils, et notamment les outils d'évaluation environnementale.

Puis, nous montrons que l'intégration de l'éco-conception, par la dimension complexe et nouvelle de l'éco-conception, induit nécessairement un changement organisationnel. Nous développons alors la problématique de la création de connaissances, sur laquelle repose le changement organisationnel, afin d'établir un lien entre le changement organisationnel et l'apprentissage dans l'entreprise. Nous montrons que c'est ce processus d'apprentissage organisationnel, sur lequel repose la conduite du changement, qui doit permettre à l'entreprise de franchir l'obstacle que représente l'existence des lacunes culturelles environnementales dans l'entreprise. Le franchissement de ce « gap culturel » environnemental est une condition nécessaire à l'intégration.

Dans le chapitre 3, nous formulons les deux hypothèses constructives sur lesquelles nous nous appuyons pour développer deux modèles distincts mais néanmoins cohérents l'un avec l'autre :

- D'une part, une méthode globale d'intégration de l'éco-conception basée sur des processus d'apprentissage. C'est la méthode MAIECO.
- D'autre part, s'intégrant dans la méthode MAIECO, un « outil expert » d'analyse environnementale des produits reposant sur le principe d'une analyse typologique. C'est l'outil ATEP, développé pour traiter la problématique de l'expertise dans la phase spécifique de l'évaluation environnementale du processus d'éco-conception.

Enfin, la phase expérimentale est explicitée. Elle comprend, d'une part un protocole de tests comparatifs, par rapport à la méthode d'analyse du cycle de vie (ACV), destiné à valider l'outil ATEP, et d'autre part un projet pilote d'accompagnement à l'intégration de l'éco-conception dans la société DANFOSS SOCLA. L'exploitation des résultats obtenus nous permet de conclure à la validité de l'outil ATEP et de la méthode MAIECO.

Les phases expérimentales que nous avons pu mener dans le cadre de cette thèse ne constituent qu'une première validation, tant de l'outil ATEP que de la méthode MAIECO. En effet, l'outil « expert » ATEP repose par principe sur un processus d'amélioration continue, tandis que la méthode MAIECO, construite comme une base de données, s'enrichit continuellement des retours d'expériences réalisées lors des projets d'accompagnement.

Les deux modèles que nous avons développés ouvrent ainsi des perspectives dans le cadre d'une recherche-action menée en collaboration avec le monde industriel des PME.

CHAPITRE 1

Contexte : la logique de l'éco-conception dans le domaine du génie industriel

1. FINALITE DE L'ECO-CONCEPTION

1.1. Société de consommation et développement durable

La société dans laquelle nous vivons, et à laquelle nous nous référons sous le terme de « société occidentale », est basée sur une croissance continue de la « consommation ». Ce modèle de développement requiert des moyens gigantesques, qu'ils soient moyens de production, moyens logistiques, moyens de gestion des déchets engendrés par la consommation. Ces moyens, qui reposent sur l'exploitation des ressources fossiles et minérales, dépassent de beaucoup les capacités, finies, de la planète. De plus, ce modèle, cantonné jusqu'à il y a peu de temps à la portion favorisée des pays riches, soit moins de 20 % de la population mondiale, s'étend, par le processus de mondialisation, à l'ensemble de la planète.

Ce premier chapitre exposera dans un premier temps les conséquences, en termes d'impacts sur l'environnement, générées par ce mode de développement. Puis la responsabilité des produits, en tant qu'objet central de la consommation, dans le phénomène de dégradation de l'environnement¹ à l'échelle mondiale sera mise en évidence, établissant ainsi un lien de causalité direct entre développement non durable et produits, via le biais de la société de consommation.

Cet éclairage justifiera ainsi la nécessité de concevoir des produits qui intègrent, dans leur conception même, la problématique environnementale.

1.1.1. « L'état de la planète »

Depuis que les hommes sont devenus sédentaires au moment de la révolution néolithique (entre - 10 000 et -3 000 ans), l'activité humaine a toujours engendré des impacts sur l'environnement², selon des échelles géographiques plus ou moins étendues [Vindt 05]. Toutefois, le niveau des

¹ Nous retiendrons la définition suivante du terme « environnement », donnée par la norme ISO 14001 : « *Milieu dans lequel un organisme fonctionne, incluant l'air, l'eau, la terre, les ressources naturelles, la flore, la faune, les êtres humains, et leurs interrelations. Dans ce contexte, le milieu s'étend de l'intérieur de l'organisme au système global.* » [AFNOR 04].

² Un impact environnemental est défini par l'ISO comme « *toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme.* » [AFNOR 04]. Pour Rousseaux, un impact environnemental peut être défini comme « *un changement d'état du système cible [composante de l'environnement – homme, faune, flore et écosystème] sous l'action d'un système source [activité humaine]* ». [Rousseaux 98].

bouleversements engendrés par les activités humaines depuis la révolution industrielle est sans commune mesure dans l'histoire de l'Humanité. L'ampleur et la gravité des impacts environnementaux au niveau mondial n'ont fait que croître et s'accélérer, d'abord depuis le milieu du 19^{ème} siècle qui marque le début de la révolution industrielle, puis depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, et ce en dépit des réductions de pollutions spectaculaires réalisées sur les moyens de production. Le Millenium Ecosystem Assessment³, dans son rapport de synthèse, note ainsi au titre de sa première conclusion que « *au cours des 50 dernières années, l'Homme a généré des modifications au niveau des écosystèmes de manière plus rapide, et plus extensive que sur aucune autre période comparable de l'histoire de l'humanité [...]* » [MA 05].

Ainsi, qu'ils soient alarmistes ou « raisonnés », les rapports de tous horizons sur l'état environnemental de la planète en tant que biosphère s'accordent, d'une part, sur le constat d'une détérioration relativement avancée des écosystèmes qui nous abritent, et d'autre part, sur l'urgence d'y apporter des remèdes.

Les problèmes environnementaux sont multiples, qu'il s'agisse de l'effet de serre et sa conséquence plus que probable sur les changements climatiques [GIEC 01], de la destruction de la couche d'ozone, des atteintes à la biodiversité, de la destruction d'écosystèmes, des diverses pollutions et leurs incidences plus ou moins directes sur les humains et les animaux. Sont ainsi répertoriés plus d'une dizaine de catégories d'impacts environnementaux que l'on peut regrouper sous les quatre problématiques suivantes :

- Le changement climatique
- La diminution des ressources biotiques et abiotiques
- Les pollutions
- Les atteintes à la biodiversité

1.1.1.1. Indicateurs d'un développement non durable

Il existe, au niveau mondial, plusieurs organismes nationaux et internationaux, organismes d'Etat ou ONG, ayant développé des indicateurs de mesure de l'état environnemental de la planète et publiant régulièrement des rapports (IFEN en France, EEA pour l'UE, EPA américaine, UNEP pour l'ONU, WWF, Worldwatch Institute, Greenpeace, etc.⁴). Tous les rapports s'accordent sur des conclusions indiquant les mêmes tendances, à savoir :

- dans les pays riches, une amélioration des procédés de production conduisant à une éco-efficacité accrue, c'est-à-dire à une diminution de la quantité de pollution générée par unité de production ;
- au niveau mondial, une dégradation marquée et généralisée de l'environnement.

Les quelques chiffres donnés dans les paragraphes suivants, concernant, au-delà des aspects écologiques et éthiques, des états liés, d'une part, au bien être et à la qualité de vie des humains (capacité biologique de la planète et indicateur de pollution), et d'autre part, à la performance de nos économies et de nos systèmes industriels (disponibilité des ressources), mettent en exergue l'état de détérioration avancé des écosystèmes.

³ www.milleniassessment.org

⁴ Voir les significations des différents acronymes en page 11.

a) Capacité biologique de la planète

Dans son rapport de synthèse, le Millenium Ecosystem Assessment note que « *approximativement 60 % des services d'origine écosystémique⁵ [...] sont en cours de dégradation ou d'exploitation de manière non rationnelle* » [MA 05].

L'indicateur de l'empreinte écologique, créé par le World Wildlife Fund (WWF), permet de fixer de manière simple l'ordre de grandeur de la pression environnementale exercée par l'activité humaine sur la capacité biologique de la planète. Le WWF donne la définition suivante de l'empreinte écologique :

« L'empreinte écologique d'un individu est la somme des six éléments suivants : les surfaces agricoles, de pâturages et marines nécessaires à le nourrir, la surface de forêt nécessaire à produire le bois et le papier qu'il utilise, la surface bâtie nécessaire à le loger et à recevoir les infrastructures qu'il emploie et la surface de forêt absorbant les émissions de CO₂ générées par sa consommation d'énergie. L'empreinte écologique est mesurée en "unités-surface". Une unité-surface est l'équivalent d'un hectare normalement productif.

L'empreinte écologique est une approche qui utilise le besoin en superficie terrestre ou marine biologiquement productive comme indicateur du « poids » d'un groupe humain sur la planète. Pour établir l'empreinte de ce groupe, il faut partir de sa consommation de nourriture, de matières premières et d'énergie pour arriver aux surfaces nécessaires à produire ces ressources naturelles ou, dans le cas de l'énergie, à absorber ses émissions de dioxyde de carbone (CO₂) » [WWF 04].

La figure 1a exprime l'empreinte écologique moyenne des grandes régions géographiques peuplées de la planète. La figure 1b montre l'accroissement constant de l'empreinte écologique entre 1960 et 2000, exprimée en nombre d'équivalent-planètes (1 equivalent-planète correspond à la surface nécessaire, ramenée à la surface de la planète, pour assumer l'empreinte écologique de l'humanité).

La capacité biologique disponible⁶ était en 2001 de 1,8 ha/hab. Cette capacité biologique disponible peut être interprétée comme le niveau à ne pas dépasser pour rester dans les limites d'un développement durable, puisqu'au-delà de ce seuil, nous excédons les capacités de la planète. Or, en 2001, l'empreinte écologique de l'humanité était de 2,2 ha/hab, dépassant de 21% la capacité biologique disponible. Cela signifie qu'en l'état actuel, il faut à l'humanité plus d'une planète, exactement 1,21 planètes, pour assurer son mode de vie. Le seuil de durabilité, correspondant à la surface d'une planète (figure 1b), a été franchi dès le milieu des années 1980, et les scénarios prospectifs prévoient l'équivalent de 2,5 planètes en 2050. L'empreinte écologique de l'humanité a été multipliée par plus de 2,5 entre 1961 et 2001 (+ 160 %), soit une croissance de 4 % par an [WWF 04].

Cet indicateur, s'il peut être jugé simpliste⁷, permet néanmoins de mettre en évidence une réalité qui ne peut pas être niée : l'espace vital et les réserves dont nous disposons sur la planète sont finis, tandis que la population mondiale ne cesse d'augmenter et nos besoins de consommation de s'accroître. Le modèle de notre développement à l'échelle mondiale n'est donc pas durable, et des mesures doivent être rapidement édictées et mises en œuvre (dans un délai de l'ordre de quelques dizaines d'années si l'on se réfère par exemple à l'épuisement des ressources ou à la disponibilité de

⁵ Il faut entendre par services écosystémiques les ressources fournies par les écosystèmes (par exemple nourriture, bois, pétrole) et les fonctions de la biosphère (par exemple cycle du carbone, climat, sols, paysages, etc.) permettant à l'homme de se développer dans son environnement. Une vision anthropocentrique du problème ...

⁶ La capacité biologique disponible à un temps T dépend de deux paramètres évolutifs et en partie interdépendants : d'une part, le nombre d'habitants au temps T, et d'autre part, les surfaces biologiques disponibles au temps T.

⁷ La simplicité de cet indicateur possède par ailleurs des avantages. En effet, il fait appel à des grandeurs mesurables ou estimables avec une bonne précision (surface terrestre cultivable, population mondiale, etc), ce qui permet justement de le mesurer avec une bonne précision, à l'inverse des indicateurs d'impacts environnementaux, pertinents mais dont les calculs donnent des résultats relativement peu précis et peu fiables.

l'eau douce) si l'on veut inverser les tendances constatées, qui indiquent toutes (sauf peut être celles qui concernent la destruction de la couche d'ozone) que les détériorations de notre environnement vont continuer à s'accroître.

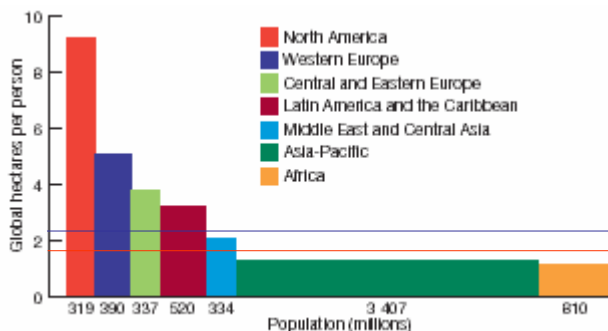


Figure 1a. Empreinte écologique des différents pays regroupés par zones continentales (2001).

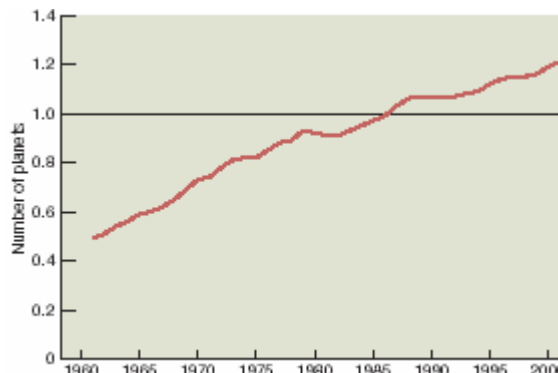


Figure 1b. Empreinte écologique de l'humanité pour la période 1961-2001.

b) Ressources

☐ Ressources fossiles et minérales

Les ressources que nous utilisons pour assurer notre mode vie peuvent être classées en ressources renouvelables et ressources non renouvelables. La notion de renouvelabilité est liée à deux facteurs indépendants, d'une part la vitesse de renouvellement de la ressource, et d'autre part la vitesse de consommation de cette ressource. Une ressource est dite non renouvelable lorsque l'échelle de temps de son renouvellement est très supérieure à l'échelle de temps humaine. Ainsi, les ressources fossiles et minérales, qui s'inscrivent dans des échelles de temps géologiques de l'ordre du million d'années, sont considérées comme des ressources non renouvelables.

Par ailleurs, la plupart des ressources renouvelables, telles l'eau douce, certains bois rares, certaines espèces animales servant à l'alimentation humaine, sont menacées, car le taux de consommation de ces ressources par l'homme excède leur taux de renouvellement. Le tableau 1, qui présente l'état des réserves non renouvelables fossiles et minérales de première importance pour l'industrie, permet de replacer la problématique environnementale dans le champ du génie industriel, et plus particulièrement celui de la conception de produit.

☐ Les ressources pétrolières et le pic de Hubbert

Les réserves prouvées de pétrole n'évoluent guère depuis 1960, variant de 30 ans à un peu plus de 40 ans⁸. Cela s'explique simplement par le fait que la découverte de nouveaux gisements et l'accroissement des capacités d'extraction sont compensés par l'augmentation de la consommation. L'ASPO⁹ affirme que le pic de Hubbert est en passe d'être atteint d'ici quelques années, sans doute à l'horizon de 2010. Le pic de Hubbert ou « peak oil » est le moment à partir duquel la demande en

⁸ Source : BP statistical review of world energy, <http://www.bp.com/>

⁹ Association for the Peak Oil Study, <http://www.peakoil.net/>

pétrole sera supérieure à l'offre, en raison de l'épuisement inévitable de la ressource. Le pic de Hubbert, qui correspond statistiquement au moment où la moitié des réserves ont déjà été consommées, est redouté de tous car, dans un monde dont la croissance économique est indexée sur la consommation de pétrole, le passage de ce pic signifiera nécessairement le début de tensions économiques et géopolitiques.

Ressources	Production annuelle 1990 (1)	Réserves prouvées 1990 (1)	Réserves globales (1)	Réserves prouvées 1990 (1)	Réserves prouvées 1999 (2)
	10 ³ tonnes			années	
Pétrole	3 132 500	135 400 000	-	43	40
Charbon	3 038 300	521 413 000	-	170	230
Gaz naturel (m ³)	2 019 600	124 000 000	-	60	70
Fer	544 300	64 648 000	-	120	-
Aluminium	17 900	3 488 000	-	200	-
Zinc	7 300	144 000	295 000	20	-
Cuivre	8 800	321 000	549 000	36	-
Nickel	940	49 000	108 862	50	-
Plomb	3 400	70 000	120 000	20	-
Uranium (2)	Conso. mondiale / an	Ressources connues	Ressources estimées	Réserves prouvées 1999	
	10 ³ tonnes			années	
	50	4 000	6 300	-	50

Tableau 1. Réserves prouvées¹⁰ pour quelques ressources fossiles et minérales de première importance.
Sources: (1) [Hauschild 98], (2) CEA, www.cea.fr

c) Le nombre de cancers comme indicateur de pollution ?

Le 20^{ème} siècle a vu l'émergence d'une industrie de la chimie de synthèse. De nos jours, des centaines de milliers de substances chimiques sont fabriquées et utilisées dans tous les secteurs industriels et dans tous les domaines de la vie courante. Un document de la Commission européenne sur les substances chimiques indique que la production mondiale de substances chimiques est passée de 1 million de tonnes en 1930 à 400 millions de tonnes aujourd'hui [CCE 01b]. Le même document précise que, en 1981, plus de 100 000 substances étaient enregistrées et produites, et que depuis cette date, 2 700 nouvelles substances ont été mises sur le marché. Or, toujours selon ce document, 99 % du volume des substances chimiques mises sur le marché par les industriels échappe complètement, aujourd'hui encore, à l'évaluation de leurs dangers (requis pourtant par la réglementation mise en place à partir de septembre 1981) et seules 140 substances sur 100 106 sont en cours d'évaluation exhaustive [CCE 01b].

De nombreux scientifiques¹¹ mettent en cause cette absence de gestion des substances chimiques, dont certaines sont extrêmement dangereuses d'un point de vue toxicologique, et les auteurs de

¹⁰ Les réserves prouvées correspondent, pour une ressource donnée, à la quantité récupérable avec une certitude raisonnable dans les conditions économiques et technologiques actuelles. Elles sont donc inférieures aux ressources réelles. Les ressources globales et estimées sont des ressources, soit calculées à partir d'informations géologiques et techniques du réservoir permettant d'envisager une récupération à plus ou moins long terme, soit estimées à partir de quantités portant sur des gisements aujourd'hui inconnus.

¹¹ Voir le dossier Santé et pollution, dans L'Ecologiste n°13, vol 5 (2), 2004.

« l'appel de Paris¹² » affirment que « *la pollution chimique constitue une menace grave pour l'enfant et pour la survie de l'homme* ». Les chiffres disponibles, d'après des statistiques nationales françaises¹³, sur la progression de l'incidence et de la mortalité dues au cancer, indépendamment de l'augmentation de la population et de l'espérance de vie, fournissent, selon nombre de scientifiques comme Reiss, des arguments décisifs pour établir un lien de causalité direct entre dissémination des substances chimiques dans l'environnement et cancers [Reiss 04].

1.1.1.2. Conséquences politiques et sociales

Les conséquences directes de ces atteintes à l'environnement sont évidemment multiples et concernent, au-delà des aspects environnementaux et de l'équilibre de la biosphère, des aspects économiques et sociaux, et donc à l'échelle mondiale, des aspects géostratégiques qui vont notamment se focaliser sur les points suivants :

- La disponibilité et l'accès aux ressources (énergie, matières premières) ;
- La disponibilité et l'accès à l'eau potable ;
- La santé publique ;
- Le patrimoine commun vivant de l'Humanité, la richesse biologique.

Le tableau 2 recense les catégories d'impacts environnementaux liées à l'activité humaine dans le monde, en précisant les types de conséquences engendrées par ces impacts pour les sociétés humaines.

Impact environnemental	Échelle spatiale [Khalifa 99]	Types de conséquences
Augmentation de l'effet de serre	<i>Globale</i>	Climatiques, économiques, sociales, géopolitiques
Diminution de la couche d'ozone	<i>Globale</i>	Santé humaine, écosystèmes, économiques
Formation d'ozone troposphérique	<i>Locale, régionale</i>	Santé humaine, économiques, écosystèmes
Acidification	<i>Régionale</i>	Écosystèmes, santé humaine, économiques
Eutrophisation	<i>Locale, régionale</i>	Écosystèmes, santé humaine, économiques
Epuisement des ressources	<i>Locale, régionale, globale</i>	Économiques, sociales, géopolitiques
Toxicité, écotoxicité	<i>Locale</i>	Santé humaine, écosystème, économiques

Tableau 2. Principales catégories d'impacts environnementaux générés par l'activité humaine et types de conséquences.

Ces conséquences, dont certaines commencent déjà à se manifester (voir la problématique du prix du pétrole et les problèmes liés au prix des matières premières pour l'industrie), vont devenir très vite cruciales. En effet, au-delà des conséquences environnementales directes et de leurs répercussions économiques et sociales, se profilent des enjeux géostratégiques et les tensions entre pays qui peuvent en résulter. Ainsi, la Communauté Européenne, dans les directives qu'elle promulgue dans le cadre de sa politique environnementale, intègre désormais, pour justifier ses décisions, des considérations liées à la garantie et la sécurité de son approvisionnement énergétique, dont l'Europe est presque totalement dépendante des importations [CCE 02].

¹² Voir le texte de « l'appel de Paris » dans le dossier Santé et pollution, dans L'Ecologiste n°13, vol 5 (2), 2004, ou sur le site <http://appel.artac.info/>

¹³ Etude de l'INVS (Institut National de Veille Sanitaire), voir le dossier Santé et pollution, dans L'Ecologiste n°13, vol 5 (2), 2004.

Les rapports des différents organismes au niveau mondial concourent à indiquer de manière objective que l'état environnemental de la planète est très préoccupant, et que la situation risque de devenir grave dans un horizon proche de quelques dizaines d'années. La prise en compte des préoccupations environnementales doit donc s'imposer comme une nécessité. Notamment, et même si la problématique industrielle ne peut être dissociée d'une problématique globale au niveau planétaire, il semble évident que les préoccupations environnementales revêtiront à court terme un enjeu stratégique pour l'industrie sous la forme de l'accès aux ressources fossiles (énergie) et minérales (matières premières).

1.1.2. Responsabilité de la société de consommation

1.1.2.1. La société de consommation

Dans les pays riches, une société de subsistance, liée à la satisfaction des besoins vitaux, a été remplacée par une société de consommation, rendue accessible grâce à la révolution industrielle.

Nombre d'études et de rapports établissent sans ambiguïté la responsabilité de notre société de consommation dans la dégradation avancée de l'état de la planète [WI 04, UN 02, Hofstetter 03, Hertwich 05]. Ainsi, il ne peut être nié que le modèle de développement des pays riches « occidentaux », qui repose sur une société de la consommation, et même plus précisément sur la croissance continue de la consommation, est à l'origine des impacts environnementaux observés sur l'ensemble de la planète. L'ONU reconnaît, dans son rapport du Sommet Mondial sur le Développement Durable (SMDD) de Johannesburg, que « *des changements fondamentaux sont indispensables, quant à la façon de produire et de consommer, pour atteindre un développement durable* » [UN 02]¹⁴. Une preuve indirecte de cette causalité est apportée par l'indicateur de l'empreinte écologique des pays et des groupes de pays. La figure 1 (empreinte écologique des différents pays regroupés par zone) et l'analyse détaillée des chiffres pays par pays [WWF 04] montrent clairement que le niveau de « durabilité » des pays est, globalement, inversement proportionnel à leur niveau de développement, mesuré par le PIB, c'est-à-dire à leur niveau de consommation [Boutaud 05].

Le constat sur les impacts environnementaux, énoncé dans la partie précédente, est réalisé sur la base des données concernant la population mondiale actuelle, sachant que, pour l'instant, seuls 20 % de cette population ont accès au niveau de vie occidental. La gravité de la situation et l'urgence de l'action doivent donc être reconsidérées au regard, d'une part, de la croissance prévue de la population mondiale¹⁵, et d'autre part, de l'accession de certains pays au niveau de vie occidental (par exemple la Chine qui représente près d'un quart de la population mondiale).

La société de consommation repose entièrement sur la fabrication et la consommation de produits¹⁶ destinés à assouvir les besoins des personnes, qui, en dehors des besoins « vitaux », sont le plus

¹⁴ Page 13.

¹⁵ Les prévisions varient entre 7,4 et 10,6 milliards d'habitants à l'horizon 2050 [UN 04].

¹⁶ Le terme de « produits » doit ici s'entendre dans un sens large incluant la mise à disposition de services. Bien que la fabrication de produits prenne une place très majoritaire dans les différentes économies au niveau mondial, celles-ci s'orientent de plus en plus, notamment dans les pays riches, vers des économies dites de services. La distinction entre produit et service revêt une importance certaine en terme d'éco-conception, même si l'éco-conception s'applique aussi bien aux produits qu'aux services. L'occasion sera donnée par la suite de préciser le champ d'application respectif des produits et services en terme d'éco-conception et d'impacts environnementaux.

souvent créés et entretenus par cette même société de consommation. C'est le produit qui constitue la raison d'être de l'économie actuelle et du développement, aussi bien des pays riches que des pays en voie de développement. Or cette mise à disposition des produits repose sur des moyens technologiques et industriels très importants et répartis à l'échelle mondiale : moyens de fabrication, moyens logistiques, moyens de gestion des déchets. Ces moyens sont alimentés par des quantités de ressources et d'énergie dont la consommation exponentielle ne connaît, pour l'instant, pas de limites. C'est le système technologique global, mis au service de la société de consommation de produits (incluant l'agriculture et le logement), qui engendre l'ensemble des impacts environnementaux. Les impacts environnementaux, étant liés directement aux flux de matière et d'énergie, sont, en conséquence, intimement liés aux produits [Ammenberg 05]. Quelques chiffres révélateurs permettent de bien mettre en relief cet état de fait :

- on estime, en moyenne, que 9 tonnes de matériaux sont utilisées pour produire 1 tonne de produit fini¹⁷ ;
- on estime que la fabrication d'un produit manufacturé entraîne l'émission d'une à deux fois son poids en émissions de gaz à effet de serre [Deneux 02]¹⁸ ;
- selon l'ADEME, 52% de l'effet de serre lié aux émissions directes de CO₂ proviennent du cycle de vie des produits [MINEFI 04].

Cela met en évidence le lien de causalité entre la consommation de produits, au cœur du système de développement de notre société au niveau mondial, et la dégradation de l'état environnemental de la planète soulignée précédemment.

1.1.2.2. Le mode de consommation des produits

Malgré une efficacité accrue dans la conception des produits, efficacité tant énergétique que dans l'utilisation rationnelle des matériaux, la consommation de ressources et les émissions de CO₂ (directement liées à la consommation énergétique), continuent de croître. Ce phénomène, constaté indépendamment des augmentations de populations et de niveaux de vie, est directement lié à l'augmentation de la consommation de produits [Munksaard 00 ; Hofstetter 03]. Le phénomène est qualifié par Hofstetter de « *piège de l'efficacité* » [Hofstetter 03].

D'un point de vue environnemental, il est toutefois nécessaire de distinguer le produit en tant que tel, de son mode de consommation. Le mode de consommation recouvre quant à lui deux réalités différentes :

- d'une part, le taux de consommation des produits,
- d'autre part, le mode d'utilisation de ces produits par les consommateurs.

Le produit en tant que tel possède une charge environnementale intrinsèque qui correspond aux flux de matières et d'énergie nécessaires pour sa fabrication et son élimination en fin de vie. Cette charge environnementale intrinsèque est constante (pour un produit donné) et indépendante du mode de consommation du produit.

¹⁷ Source : Business in the Environment (2002), FastForward – Key business issues : Insights from business leaders of top 350 european companies. (www.bitc.org.uk). Ce chiffre est par ailleurs corroboré par une autre donnée : environ 94 % des matériaux extraits pour la fabrication des produits de consommation manufacturés deviennent des déchets avant que le produit ne sorte de la phase de fabrication (source : Hawken, P., Lovins, A.B., Lovins, L.H. (1999), Natural capitalism : Creating the next industrial revolution, Little Brown Company – donnée sur www.zerowaste.co.nz).

¹⁸ Page 72.

Le mode de consommation, et en particulier le mode d'utilisation du produit, apporte une charge environnementale supplémentaire, dont la valeur est fonction du mode même de consommation. Hertwich & Peters mettent en évidence l'importance des modes de consommation, qui diffèrent selon les pays, sur la variabilité des impacts environnementaux [Hertwich 05].

La figure 2 représente la dichotomie entre le produit et son mode de consommation, ainsi que quelques uns des phénomènes caractéristiques de la société de consommation participant à l'aggravation générale des impacts environnementaux par la consommation de produits.

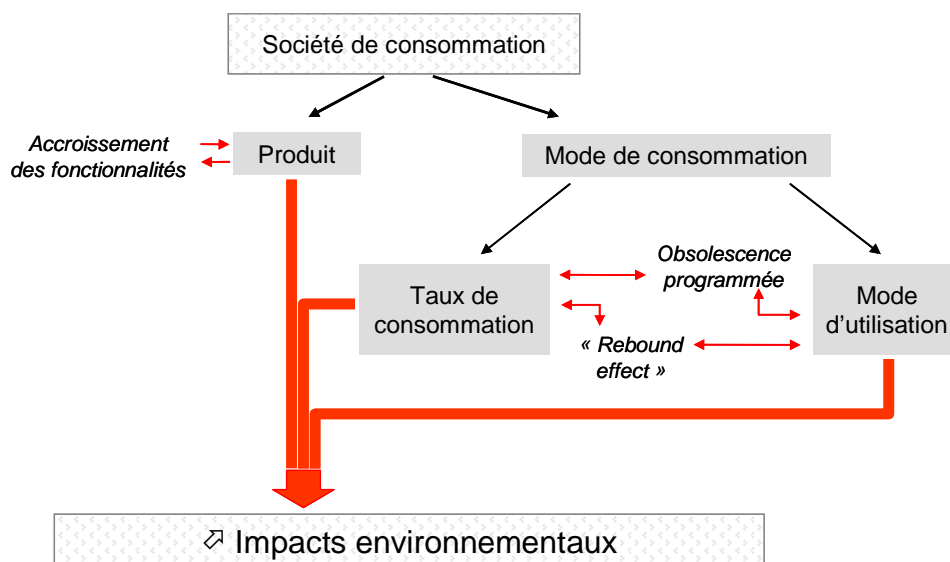


Figure 2. Dichotomie entre produit et mode de consommation du produit, et représentation des principaux paramètres influençant les impacts environnementaux.

a) Impact environnementaux intrinsèques des produits

Pour des raisons économiques évidentes, tant au bénéfice des industriels que des consommateurs, les produits sont conçus, au fur et à mesure des progrès technologiques, de manière toujours plus efficaces en termes d'utilisation de ressources et de consommation d'énergie.

Toutefois, l'efficacité constatée dans la conception et la fabrication des produits doit s'entendre à fonctionnalités égales. Or, la tendance constatée, qui s'inscrit dans la tendance de diversification des produits mis sur le marché, va vers l'augmentation du nombre de fonctionnalités par produit [Bertolucci 05b]. Des exemples, tels que les nouveaux téléphones portables avec appareils photos, ou la mise à disposition de télévisions dans les voitures, constituent de parfaites illustrations de ce phénomène d'augmentation du nombre de fonctionnalités par produit. Cette tendance à l'intégration de fonctions, qui pourrait s'avérer efficace d'un point de vue environnemental si elle n'avait pas pour seul objectif des visées marketing, se traduit en fait inexorablement par une augmentation de la masse des produits, et donc par un accroissement de la consommation de ressources et d'énergie. Une étude, portant sur l'éco-efficacité des économies allemande et hollandaise, a ainsi conclu à l'évidence d'une récente augmentation de l'intensité matérielle des produits, qualifiée de « *rematérialisation*¹⁹ » [Reijnders 98].

¹⁹ Par opposition au concept de dématérialisation (cf. § 1.3.1.2 Le facteur X, p. 34).

b) Phénomènes sociétaux des modes de consommation

La société de consommation a développé, par le biais de phénomènes sociétaux, des modes de consommation reposant sur des mécanismes qui concourent à l'augmentation de la consommation de produits.

Field & al. expliquent ainsi que certains paramètres tels que les nouvelles technologies, l'obsolescence programmée, l'augmentation du niveau de vie et d'éducation, l'augmentation démographique, paramètres qu'ils qualifient de catalyseurs de la consommation, influencent les aspects liés à l'utilisation des produits, et à travers eux, la consommation de ressources et d'énergie [Field 01]. Deux paramètres interdépendants, le taux de consommation et le mode d'utilisation des produits, tendent à accroître mutuellement le volume global de produits consommés.

L'accroissement du taux de consommation est, quant à lui, lié à deux paramètres, d'une part la diminution de la durée de vie des produits, donc le renouvellement accéléré de ces mêmes produits, et d'autre part une diversification des produits disponibles qui entraîne un accroissement du volume de la consommation, rendu possible par l'augmentation globale du niveau de vie.

Un des mécanismes contribuant à l'accroissement du taux de consommation des produits, et donc à l'accroissement des impacts environnementaux générés par la consommation de produits, est l'obsolescence programmée des produits [Field 01]. Que cela soit pour des raisons de logique de marché (vendre toujours plus de produits), des raisons sociétales (accélération des cycles de modes), ou des raisons technologiques (cycles courts des nouvelles technologies), la durée de vie des produits est globalement sans cesse raccourcie²⁰.

Herwitsch et Field & al. mettent quant à eux en avant les modes d'utilisation des produits pour expliquer l'augmentation constatée de la consommation de ressources et d'énergie [Herwitsch 05 ; Field 01]. Un des mécanismes constatés, influençant les modes de consommation, et qui contribue à accentuer d'une manière générale les impacts environnementaux liés aux produits, est « l'effet rebond »²¹ [Hofstetter 03 ; Greening 00]. L'effet rebond s'explique, là encore, par un phénomène sociologique « mécanique », qui consiste à dépenser les gains que l'on a pu obtenir par ailleurs par une meilleure efficacité²². Greening & al., dans une étude réalisée sur les biens de consommation des ménages au Danemark, ont ainsi mesuré que jusqu'à 40 % des bénéfices obtenus par une meilleure efficacité pouvaient être perdus par effet rebond [Greening 00].

Les impacts sur l'environnement atteignent, au niveau mondial, des niveaux tels que de sérieuses menaces pèsent désormais sur nos sociétés : menaces sur la santé des populations, sur leur accès aux besoins élémentaires (habitat, nourriture, etc.), sur les économies et sur la stabilité géopolitique du monde. Notre mode de développement, et plus particulièrement la société de consommation sur laquelle repose ce mode de développement, est directement à l'origine de ces impacts sur l'environnement, et le produit étant la raison d'être de ce système, peut être considéré, tant dans sa charge environnementale intrinsèque que dans son mode d'utilisation, comme la cause ultime de ces détériorations.

²⁰ Selon Kawken & al., 80 % des produits manufacturés sont jetés dans un délai de 6 mois suivant leur production (source : Hawken, P., Lovins, A.B., Lovins, L.H. (1999), *Natural capitalism : Creating the next industrial revolution*, Little Brown Company – donnée sur www.zerowaste.co.nz).

²¹ Traduction de l'expression anglaise the « rebound effect », expression communément reconnue et usuellement employée.

²² Un exemple parmi d'autres d'effet rebond est le suivant : les voitures ont gagné en efficacité énergétique, elles consomment moins d'essence par kilomètre parcouru. Cela se traduit par des économies pour l'utilisateur qui tend, de ce fait, à utiliser davantage sa voiture, donc à parcourir plus de kilomètres, et par conséquent à annuler les bénéfices obtenus.

Ainsi, comme le souligne le rapport de l'ONU sur le SMDD [UN 02], la conception environnementale des produits, tant dans leur fabrication que dans leur mode de consommation, doit être un des axes prioritaires pour la protection de l'environnement.

1.2. Eco-conception et développement durable

La partie précédente a révélé l'urgence environnementale provoquée par la société de consommation, au cœur de laquelle se trouvent les produits. La conclusion logique qui s'impose est que toute solution de remédiation efficace et porteuse d'améliorations doit nécessairement porter sur le produit lui-même. Ainsi, cette partie montrera que l'éco-conception est un outil puissant permettant à la fois, de solutionner les problèmes environnementaux mis en évidence, et d'entretenir le dynamisme industriel en apportant des opportunités d'innovation.

L'éco-conception s'inscrit ainsi pleinement dans le champ du développement durable. En se situant à l'interface de deux des trois piliers du développement durable, l'économie et l'environnement, l'éco-conception en constitue un outil concret et efficace.

Dans le cadre du génie industriel, l'éco-conception constitue, par ailleurs, une problématique tout à fait pertinente pour l'industrie, puisque celle-ci est au cœur de la conception et de la fabrication des produits.

1.2.1. Définition et principes de l'éco-conception

1.2.1.1. Définition

D'après la norme internationale ISO 14062, l'éco-conception peut être définie comme l'intégration des contraintes environnementales dans la conception et le développement de produits [AFNOR 03].

La norme ISO 14062 précise qu'il faut entendre par « produit » aussi bien des produits que des services, et elle en propose une classification exhaustive selon différentes catégories.

		Catégories	Exemples
Produits		• Services	<i>Transport</i>
		• « Software »	<i>Logiciel, dictionnaire</i>
		• Produits matériels	<i>Pièces mécaniques de moteur</i>
		• Produits issus de processus à caractère continu	<i>Lubrifiant</i>
Services	basés sur des éléments tangibles	• Activité réalisée sur un produit tangible fourni par le client	<i>Réparation d'une voiture</i>
	basés sur des éléments immatériels	• Activité réalisée sur un produit immatériel fourni par le client	<i>Déclaration de revenu nécessaire pour déclencher l'impôt</i>
		• Fourniture d'un produit immatériel	<i>Fourniture d'informations dans le contexte de la transmission de connaissances</i>
		• Création d'une ambiance pour le client	<i>Création d'ambiance dans les hôtels et restaurants</i>

Tableau 3. Ensemble des produits, au sens de la norme ISO 14062, susceptibles de rentrer dans le cadre de l'éco-conception [AFNOR 03].

Comme le fait remarquer G. Johansson, en recensant dans la littérature les différents termes existants qui recouvrent l'activité de conception environnementale²³, le terme d'éco-conception peut paraître ambigu [Johansson G 01]. En effet, d'après G. Johansson, le terme éco-conception (*ecodesign*) peut être vu, selon les définitions, comme un process, comme une stratégie, comme une activité ou comme un produit particulier. Il fait néanmoins remarquer que toutes les définitions expriment, implicitement ou explicitement, « *l'objectif de minimiser l'impact environnemental global du produit tout au long de son cycle de vie, en adoptant des mesures préventives durant la phase de conception du produit* »²⁴. L'éco-conception est ainsi définie en terme d'objectifs et en terme de moyens. Vu sous cet angle, le terme « éco-conception », que nous emploierons comme terme générique dans toute la suite du document, ne prête plus à ambiguïté. Ainsi employé, il recouvre en revanche des réalités différentes, dans les objectifs de résultats à atteindre et dans les objectifs de moyens²⁵.

1.2.1.2. Principes

L'éco-conception repose sur deux principes fondamentaux : l'approche globale, ou approche cycle de vie, et l'approche multicritère. Son objectif est de diminuer, sur l'ensemble du cycle de vie du produit, l'impact environnemental global de ce produit.

a) Approche globale

□ Le cycle de vie d'un produit

L'approche cycle de vie d'un produit consiste à considérer l'ensemble des étapes nécessaires pour réaliser les phases concernant l'élaboration, l'usage, et l'élimination du produit, c'est-à-dire depuis l'extraction et la fabrication des matières premières entrant dans la composition du produit, jusqu'à la fin de vie du produit et aux différents traitements nécessaires à son élimination. Le cycle de vie du produit, couramment désigné par l'expression consacrée « *du berceau à la tombe* », est généralement segmenté en cinq phases distinctes, représentées sur la figure 3 :

- La phase d'extraction et de fabrication des matières premières. Cette phase comprend les étapes depuis l'extraction et le raffinage des différents minerais jusqu'à la fabrication des matériaux et des produits semi-finis.
- La phase de fabrication du produit. Cette phase comprend tous les procédés de fabrication des pièces et composants du produit, aussi bien chez les différents fournisseurs que chez le fabricant du produit.
- La phase d'utilisation du produit par le client. Cette phase comprend, les cas échéants, la consommation d'énergie pour utiliser le produit, l'entretien, la réparation, l'utilisation de produits consommables nécessaires au bon fonctionnement du produit.
- La fin de vie du produit. Cette phase comprend les moyens d'élimination du produit usagé : recyclage, incinération, mise en décharge, etc.
- La phase de transport. Cette phase comprend l'ensemble des moyens de transports qui ont été nécessaires pour réaliser le cycle de vie complet du produit, « *du berceau à la tombe* » : transport des matières premières, approvisionnement par les fournisseurs, expéditions vers les clients, collecte des produits en fin de vie.

²³ G. Johansson recense les termes suivants : « DfE », acronyme de Design for Environment, « *ecodesign* », « *green design* », « *life cycle design* », « *eco-effective product design* », auxquels on peut ajouter « *ecological design* » (conception écologique [Ventère 95] ou encore « *environmentally conscious design* » [Ritzén 01].

²⁴ Traduction.

²⁵ Voir le § 1.3.2 Niveaux d'éco-conception correspondant aux différents facteurs X, p. 35.

□ **Internaliser les externalités environnementales**

Le produit en tant que tel, objet ou service, est l'aboutissement d'un ensemble de processus (les processus du cycle de vie que l'on a décrits ci-dessus), qui tous, y compris les processus aval à l'utilisation du produit, concourent à le faire exister. Que ce soit la fabrication des matières premières, les transports, la consommation d'énergie ou encore les procédés de traitement en fin de vie, tous ces moyens technologiques n'existent que parce que le produit existe.

Le produit est la cause directe de tous ces processus. Et c'est justement parce que ce lien de causalité existe que l'acte même de conception du produit peut influencer directement sur ces processus, a priori externes aux frontières de l'entreprise qui conçoit, et éventuellement fabrique, le produit.

Il est donc logique, puisque l'on se place d'un point de vue environnemental, de considérer l'ensemble des frontières du système sur lequel influe le produit en terme d'impacts environnementaux.

Cette approche récente, datant d'une dizaine d'années environ, est qualifiée d'approche intégrée²⁶. L'approche intégrée pour la conception des produits est obtenue par un raisonnement analogue à celui qui conduit, en économie, à l'internalisation des externalités²⁷. La justification ultime de l'approche globale en éco-conception est donc l'internalisation des externalités environnementales.

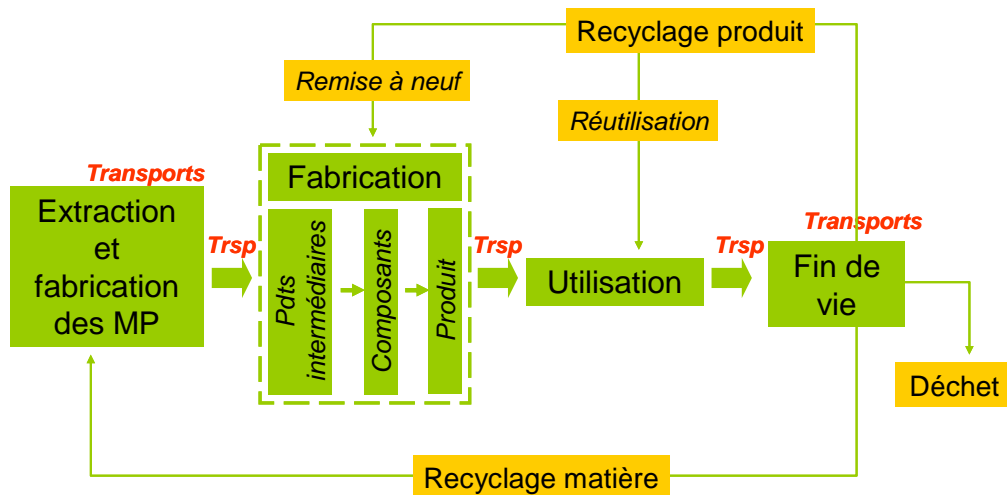


Figure 3. Représentation schématique du cycle de vie environnemental d'un produit.

b) Approche multicritère

□ **Considérer l'ensemble des impacts environnementaux du cycle de vie**

L'approche multicritère consiste à considérer, pour l'ensemble du cycle de vie du produit, l'ensemble des catégories d'impacts environnementaux pertinentes pour le produit étudié. Les catégories

²⁶ La notion d'approche intégrée est développée au paragraphe 2.1.1.2, dans le passage consacré à la politique intégrée de produit, promue par la Communauté Européenne.

²⁷ En économie, une externalité est « un effet de l'action d'un agent économique sur un autre qui s'exerce en dehors du marché » [Gondran 01]. Généralement, on appelle externalité (la Commission européenne parle de coût externe ou coût extérieur [CCE 01a]) un effet externe négatif qui apparaît lorsque l'activité de production a un effet direct qui nuit à d'autres agents économiques. Par effet direct, on entend un effet qui ne fait pas l'objet de transaction sur un marché. La pollution de l'eau est un exemple classique d'externalité négative. Le principe « pollueur-payeur » est un des moyens de ramener les externalités dans le champ de l'entreprise. [Gondran 01] a développé cette notion d'externalité dans le cadre des interactions entre l'industrie et l'environnement.

d'impacts environnementaux peuvent être exprimées sous de nombreuses formes (ce qui pose par ailleurs des problèmes pour la compréhension de la problématique environnementale et sa prise en compte dans un processus de conception – cf. chap. 2, § 2.1. Complexité de la dimension « E », p. 72 et s.). Cependant, en tout état de cause, l'approche multicritère impose de considérer simultanément les problèmes environnementaux liés :

- à la consommation d'énergie,
- à la consommation de ressources,
- aux diverses pollutions émises sous différentes formes,
- à la production de déchets,

autant de processus engendrés par le cycle de vie du produit.

□ **Eviter les transferts entre impacts**

Tout système multicritère pose le problème de l'optimisation multiobjectif [Alexander 00 ; Azapagic 99]. En effet, s'il est généralement possible, au prix de compromis, de déterminer des optimums de solutions pour un ensemble de critères considérés simultanément, il est également possible d'affirmer qu'à de très rares exceptions près, vouloir dans l'absolu améliorer un critère parmi un ensemble de critères ne peut se faire qu'au détriment, c'est-à-dire en dégradant, un ou plusieurs des autres critères de l'ensemble. C'est la loi de l'optimum de Pareto [Azapagic 99].

L'éco-conception des produits entre dans le cadre, d'un point de vue strictement environnemental, des systèmes multicritères. Le nombre de catégories d'impacts environnementaux retenues pour l'évaluation du cycle de vie d'un produit est généralement de l'ordre d'une dizaine. Cela a pour conséquence que l'amélioration, grâce à un choix de conception appropriée, d'un impact environnemental (par exemple la diminution de l'effet de serre) entraîne presque systématiquement l'aggravation d'au moins un autre impact (par exemple aggravation de la destruction de la couche d'ozone) [Luttropp 01 ; Alexander 00 ; Azapagic 99]. Ce phénomène, classique des systèmes à plusieurs paramètres (non indépendants), prend, lorsqu'il s'agit d'un problème environnemental, le nom de transfert entre impacts environnementaux. Le tableau 4 illustre, à l'aide de deux exemples simples, le phénomène des transferts entre impacts.

Ainsi, un choix de conception visant à améliorer un aspect environnemental risque d'en dégrader un autre. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire d'appréhender la problématique des impacts environnementaux dans leur ensemble, afin de pouvoir optimiser globalement les qualités environnementales du produit. La justification ultime de l'approche multicritère en éco-conception est donc d'éviter les transferts entre impacts environnementaux.

Produits	Solutions comparées		Aspects environnementaux améliorés	Aspects environnementaux dégradés	Commentaires
	Solution de référence	Nouvelle solution			
Carburants (pour automobiles et bus) [Ecobilan 02]	Carburants pétroliers	Biocarburants	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution de l'air • Effet de serre • Consommation de ressources fossiles • Efficacité énergétique 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'eau • Consommation d'engrais et pesticides • Surfaces agricoles 	Les transferts entre impacts environnementaux ont lieu entre : <ul style="list-style-type: none"> • d'une part, le système pétrochimique et la combustion de combustibles fossiles, • d'autre part, le système agricole.
Pièces pour l'automobile (aile avant de véhicule)	Tôle acier	Pièce plastique	Consommation de carburant (ressource fossile – pétrole –, pollution de l'air, effet de serre)	Recyclabilité du véhicule (déchets, ressources)	L'allègement du véhicule (dû à l'utilisation de plastique à la place de l'acier) entraîne des réductions de consommation d'essence (donc une réduction des pollutions liées à la combustion de carburant et une économie de ressource fossile). En revanche, les ailes en plastique n'étant pour l'instant pas recyclables, le taux de recyclabilité du véhicule est diminué.

Tableau 4. Exemple de transferts (non exhaustifs) entre impacts environnementaux liés à des choix de conception.

1.2.2. Une réponse cohérente pour le volet environnemental du développement durable

Le développement durable, dont le concept avait déjà été énoncé de manière pragmatique par Saint Exupéry²⁸, a été institutionnalisé par le rapport Brundtland [WCED 87], et définitivement adopté en tant que principe politique par la communauté internationale lors du Sommet de la Terre²⁹ à Rio de Janeiro en 1992. Le développement durable se donne comme objectif de « *répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité, pour les générations à venir, de pouvoir répondre à leurs propres besoins* » [WCED 87]. Il s'agit donc d'assurer un niveau de développement propre à satisfaire les besoins de l'ensemble des habitants de la planète tout en assurant, avec un horizon le plus lointain possible, une gestion durable des ressources, et en préservant un équilibre des écosystèmes dans lesquels les humains puissent évoluer convenablement. La notion de développement durable pose donc les principes d'équité (égalité devant la qualité de vie et devant l'accès aux ressources vitales) intragénérationnelle³⁰ et d'équité intergénérationnelle.

Si l'on accepte l'hypothèse que notre mode de développement puisse être durable, l'éco-conception doit logiquement en être un outil efficace. En effet, les objectifs du développement durable étant

²⁸ La citation attribuée à Antoine de Saint Exupéry, « *on n'hérite pas de la terre de nos parents, on l'emprunte à nos enfants* », est une énonciation simple, et avant l'heure, du concept de développement durable.

²⁹ « Sommet Planète Terre », Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, Rio de Janeiro, Brésil, 3-14 juin 1992.

³⁰ L'équité intragénérationnelle pourrait être illustrée de manière simpliste par l'expression « égalité nord-sud ».

posés, les deux principes qui soutiennent l'éco-conception (approche globale et approche multicritère) s'imposent naturellement comme solutions pour atteindre ces objectifs :

- D'une part, considérer la conception même du produit est la réponse la plus cohérente, puisque c'est à ce niveau qu'existe la plus grande liberté d'action. De ce point de vue, le principe de l'approche cycle de vie du produit constitue la réponse la mieux adaptée qui soit.
- D'autre part, l'approche multicritère doit permettre d'assurer que la conception des produits limite globalement l'ensemble des impacts environnementaux dans une optique de durabilité intergénérationnelle.

L'EEA³¹ affirme que l'un des objectifs principaux du développement durable est de parvenir, grâce à une meilleure éco-efficacité, au découplage des courbes de la croissance économique et des impacts environnementaux négatifs associés [EEA 02]. Or, l'éco-conception est un outil puissant pour atteindre une meilleure éco-efficacité, en concevant des produits et services requérant le minimum de ressources et d'énergie. Il faut donc envisager l'éco-conception comme un outil efficace pour solutionner le problème des atteintes à l'environnement causées par la société de consommation.

1.3. Quel niveau d'éco-conception ?

Lorsque l'on parle de réduire les impacts environnementaux générés par l'activité humaine, et que l'on se place dans le cadre du développement durable, notamment dans le cadre de l'équité intergénérationnelle devant l'accès aux ressources et la qualité de vie, deux notions interviennent pour déterminer l'ampleur et la rapidité des actions qui doivent être entreprises, et qui concernent directement l'éco-conception :

- la notion de seuil de pollution sans dommages : quel niveau maximal de pollution peut-on objectivement émettre, sans que cela ne porte atteinte aux équilibres écologiques³² ? La connaissance de ces seuils relève des différentes sciences liées la connaissance de l'écologie : climatologie, physico-chimie, biologie, écotoxicologie, etc. Les calculs et les estimations fournis par les modèles scientifiques permettent, dans certains cas, d'avoir une connaissance relativement précise de ces seuils de pollution sans dommages. Toutefois, en l'état actuel des connaissances, certains seuils ne sont pas connus. Jacques & Le Treut notent ainsi que, concernant les changements climatiques, « *aucun spécialiste du climat n'est en mesure d'établir un seuil en-dessous duquel nous ne courons aucun danger et au-dessus duquel nous allons avec certitude vers une catastrophe* » [Jacques 04].
- la notion de temps, qui comporte elle-même deux sous-notions corrélées:
 - l'échéance du seuil de durabilité : sachant que le développement actuel est très éloigné des seuils de durabilité, d'ici combien d'années doit-on, ou souhaite-t-on, atteindre un développement durable³³ ? Là encore, la connaissance des écosystèmes à un moment donné et la connaissance des niveaux de pollutions émises, corrélées aux seuils

³¹ European Environment Agency.

³² Il faut entendre ici écologique au sens large, c'est-à-dire incluant les humains et leur environnement.

³³ Pour certaines ressources notamment, dont les réserves probables sont inférieures à un siècle, cette échéance de durabilité est connue, du moins sa valeur « haute », au-delà de laquelle la question de durabilité ne se posera plus car ces ressources n'existeront plus ...

déterminés ci-dessus, permettent d'obtenir des estimations plus ou moins fiables de ces échéances.

- l'horizon de durabilité : pendant combien de temps le développement doit-il être durable dans le cadre de l'équité intergénérationnelle : temps infini, 10 000 ans, 100 ans, ... ? La réponse à ces questions relève, quant à elle, des choix politiques de la communauté internationale.

De la réponse à ces questions dépend l'ampleur de l'action qu'il sera nécessaire d'entreprendre pour atteindre un développement durable. Plusieurs auteurs ont d'ores et déjà proposé des éléments de réponse, afin de déterminer quels objectifs devaient être fixés pour l'éco-conception des produits en terme de diminution des impacts environnementaux (voir § 1.3.1.2. Le facteur X, p. 34).

1.3.1. Objectifs quantifiés de réduction des impacts environnementaux

1.3.1.1. Protocoles internationaux

Une action adéquate en réponse au principe du développement durable ne peut être qu'internationale, d'une part parce que certains impacts environnementaux sont globaux, c'est-à-dire qu'ils se produisent à l'échelle du globe, et d'autre part en raison de la structure même de l'économie mondialisée. Depuis une vingtaine d'années, des mesures ont été prises, au niveau international, pour réduire certains impacts environnementaux : effet de serre, destruction de la couche d'ozone, acidification, atteinte à la biodiversité, etc. Ces mesures sont le résultat d'accords volontaires entre pays, prenant la forme de protocoles internationaux. Parmi les plus connus sont, notamment, le protocole de Montréal, en 1987, pour la protection de la couche d'ozone, et le protocole de Kyoto, en 1997, pour la lutte contre les changements climatiques. Les protocoles fixent aux pays signataires des mesures contraignantes dans le but de réduire les impacts environnementaux faisant l'objet de ces protocoles. L'objectif des protocoles est la réduction des émissions polluantes à l'origine des impacts environnementaux.

A l'exception du protocole de Kyoto, les différents protocoles ne fixent pas d'objectifs chiffrés de réduction. Ils imposent aux pays des mesures qui doivent permettre une réduction continue des émissions. Les émissions sont mesurées à intervalles réguliers, à l'échelle de pays ou de groupe de pays (par exemple Union Européenne – UE – des 25) et les éventuelles améliorations sont alors constatées sur la base de ces mesures. Ces protocoles reposent donc sur le principe de l'amélioration continue. Ainsi, à titre d'exemple, l'UE annonce que pour la période 1990-1999, elle a réduit ses émissions industrielles de dioxydes de soufre (SO_x, substances acidifiantes) de 59 % [EEA 02].

Le protocole de Kyoto fixe quant à lui des objectifs chiffrés de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Ainsi par exemple, l'UE s'est vue assigner un objectif de réduction de 8 % de ses GES pour la période 2008-2012 par rapport à ses émissions de 1990, tandis que les USA et le Japon se voyaient assigner respectivement des objectifs de réduction de 7% et 6% [UNFCCC 97]. Il est à noter, toutefois, que ces objectifs chiffrés de réduction ne correspondent pas à des niveaux de durabilité, mais, la signature de l'accord étant un engagement volontaire, à des niveaux que les pays signataires estiment pouvoir atteindre aux prix d'efforts technico-économiques raisonnables. Cette rapide analyse montre que, si les Etats s'engagent parfois sur des objectifs globaux d'amélioration, il n'existe pas, au niveau international, d'objectifs chiffrés visant à atteindre un seuil de durabilité.

1.3.1.2. Le facteur X

Le facteur X est défini par Reinjders de la manière suivante : « *le facteur X est qualitativement similaire aux concepts de dématérialisation, d'éco-efficacité et d'accroissement de la productivité des ressources naturelles* » [Reinjders 98]. Reinjders précise que le facteur X constitue une quantification et une mesure de l'éco-efficacité³⁴ et de la dématérialisation, pouvant s'appliquer aussi bien à un produit qu'à une économie dans son ensemble. Il s'agit en fait de définir le facteur « durable » de consommation des ressources.

Il existe un débat autour du facteur X, et notamment sur la valeur que doit prendre X. Le facteur X varie selon les auteurs entre 4 et 50 [Reinjders 98]. D'aucuns affirment que, à une échéance d'un siècle, il faudra atteindre un facteur 50 pour que l'économie globale puisse prétendre parvenir à un développement durable.

Von Weizsäcker & al. ont énoncé le principe du facteur 4 [Weizsäcker 97]. Ce facteur repose sur des considérations liées à l'énergie, qui prennent en compte la finitude des réserves des ressources fossiles. Leur raisonnement est le suivant : lorsque les réserves de ressources fossiles seront épuisées et que nous n'aurons plus à disposition que des énergies renouvelables, nous serons contraints d'adapter nos besoins aux gisements disponibles d'énergies renouvelables. Ainsi, sur la base, d'une part d'une estimation des gisements potentiels totaux des énergies renouvelables disponibles, et d'autre part de notre consommation énergétique actuelle, les auteurs ont calculé que nous devrions réduire notre consommation énergétique par 4 pour qu'elle coïncide avec la quantité d'énergie renouvelable disponible. Le facteur 4 est un facteur du court terme.

Schmidt-Bleek et le « Factor 10 Club » ont, quant à eux, proposé un facteur 10 de réduction sur une période de 30 à 50 ans [Factor10 95]. Schmidt-Bleek propose, pour mesurer le niveau d'éco-efficacité, un indicateur basé sur la consommation de ressources non renouvelables, fossiles et minérales [Schmidt 94]: l'indicateur MIPS (Material Intensity per Unit Service). Il s'agit de mesurer la quantité de ressources utilisées pour fournir un service, l'objectif étant évidemment d'atteindre une plus grande efficacité dans l'utilisation des ressources, à service fourni égal. Il estime, en se basant sur les données disponibles des réserves prouvées des différentes ressources, qu'il est nécessaire de diviser par 10 la quantité de ressources utilisées. Cela revient à améliorer de 90 % l'efficacité actuelle des produits et services en terme de consommation de ressources.

Van Hemel, quant à elle, reprend à son compte l'idée d'un facteur 20 correspondant à ce qu'elle nomme une approche « *révolutionnaire* » [Hemel 98]. Elle montre que le facteur 20 correspond à une réduction du niveau de consommation des ressources et d'énergie équivalente à 40 % du niveau actuel³⁵. Le raisonnement, basé sur « l'équation de la pollution » proposée par plusieurs auteurs, est le suivant :

³⁴ Le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) définit l'éco-efficacité de la manière suivante : « *Eco-efficiency is reached by the delivery of competitively priced goods and services that satisfy human needs and bring quality of life while progressively reducing ecological impacts and resources intensity, throughout the life cycle, to a level at least in line with the earth's (estimated) carrying capacity* ».

³⁵ Ramener le niveau de consommation à 40 % du niveau actuel correspond à une réduction de 60 %, donc à une consommation de ressources divisée par un facteur supérieur à 2. Ce taux de réduction est à mettre en regard des + 100 %, pour les pays de l'OCDE, d'augmentation de l'empreinte écologique actuelle par rapport au seuil de durabilité (cf. figure 1 et [WWF 04]). Cet objectif de réduction semble donc cohérent avec d'autres données.

$$\text{Niveau de pollution} = [\text{Population}] \times [\text{PIB par habitant}] \times [\text{pollution par unité de PIB}]$$

P	=	N _{hab}	x	PIB / N _{hab}	x	P/PIB
1	=	2	x	4	x	1/8
0,4	=	2	x	4	x	1/20

L'application numérique de cette équation doit être interprétée de la façon suivante [Hemel 98] :

Dans les 25 prochaines années, il est prévu que la population mondiale double tandis que le PIB doit être multiplié par 4. Si l'on veut maintenir le niveau de pollution au niveau actuel, il faut diminuer le taux de pollution par unité de PIB d'un facteur 8. Si l'on veut ramener le niveau de pollution à 40% du niveau actuel, il faut accroître l'efficacité par 20.

L'idée sur laquelle repose cette équation est qu'à l'heure actuelle, le niveau de pollution est directement corrélé au PIB, c'est-à-dire à la mesure de la croissance économique, et qu'il est nécessaire de découpler croissance économique et niveaux de pollution.

Bien sûr, ces chiffres, qu'ils soient facteur 4, 10 ou 20, ne sont que des estimations qui varient en fonction des croissances démographique et économique, elles-mêmes corrélées à la consommation énergétique. Ils présentent toutefois l'intérêt de fixer les ordres de grandeur des niveaux d'efficacité à atteindre pour parvenir à un développement plus durable.

1.3.2. Niveaux d'éco-conception correspondant aux différents facteurs X

Certains auteurs ont cherché à faire correspondre les différentes valeurs du facteur X avec des niveaux d'éco-conception, dans une perspective dite de l'éco-innovation³⁶. Johansson & Magnusson se basent sur la théorie de l'innovation, et plus particulièrement la théorie du « *S-curve model* » de Foster³⁷, pour affirmer que les différents niveaux d'éco-conception constituent autant de degrés d'innovation [Johansson G 98], comme représentés sur la figure 4. Le « *S-curve model* » de Foster décrit le mode de développement et l'évolution des technologies dans le temps. Selon Foster, le développement d'une technologie dans le temps prend la forme d'un « S ». La phase initiale du développement est caractérisée par une phase d'apprentissage et, conséquemment, par une efficacité limitée de la technologie. La technologie s'améliore ensuite au fur et à mesure que les connaissances s'accumulent. Le développement se fait alors selon des innovations incrémentales. La technologie s'améliore ainsi jusqu'à atteindre une limite. Elle est alors remplacée par une technologie concurrente représentant une rupture, un saut qualitatif, en terme d'innovation.

Charter, d'une part, et Brezet, d'autre part, se sont tous deux inspirés du « *S-curve model* » pour positionner les différents facteurs X d'éco-efficacité dans le temps [Charter 97 ; Brezet 97b]. Ils font correspondre aux différents facteurs X des niveaux évolutifs d'éco-conception représentant des degrés croissants d'innovation sur le produit. Charter propose un modèle qu'il baptise « *4-step model* » représentant, d'après le « *S-curve model* », quatre niveaux d'innovation successifs appelés « *4 R* » : re-pair, re-fine, re-design, re-think (réparer³⁸, améliorer³⁹, reconcevoir, repenser) [Charter 97]. Brezet, quant à lui, propose le modèle représenté par la figure 4 [Brezet 97b]. Il définit quatre niveaux

³⁶ L'éco-innovation, ou l'apport potentiel de l'éco-conception en terme d'innovation de produit, a été notamment discutée par des auteurs comme G. Johansson & al., Jones & al, Sherwin & al. [Johansson G 98 ; Sherwin 00 ; Jones 00 ; Jones 01].

³⁷ Foster, N. (1986) « Timing technological transitions », dans Hortwich, M. (ed.) « Technology in the modern corporation: a strategic perspective », Pergamon Press.

³⁸ Pour Charter, re-pair correspond au traitement « end-of-pipe ».

³⁹ Pour Charter, re-fine correspond à une série d'améliorations incrémentales de l'éco-efficacité des produits.

d'éco-conception, correspondant à des degrés d'innovation porteurs de facteurs de réduction potentiels des impacts environnementaux :

- niveau 1 : améliorations incrémentales du produit.
- niveau 2 : reconception du produit. Les modifications peuvent toucher la structure du produit, ou les technologies employées.
- niveau 3 : innovations sur les fonctionnalités du produit.
- niveau 4 : innovations sur le(s) système(s) dans le(s)quel(s) s'insère le produit.

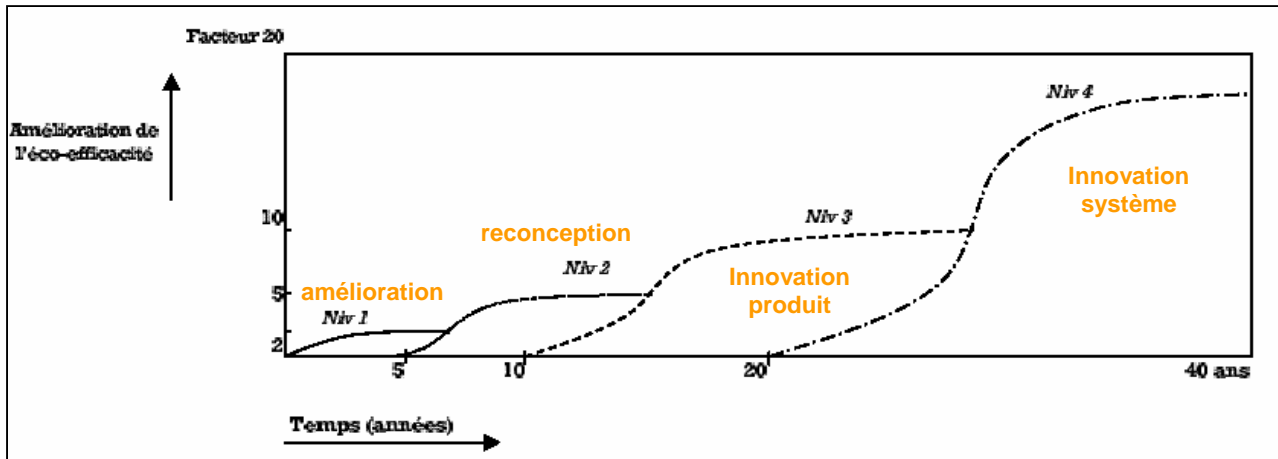


Figure 4. Niveaux d'éco-efficacité en fonction du degré d'innovation produit (adapté de [Brezet 97b]).

Le tableau 5 illustre, en prenant l'exemple de l'automobile, les quatre niveaux du modèle de Brezet.

Pour bien souligner les différences conceptuelles entre les différentes approches, notamment entre les deux approches extrêmes que sont, d'une part l'amélioration incrémentale du produit, et d'autre part l'innovation au niveau du système, Van Hemel parle respectivement d'approche « évolutionniste » et d'approche « révolutionnaire » [Hemel 98].

Niveau	Niveau de modification du produit	Exemple de la voiture	Niveau de prise de décision
Niveau 1	Amélioration du produit	Pots catalytiques, substitution de substances dangereuses (ex : Pb)...	Concepteurs
Niveau 2	Reconception du produit	Allègement de la voiture, aérodynamisme, moteurs hybrides...	Concepteurs
Niveau 3	Innovation fonctionnelle du produit	Utilisation partagée de la voiture, création de parcs communs, location d'un service au km...	Direction de l'entreprise. Conditions sociologiques favorables
Niveau 4	Innovation des systèmes de produits	Modes de transport alternatifs, transports en commun, PDU ⁴⁰ ...	Etat, UE

Tableau 5. Illustration, par l'exemple de la voiture, des différents niveaux d'éco-conception.

⁴⁰ Plan de Déplacement Urbain.

1.3.3. Réalité des objectifs

Il est à noter que beaucoup d'entreprises mettent déjà en oeuvre, sans en avoir pleinement conscience, des pratiques propres à l'éco-conception, lorsque ces pratiques correspondent à des solutions d'économies sur les coûts. Ainsi, une entreprise cherchera logiquement à réduire la quantité de matériaux dans son produit pour diminuer son prix de revient, de même que pour des raisons marketing auprès de ses clients, un concepteur de machines-outils cherchera systématiquement à réduire la consommation d'énergie de la machine. Dans un tel contexte, des niveaux de réduction des impacts par un facteur 5 semblent pouvoir être atteints relativement facilement [McAloone 00 ; Johansson A 00]. Cependant, pour atteindre les facteurs de réduction des impacts de 10, voire de 20, il est nécessaire de s'inscrire dans une logique d'innovation fonctionnelle des produits, voire dans une logique d'innovation de système.

McAloone affirme, en se référant aux niveaux définis par Brezet, que les niveaux 1 et 2 peuvent être facilement atteints par des approches classiques de conception [McAloone 00]. Il semble même, selon lui, que ces niveaux aient déjà été atteints pour beaucoup de produits. A.M. Johansson abonde dans son sens en affirmant que des réductions de 25 % à 60 %⁴¹ des impacts environnementaux sont en général facilement atteints lors de projets pilotes d'éco-conception de produits [Johansson A 00].

Toutefois, McAloone pense que nous sommes actuellement bloqués sur le niveau 2 et que le passage au niveau 3 sera difficile à réaliser, et ne pourra se faire sans une réorientation des modes de pensée. Le passage aux niveaux supérieurs 3 et 4, requiert, selon lui plus qu'une simple approche de conception. Il requiert une combinaison des approches classiques de conception avec des approches sociales [McAloone 00]. En effet, le niveau 3 qui correspond à une innovation fonctionnelle du produit, suppose au préalable une prédisposition, si ce n'est une acceptation, sociale qui permette que les industriels disposent d'un marché pour leurs produits. Une entreprise peut éventuellement prendre le risque de « pousser » le marché, en créant ou en anticipant une demande de produits fonctionnellement innovants. Il est évident toutefois que le nombre d'entreprises à ce niveau sera dans un premier temps limité (jusqu'à ce que les changements sociétaux autorisent une pleine expansion d'un marché des nouveaux produits).

Le niveau encore supérieur (le niveau 4), qui correspond à une innovation des systèmes, paraît difficilement pouvoir être du ressort des industriels. Ce niveau relève avant tout d'orientations politiques des Etats qui peuvent, par les décisions qu'ils prennent, créer de nouveaux marchés et en défaire d'autres. Reijnders note, à ce propos, que l'intervention des gouvernements sera nécessaire pour engager les orientations technologiques permettant d'atteindre, dans les faits, les facteurs X, particulièrement lorsque X est grand [Reijnders 98]. A ce niveau 4, les industriels n'ont généralement plus qu'à s'adapter aux évolutions sociales. Cependant, ils peuvent, dans le meilleur des cas et en prenant des risques importants, anticiper ces nouveaux marchés, ou se positionner pour être les premiers fournisseurs des nouveaux services.

Le positionnement des entreprises sur les différents niveaux dépend évidemment du type de produits qu'elles conçoivent et fabriquent, mais aussi de leur degré de liberté dans la conception que leur autorise leur position dans la chaîne clients-fournisseurs. Ainsi, le domaine d'intervention classique d'une entreprise sera généralement limité aux niveaux 1, 2 et 3, le niveau 3 étant réservé au créneau restreint des entreprises innovant par anticipation.

⁴¹ La fourchette de 25% à 60 % de réduction des impacts situe le niveau entre les niveaux 1 et 2, le facteur 5, correspondant à la fin du niveau 2, étant synonyme de 80 % de réduction.

Il faut noter que pour beaucoup d'entreprises, le concept de dématérialisation sera difficile à mettre en œuvre, tant il touche au cœur même du métier des entreprises, quand il ne constitue pas une remise en cause fondamentale de l'existence même de l'entreprise attachée à son produit. En effet, la plupart des entreprises fabriquent des produits dans une classe de matériau et/ou de technologie particulières, et c'est la conception et la fabrication sur la base de ce matériau qui constitue le cœur de son métier. La dématérialisation ne sera donc, dans la plupart des cas, possible que dans des bureaux d'étude ayant un degré de liberté maximal vis-à-vis du choix des matériaux et des procédés technologiques. La dématérialisation « extrême », au sens des niveaux 3 et 4 de Brezet, constitue de telles remises en cause des modes de réalisation des fonctionnalités requises qu'elle implique parfois un changement de métier⁴². A.M. Johansson note, suite au retour d'expérience d'un projet d'éco-conception menée sous forme d'action collective auprès de 13 PME suédoises, que « *les matériaux utilisés dans les entreprises sont souvent très fortement liés aux traditions, aux profils, et aux compétences de l'entreprise, et, de ce fait, très difficiles à substituer lorsque cela est suggéré ou décidé par les recommandations d'éco-conception* »⁴³ [Johansson A 00]. La dématérialisation implique donc de fait, comme il a déjà été dit, des changements sociétaux, au-delà d'innovations purement techniques.

⁴² C'est l'exemple, souvent cité, de la société RANK XEROX, qui est passée de la vente de produits manufacturés (en l'occurrence des photocopieurs) à la vente d'un service (vente d'une quantité de photocopies). Autre exemple, celui de la société STEELCASE qui passe peu à peu de la conception et fabrication de matériel de bureau à la conception d'un service par la mise à disposition temporaire de produits (en l'occurrence conception d'architecture de bureaux).

⁴³ Traduction.

2. CONTEXTE INDUSTRIEL

Les niveaux d'éco-conception définis précédemment permettent une réflexion prospective liée à la notion de développement durable au niveau de la « société mondiale ». Toutefois, cette approche s'applique difficilement à la réalité du monde industriel.

Cette partie repositionne l'approche de l'éco-conception dans le contexte industriel à un niveau nécessairement plus pragmatique. Ainsi, les entreprises ne raisonnent pas, et pour la grande majorité ne peuvent pas raisonner, en terme d'objectifs de niveau d'éco-conception. En effet, la plupart des entreprises sont des PME fabriquant des pièces ou des composants s'intégrant dans des produits plus complexes. Or, la réflexion sur les niveaux d'éco-conception ne peut se faire que sur le produit final. Seules quelques très rares entreprises, se positionnant sur des marchés de niche⁴⁴, peuvent éventuellement raisonner en terme d'objectifs de niveaux d'éco-conception à atteindre.

L'objectif, au niveau industriel, n'est donc pas d'atteindre un niveau déterminé d'éco-conception, mais de réussir à prendre en compte des contraintes environnementales exprimées sous forme de prescriptions par l'environnement industriel de l'entreprise (réglementation, donneurs d'ordres, clients, etc.). L'objectif est donc, dans le contexte industriel, l'intégration de l'éco-conception en tant que méthode, indépendamment de tout objectif de niveau d'éco-conception. Le but de ces entreprises doit être celui d'une amélioration continue de la conception environnementale des produits, permettant d'atteindre peu à peu les niveaux d'éco-conception les plus élevés.

Dans ce contexte, le positionnement de l'entreprise en terme d'éco-conception est donc un positionnement a posteriori des « performances » d'éco-conception de l'entreprise par rapport aux niveaux d'éco-conception définis.

2.1. L'éco-conception, une contrainte nouvelle pour les entreprises

2.1.1. De la prise de conscience sociétale au cadre réglementaire

« Après la période du tout jetable de l'après guerre, du tout recyclable un peu plus récent, serons nous capables de passer à la promotion à grande échelle de la notion de renouvelable, laquelle a été le fondement de notre civilisation pendant des millénaires ? » Cette interrogation, exprimée dans un colloque de l'ADEME [ADEME 02], traduit une prise de conscience généralisée des conséquences environnementales négatives de la société de consommation.

Le contexte sociétal, issu des préoccupations liées au développement durable telles qu'elles ont été décrites précédemment, a largement contribué à l'émergence d'un mouvement de pressions s'exerçant sur le monde industriel. L'entreprise, à son niveau, reçoit des pressions qu'elle identifie comme des « contraintes environnementales » et qu'elle pense venir de sources différentes. Toutefois, l'origine de ces pressions est la même, venant d'une prise de conscience généralisée, mais qui se traduit, in fine, de manière différente selon le « monde » duquel elle provient (figure 6).

2.1.1.1. Prise de conscience et actions internationales

La mise en évidence des problèmes environnementaux au niveau mondial, évoqués dans la partie précédente, a suscité depuis le milieu des années 1970, notamment par la voix de quelques

⁴⁴ Il s'agit d'entreprises ou de concepteurs proposant ayant une réflexion en terme de design « éthique », ou recherchant des innovations « radicales » des produits, etc.

scientifiques engagés comme J. Lovelock⁴⁵ ou N. Georgescu-Roegen⁴⁶, une prise de conscience, d'abord cantonnée à des cercles restreints, tels le célèbre Club de Rome, et qui s'est peu à peu généralisée au niveau mondial. Le rapport Meadows, au titre évocateur de « The limits to growth » [Meadows 72], semble constitutif du début d'une prise de conscience car il met en évidence, au-delà des considérations éthiques liées au sujet de l'écologie, l'existence de limites physiques (ressources, espace) à notre modèle de croissance, ce qui, et c'est bien son objet vu le public d'hommes politiques visé, constitue la force et la crédibilité de son message en lui conférant une approche pragmatique⁴⁷.

Ainsi la communauté politique internationale, principalement par le biais de l'ONU, s'est-elle peu à peu emparée des problématiques environnementales en établissant des conventions multilatérales entre pays, jusqu'à ériger, lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, le fameux principe de développement durable comme modèle mondial de développement. Le tableau 6 recense l'ensemble des conventions internationales sur les sujets environnementaux, ainsi que leurs protocoles respectifs de mise en application.

Problème environnemental	Protocole de :	Lié à la convention de :	Substances visées	Mesures prises
Effet de serre	Kyoto, 1997	Rio de Janeiro, 1992, c. sur les changements climatiques)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆	Réduction minimum de 5 % par rapport à 1990 pour la période 2008-2012 (France : 8 % ; UE : 8 %)
Couche d'ozone	Montréal, 1987	Vienne, 1985	CHC, halons, HCFC, ...	Réduction progressive / interdiction de fabrication et d'utilisation des substances appauvrissant la couche d'ozone
Acidification	Helsinki, 1985 Oslo, 1994	Genève, 1979 (CLRTAP ⁴⁸)	SO ₂ , SO _x	Réduction et contrôle des émissions
Acidification, smog	Sofia, 1988		NO _x , N ₂ O	
Smog	Genève, 1991		COV	
POPs	Arhus, 1998		DDT, PCB, PCDD, ...	Contrôle, réduction ou élimination des rejets, des émissions et des pertes des ces substances dans l'environnement
Métaux lourds	Arhus, 1998		Cd, Pb, Hg	
Risques Biotechnologiques	Carthagène, 2000	Rio de Janeiro, 1992, c. sur la biodiversité	OGM, organismes vivants	Renforcement de la sécurité des mouvements transfrontières des organismes vivants modifiés (OVM)

Tableau 6. Conventions et protocoles internationaux pour la protection de l'environnement.

Cette mise en application concrète d'accords multilatéraux internationaux semble constituer la meilleure preuve d'une prise de conscience. Dans les pays riches, dont l'opulence et la satisfaction des besoins primaires permettent un détachement vis-à-vis des besoins vitaux quotidiens, la prise de conscience de la nécessité d'un développement durable s'est rapidement généralisée dans une

⁴⁵ Auteur de l'hypothèse « Gaïa, planète vivante » [Deléage 91].

⁴⁶ Georgescu-Roegen, N. (1979). La décroissance. Entropie – Ecologie - Economie, 1^{ère} édition, Edition Pierre-Marcel Favre, Lausanne.

⁴⁷ A cet égard, le titre de la traduction française, « Halte à la croissance », présente l'inconvénient de modifier le sens du titre donné par les auteurs, qui veulent signifier de manière pragmatique qu'il existe des limites physiques à notre modèle de croissance. Or la traduction française retire, à mon sens, ce côté pragmatique pour n'être plus qu'une incantation philosophique qui nuit à la force du message destiné à toucher le plus grand nombre.

⁴⁸ CLRTAP, Convention on Long Range Transboundary Air Pollution.

majeure partie de la population, devenue d'autant plus réceptive aux arguments que, comme le fait remarquer Van Hemel, les effets néfastes des atteintes à l'environnement sont devenus directement perceptibles (pollutions, accidents industriels médiatisés, etc.) [Hemel 98]⁴⁹. Ainsi, pour l'exemple de la France, le principe de développement durable est désormais adossé à la Constitution et fait l'objet d'une stratégie nationale⁵⁰, tandis qu'un nombre toujours croissant de communes se sont appropriées le concept pour le décliner à leur échelle [Boutaud 05].

La prise de conscience apparaît également, tant au niveau politique des Etats qu'au niveau de la population, par la confrontation directe aux problèmes posés par les tensions résultant des dégradations environnementales, confortant, par là même, les sombres prévisions du rapport Meadows : populations européennes confrontées à une augmentation du prix de l'énergie, ou du prix de la gestion des déchets, voire de l'eau potable, Japon confronté au problème de la gestion des déchets dans un pays-île surpeuplé, ou encore Union Européenne confrontée au problème de l'approvisionnement énergétique devant une demande en croissance continue.

Enfin, les mises en garde de la communauté scientifique internationale touchent également directement l'opinion publique par l'intermédiaire des différents medias de communication.

2.1.1.2. Cadre législatif et réglementaire environnemental dans l'Union

L'Europe se dote depuis plus de vingt ans, notamment depuis la promulgation de la directive Seveso I⁵¹ [JOCE 82], d'une législation et d'une réglementation environnementales. Il existe une évolution nette et progressive dans la gestion de l'environnement au niveau européen, comme le montre la figure 5. En même temps que l'on passe d'une gestion par pays à une gestion communautaire européenne, seule approche cohérente et véritablement efficace à l'échelle d'un continent, on passe d'une gestion environnementale « end-of-pipe »⁵² des sites industriels à une gestion préventive cherchant à réduire à la portion des risques acceptés, à la fois les pollutions et les accidents industriels, puis enfin à une gestion intégrée⁵³ marquée notamment par la directive IPPC [JOCE 96]. L'approche « site » est complétée depuis une dizaine d'années par l'approche « produit » qualifiée également de gestion intégrée visant, par une approche globale produit / process, à prévenir la production de déchets et l'émission de substances dangereuses dans l'environnement, et à réduire les consommations énergétiques.

En ce qui concerne l'éco-conception, le cadre législatif et réglementaire européen, est actuellement en construction. Même s'il existe d'ores et déjà des directives applicables pour certains produits (par exemple la directive sur les équipements électriques et électroniques – DEEE), le cadre général est encore en préparation sous la forme du livre vert sur la politique intégrée de produits (IPP). Cependant, la pression législative s'accroît, par la mise en place conjuguée de directives concernant l'éco-conception et de directives sur la responsabilité environnementale des producteurs.

⁴⁹ Page 12.

⁵⁰ SNDD, stratégie nationale du développement durable, <http://www.ecologie.gouv.fr>

⁵¹ Remplacée depuis par la directive Seveso II (directive n° 96/82/CE du 9 décembre 1996)

⁵² Expression consacrée dont la traduction littérale est « au bout de tuyau ». Dans une approche « end-of-pipe » les pollutions ne sont traitées qu'une fois les dommages constatés (par exemple dépollution des sols). Dans le meilleur des cas, les effluents sont traités à la sortie des « tuyaux » ou des cheminées (par exemple traitement des gaz en sortie de cheminée) pour éviter que la pollution ne se diffuse dans les milieux ambiants.

⁵³ L'approche intégrée est une approche globale produit / process visant à prévenir aussi bien les accidents industriels que les atteintes à l'environnement (pollutions graves ou diffuses, proches ou transfrontalières), à protéger les travailleurs, le voisinage et les populations, la faune et la flore.

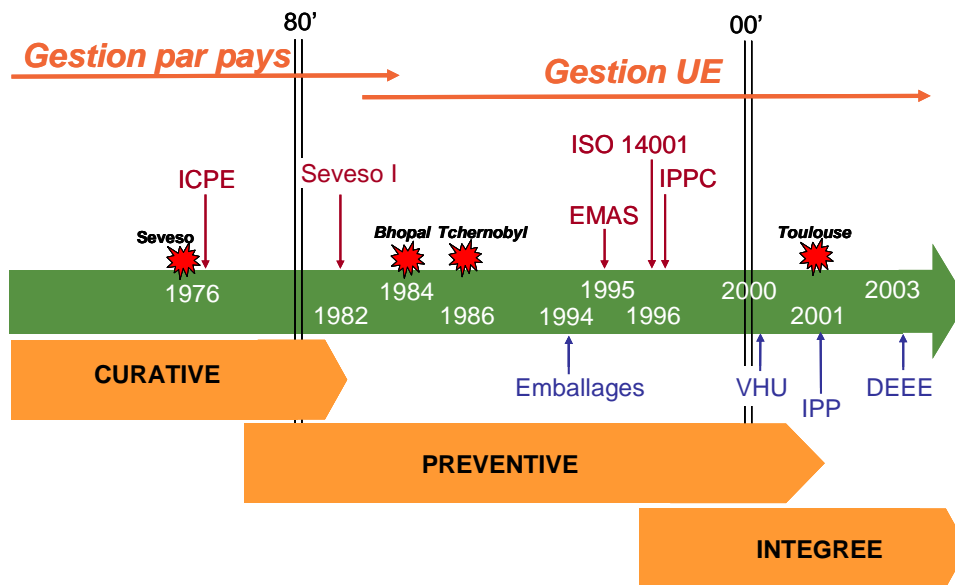


Figure 5. Evolution des modes de gestion de l'environnement : d'une gestion « end-of-pipe » et par pays à une gestion intégrée et communautaire.

a) La Politique Intégrée de Produit

Le livre vert sur la Politique Intégrée de Produits [CCE 01a] fixe le cadre général de référence en ce qui concerne l'éco-conception. Les principes de base de l'IPP ont été institués, sous l'égide de la DG XI⁵⁴ de la Commission européenne, suite à des travaux préparatoires tenus en 1998 et 1999 [Charter 99]. De ces travaux sont ressortis les 7 axes stratégiques suivants :

- gestion des déchets (par exemple, reprise obligatoire par le producteur),
- innovation de produits "verts" (éco-conception, stimulation de la R&D),
- création de nouveaux marchés,
- transmission de l'information (écolabels, déclarations de produits, etc.),
- responsabilité environnementale,
- consommation "durable",
- gestion des produits chimiques

La politique intégrée de produits doit venir compléter les politiques de l'environnement existantes (substances dangereuses, prévention des risques technologiques, émissions polluantes, etc.) en proposant une approche originale centrée sur le produit. L'IPP concerne aussi bien les produits que les services, et réaffirme la nécessité d'une approche globale visant à considérer l'ensemble des impacts environnementaux du produit sur l'ensemble de son cycle de vie.

La politique intégrée de produits propose une stratégie pour promouvoir le développement d'un marché propice à la commercialisation de produits écologiques, par le biais d'une palette d'outils complémentaires. En ce sens, elle a pour ambition d'agir simultanément sur l'offre en produits plus respectueux de l'environnement, émanant des industriels, et la demande en produits "verts", émanant des consommateurs. En effet, l'IPP indique clairement qu'elle n'a pas vocation à être un instrument législatif, même si l'aspect législatif peut faire partie de la palette d'instruments mis en œuvre. L'orientation donnée par la Communauté européenne dans le cadre de l'IPP se veut clairement de nature incitative plutôt que contraignante. Les instruments évoqués pour inciter les

⁵⁴ Direction générale de l'environnement de la Commission européenne.

industriels à intégrer l'environnement dans la conception des produits sont, d'une part, la fiscalité par l'internalisation des coûts environnementaux externes et l'application du principe pollueur-payeur, et d'autre part, la responsabilité environnementale du producteur concernant le produit fabriqué.

Cette approche visant à faire converger l'offre et la demande en termes de produits « verts », si elle paraît évidente en terme de « marché », présente du moins l'avantage d'institutionnaliser la démarche. Elle est donc originale si l'on se place sous l'angle de l'environnement. Bien que s'inscrivant résolument dans l'optique d'une économie totalement libéralisée⁵⁵, le livre vert sur la politique intégrée de produits, en centrant son action sur les mécanismes entre l'offre et la demande, met néanmoins en exergue le rôle crucial du consommateur dans la problématique de l'éco-conception, et sur l'importance de la sensibilisation et de l'information de celui-ci quant à l'importance environnementale de son acte d'achat.

Ce texte confirme ainsi indirectement, s'il en était besoin, ce qui a été mis en évidence dans la première partie (§ 1, Finalité de l'éco-conception) :

- d'une part, que l'acte même d'achat des produits (mode de consommation), en tant que point de convergence entre l'offre et la demande, a des conséquences environnementales, et que c'est donc bien la société de consommation et donc le produit qui sont la cause ultime de ces impacts ;
- d'autre part, que la réponse adaptée réside bien dans une approche globale et multicritère, principe de base de l'éco-conception.

b) La responsabilité environnementale

La Commission européenne prépare, parallèlement et de manière complémentaire, le cadre réglementaire en ce qui concerne la responsabilité environnementale des entreprises. La proposition de directive sur la responsabilité environnementale [PE&C 02] précise que son champ d'application s'étendra aussi bien aux activités dangereuses qu'aux activités non dangereuses. D'une manière générale, la réglementation européenne tend donc à accroître la responsabilité environnementale des producteurs en les forçant à adopter une approche cycle de vie pour leurs produits [Lefebvre 01].

c) Les directives produits

Les directives produit en vigueur sont actuellement au nombre de cinq. Quatre d'entre elles concernent des produits particuliers tels que les véhicules automobiles, les emballages et les produits électriques et électroniques :

- directive sur les véhicules hors d'usage (VHU) [JOUE 00],
- directive sur les déchets des équipements électriques et électroniques (DEEE) [JOUE 03b], et directive sur l'interdiction et la limitation des substances dangereuses [JOUE 03a],
- directive sur les emballages [JOCE 94 ; JOUE 04a].

La directive EuP, adoptée en 2005, vient renforcer ce dispositif réglementaire [EU&C 05]. Son champ d'application est extrêmement large puisqu'elle concerne tous les produits consommateurs d'énergie, à l'exception des véhicules. Elle impose aux producteurs concernés une démarche globale d'éco-conception qui n'est plus seulement limitée à des aspects spécifiques comme les aspects fin de vie. La directive EuP impose désormais des exigences en terme de moyens concernant la mise en œuvre d'une démarche d'éco-conception, mais aussi en terme de résultats. Cette directive constitue donc

⁵⁵ Il s'agit en effet d'affirmer le principe de la non réglementation au détriment de la libre régulation par « les forces du marché », alors même qu'il semble prouvé que seule la réglementation, en tant que principal levier, permet d'atteindre une certaine efficacité environnementale [Ryan 03 ; Hemel 98 ; Baylis 98a ; Tukker 00a].

clairement une extension large du champ de la réglementation applicable aux produits en terme d'éco-conception.

Ces directives s'imposent par principe aux Etats membres de la Communauté, qui ont ensuite l'obligation de les traduire dans leur droit national. Toutefois, il est courant dans la pratique que les industriels dont les produits entrent dans le champ de ces directives s'y réfèrent directement, alors même que, par principe également, les textes nationaux qui transcrivent ces directives peuvent s'avérer plus contraignants.

D'une manière générale, ces directives ont pour but de limiter la quantité et la dangerosité des déchets des produits en fin de vie, en limitant ou en interdisant l'utilisation des substances reconnues dangereuses pour l'environnement, et en fixant des objectifs de recyclabilité et de valorisation des produits. D'autre part, ces directives imposent aux Etats membres l'organisation de filières de récupération et de traitement en fin de vie des produits. Ces directives « produit » en vigueur fixent donc à la fois des obligations de résultats aux Etats membres et aux industriels⁵⁶ (par exemple atteindre un taux minimal de recyclabilité des produits) et des obligations de moyens aux Etats membres (mettre en œuvre les moyens d'organisation des filières de produits en fin de vie).

d) Le code des marchés publics

Que ce soit au niveau européen, par le biais d'une directive sur les marchés publics [JOUE 04b], ou au niveau de la France par le biais du nouveau code des marchés publics (CMP) [JORF 04], les administrations ont désormais la possibilité d'inclure dans les appels d'offre pour la passation de marchés publics des clauses liées à des critères relatifs à la qualité environnementale des produits. Cette possibilité inscrite dans la loi, associée à des efforts de formation des personnels responsables des achats publics⁵⁷, a pour objectif d'influer positivement sur la demande en produits « verts », et donc d'inciter les industriels à ajuster leurs offres de produits en prenant en compte les aspects environnementaux.

e) La responsabilité sociétale⁵⁸ des entreprises

La responsabilité sociétale des entreprises (RSE) est la déclinaison des principes du développement durable à l'échelle de l'entreprise.

La tendance récente portant sur la RSE, appuyée par des textes tant français (loi NRE⁵⁹) qu'européen (livre vert sur la responsabilité sociale des entreprises) [JORF 01 ; CCE 01c] instaure un cadre moral de règles concernant notamment les aspects sociaux et environnementaux des entreprises. L'article 116 de la loi sur les nouvelles régulations économiques (NRE) demande aux entreprises françaises cotées sur le marché français d'inclure dans leur rapport annuel une formalisation des impacts sociaux et environnementaux de leurs activités⁶⁰.

Cette tendance voit, au niveau mondial, les grandes entreprises se lancer dans des campagnes de communication sur le développement durable et se soumettre à des évaluations sur leur responsabilité sociale et environnementale, par le biais d'agences de notations. Les efforts de

⁵⁶ Les obligations de résultats en terme de recyclabilité des produits doivent s'appliquer, en toute rigueur, aux Etats membres. On constate toutefois dans les faits, en France du moins et à l'exception des emballages, que les taux de recyclabilité imposés par les directives se retrouvent dans les décrets et s'imposent donc de fait au industriel. De plus comme il a déjà été dit, les industriels prennent généralement de facto le texte des directives comme référence et s'appliquent donc pour leurs produits les objectifs des ces directives.

⁵⁷ Voir par exemples les guides européen et français sur les achats publics « verts » [CEC 04 ; MINEFI 04].

⁵⁸ Le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) recommande cette traduction (« sociétale ») du terme anglais « social » car elle correspond mieux en français à l'idée d'une approche intégrant à la fois les aspects sociaux et environnementaux.

⁵⁹ Loi relative aux nouvelles régulations économiques.

⁶⁰ Source : MEDD, http://www.ecologie.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=1018

transparence que consentent ces grandes entreprises sont répercutés sur l'ensemble de la chaîne clients-fournisseurs. Ainsi, les entreprises sous-traitantes, et notamment les réseaux de PME fournisseurs de ces grandes entreprises, doivent-elles, par un effet de cascade, répercuter les exigences environnementales que s'imposent leurs donneurs d'ordre, et intégrer à leur tour les contraintes environnementales dans la conception et la fabrication de leurs produits.

f) La normalisation des produits : les écolabels

Toujours dans une optique incitative plutôt que contraignante, le livre vert sur la politique intégrée de produits, note l'importance de la normalisation environnementale des produits comme alternative à la réglementation, afin de favoriser le libre jeu du marché et d'encourager les producteurs à intégrer l'environnement dans la conception de leurs produits. Cette normalisation repose sur le principe de la déclaration environnementale des produits. La déclaration environnementale des produits est, dans le langage « courant » de l'éco-conception, désignée sous le terme d'écolabel⁶¹.

La normalisation environnementale des produits relève d'une approche volontariste de la part des industriels. Le principe de la déclaration environnementale est le suivant : l'industriel s'engage à respecter un cahier des charges environnemental pour la conception et la fabrication de son produit, en échange de quoi il est autorisé à afficher sur son produit un écolabel certifiant que le produit respecte les critères de qualité environnementale spécifiés dans le cahier des charges. Cet affichage doit, dans la logique du marché souhaité par le livre vert sur l'IPP, permettre à l'industriel de différencier son produit des produits concurrents, et lui permettre ainsi d'accroître ses ventes, ou du moins de se positionner sur une niche de son marché, la niche des produits dits « verts ».

Il existe de nombreux écolabels. La plupart des pays en possède un, voire plusieurs. A titre d'exemples, parmi les plus connus sont la marque NF Environnement (France), le label « Energy Star » (USA), le label « Blue Angel » (Allemagne), le label « EPD⁶² » (Suède). L'Union européenne s'est dotée de son propre écolabel, l'écolabel européen « Flower eco-label ». Les écolabels concernent généralement les produits de grande consommation (NF Environnement, EU eco-label « Flower », « Energy Star »). Toutefois, il existe également des écolabels qui s'appliquent à des produits industriels (label suédois EPD), voire à des bâtiments (label français HQE⁶³).

Bien qu'elle reste une approche volontaire, la normalisation environnementale des produits n'en contribue pas moins, et c'est son objectif, à créer une pression supplémentaire pour les industriels dont les produits sont sur des marchés de produits pouvant bénéficier d'un écolabel. En effet, la présence même d'un écolabel sur un marché de produits crée les conditions favorables à une segmentation de ce marché et à l'apparition d'une niche de produits « verts ». Cette segmentation crée des opportunités en terme de ventes pour les industriels, ce qui contribue à créer des tensions sur ce marché (demande clients, différenciation de la concurrence, etc.) et donc finalement à créer une pression « perturbatrice » supplémentaire sur les industriels.

⁶¹ Le terme écolabel – ou déclaration environnementale – est un terme générique recouvrant des réalités différentes. Il existe en effet trois types de déclarations environnementales : la déclaration environnementale de type I, pour laquelle le produit doit être conforme à un cahier des charges normalisé, la déclaration environnementale de type II, dite autodéclaration [AFNOR 01b], et enfin la déclaration de type III [AFNOR 00b], pour laquelle l'industriel fournit des informations vérifiables établie sur la base d'un écobilan de son produit.

⁶² EPD : Environmental Product Declaration.

⁶³ HQE : Haute Qualité Environnementale.

2.1.2. Des obligations aux opportunités

Pujari & al. suggèrent, sur la base d'une étude sur la compétitivité des produits « verts », qu'il existe potentiellement plus de synergie que de contradictions entre les contraintes conventionnelles de la conception des produits et les contraintes environnementales [Pujari 03]. Ainsi, l'intégration des contraintes environnementales doit être regardée sous l'angle des opportunités qu'elle génère.

2.1.2.1. Enjeux stratégiques pour l'entreprise

La figure 6 propose une explicitation de l'origine des pressions qui pèsent sur l'entreprise en terme d'éco-conception. Elle reprend de manière synoptique les différents points développés auparavant, en les positionnant les uns par rapport aux autres. Cette représentation des flux est ici simplifiée, tant il est évident que tous les éléments positionnés sur la figure sont en interactions mutuelles. Toutefois, l'objectif est de montrer qu'à partir des signaux d'alerte émis par la communauté scientifique internationale à l'origine du processus, se dégagent deux champs de pressions distincts s'exerçant sur l'entreprise : le champ de pressions réglementaires créant des obligations pour l'entreprise, et le champ de pressions des opportunités créé par le propre marché de l'entreprise.

L'interprétation de cette figure indique clairement que la prise en compte des contraintes environnementales dans la conception des produits est devenue incontournable pour les entreprises. L'éco-conception des produits, quand elle n'est pas rendue obligatoire par la réglementation ou par les imposés des donneurs d'ordres, revêt pour les entreprises un enjeu stratégique qu'elles ne peuvent plus ignorer. L'étude de Gutowski & al. sur des entreprises européennes, américaines et japonaises, confirme l'intérêt stratégique porté par les entreprises au sujet de l'environnement [Gutowski 05].

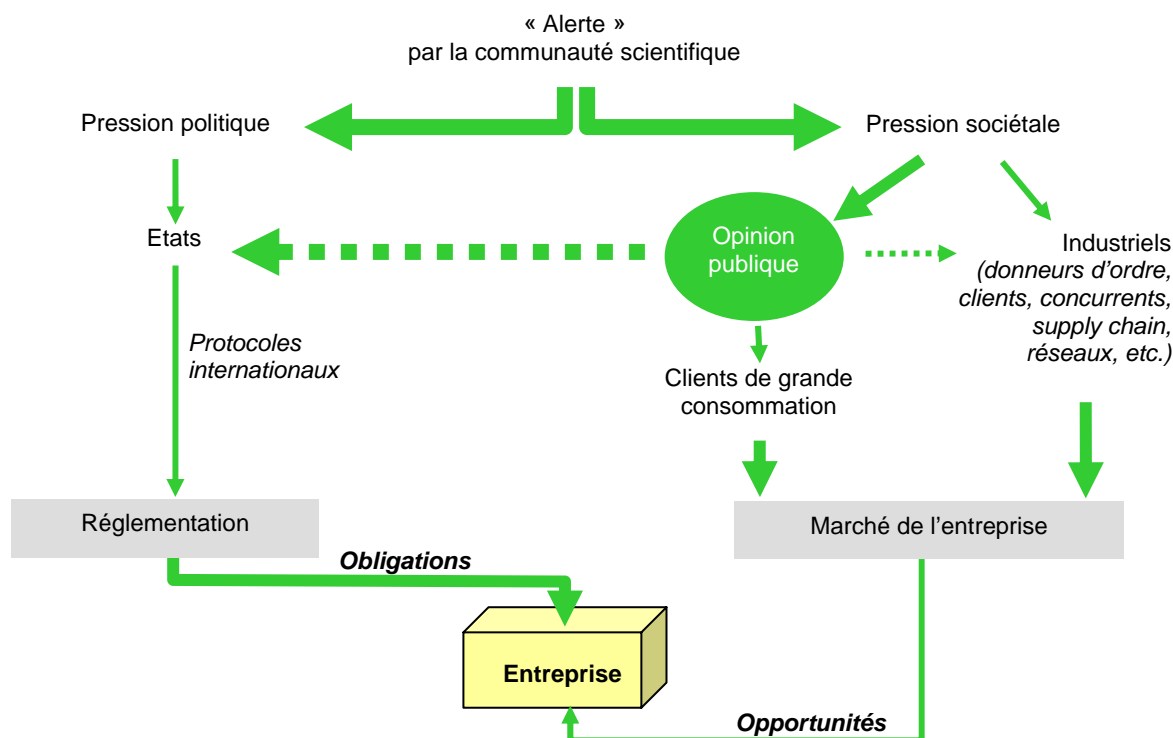


Figure 6. Explicitation de l'origine des champs de contraintes s'exerçant sur l'entreprise en terme d'éco-conception⁶⁴.

⁶⁴ L'épaisseur des traits symbolisant les relations entre les éléments du schéma représente un niveau relatif d'importance d'une relation par rapport à une autre (proposition d'une interprétation personnelle).

2.1.2.2. Marketing vert : valorisation des produits éco-conçus

Les éco-produits doivent permettre de créer un marché de produits « éco-efficaces », propre à inciter les industriels à s'engager dans cette voie. Puyou met ainsi en évidence, sur la base d'une analyse du marché existant en France, trois types de stratégie marketing différentes, qui restent, toutefois, des stratégies de niches de marché [Puyou 99]. En effet, l'intérêt des clients potentiels pour des produits dits verts est loin d'être suffisant pour engendrer une dynamique de marché justifiant un intérêt stratégique de la part des industriels.

Il faut, à ce stade, différencier deux catégories de produits, selon le marché auquel ils sont destinés : d'une part, les produits « industriels » dont les clients sont des industriels ou des professionnels, et d'autre part, les produits de grande consommation dont la clientèle est le grand public. Pour les produits industriels, l'argument environnemental n'a, a priori, que peu de poids dans l'acte d'achat, car les arguments décisifs en la matière sont le coût, la performance et la fiabilité. Il peut en revanche devenir un argument différenciateur d'importance, à prix équivalent, lorsque l'éco-conception du produit coïncide avec des améliorations fonctionnelles du produit, ou avec des économies potentielles directes engendrées par une baisse de la consommation énergétique en phase d'utilisation ou par une diminution de la quantité de déchets générés. La plupart des produits certifiés par l'écolabel EPD vont dans ce sens⁶⁵.

Concernant le marché des produits de grande consommation, différentes études montrent que l'attitude et l'opinion des consommateurs vis-à-vis des éco-produits sont encore mitigées, et dépendent de nombreux paramètres psychologiques et sociétaux [Robert-K 98 ; CREDOC 02 ; Bhate 97]. Globalement, les clients de la grande consommation sont de plus en plus sensibles à l'argument environnemental. Ils sont demandeurs de produits éco-conçus, même si parallèlement ils demandent à disposer d'une meilleure information sur le produit. Toutefois, Bhate & Lawler notent que le passage de la conscientisation à l'acte d'achat est loin d'être prouvé [Bhate 97], tandis que Robert-Kreziak affirme que si les consommateurs sont demandeurs de produits verts, ils ne sont pas forcément prêts à payer plus cher [Robert-K 98], ce que semblent confirmer [Tukker 00a]⁶⁶ et [Ammenberg 05]⁶⁷. Quoi qu'il en soit, il est évident que le potentiel en terme de marché pour les produits éco-conçus dépend du type de produit et du type de public auquel il s'adresse : il est plus facile d'adopter une stratégie marketing environnementale sur des secteurs de marché porteurs de valeurs coïncidant avec une image environnementale (produits de jardinage, articles de sport, etc.).

Le marché des produits éco-conçus est un marché relativement récent. Toutefois, le recensement des produits disponibles sur le marché français, et plus largement européen, aussi bien produits industriels que produits de grande consommation, vient confirmer l'importance stratégique de l'éco-conception en terme de marché potentiel (figure 7).

Pujari & al.⁶⁸ affirment qu'en 1997, 10 % des nouveaux produits introduits sur le marché aux USA étaient des produits verts, et que cette proportion était de 30 % pour les produits des ménages [Pujari 03].

⁶⁵ Exemple de produits certifiés EPD : générateur de puissance, moteur pour machine, réfrigérateur, ferme éolienne, véhicule réfrigérant pour la distribution quotidienne, etc. Voir la liste sur le site <http://www.environdec.com/>

⁶⁶ p4.

⁶⁷ Ammenberg & Sundin font référence à une étude qui montre que seuls 4 % des consommateurs sont prêts à payer des produits « verts » plus chers. Ils sont plus de 70 % à déclarer être prêt à acheter des produits verts à prix et qualité égaux.

⁶⁸ Citant Fuller, D. (1999), Sustainable marketing : managerial – ecological issues. Thousand Oaks (CA), Sage.

Obbligatoire

Stratégique

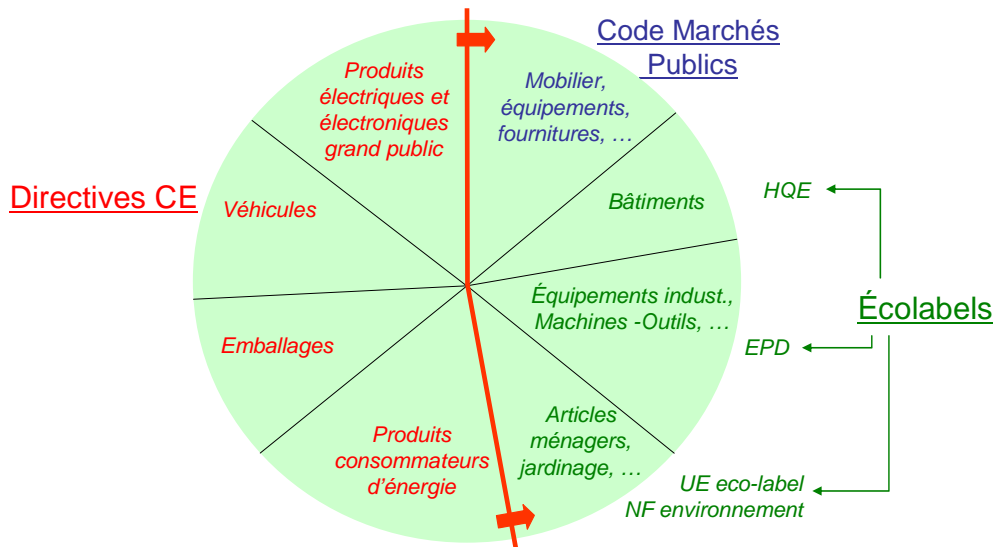


Figure 7. Marché européen des catégories de produits concernées par l'éco-conception.

2.1.3. Une problématique émergente, mais déjà une réalité industrielle

Le sujet de l'environnement, considéré dans l'entreprise sous l'angle de l'intégration des contraintes environnementales dans la conception des produits, est une problématique récente au niveau industriel. Les premières approches structurées et systématiques, fruits d'une collaboration entre recherche académique et industriels, datent du début des années 1990 [Hemel 98 ; Ryan 03, Lindahl 03, Tukker 00a]. Jacqueson note que la prise en compte des contraintes environnementales dans la conception des produits est une préoccupation récente, particulièrement importante, toutefois, dans les secteurs industriels concernés par une réglementation environnementale contraignante [Jacqueson 02]. En 2000, Tukker & al. estimaient, qu'au mieux, 10 % des entreprises, y compris dans les pays les plus avancés en terme d'éco-conception⁶⁹, étaient sensibilisés aux enjeux de l'éco-conception [Tukker 00a]. L'éco conception est donc, de fait, une problématique nouvelle pour une très grande majorité d'entreprises.

L'éco-conception « consciente⁷⁰ » est une problématique émergente en ce sens qu'elle commence tout juste à être vulgarisée. Dans la pratique, et à l'exception de quelques très rares PME, seules certaines grandes entreprises menant une veille stratégique, et ayant identifié l'éco-conception comme sujet d'intérêt, pratiquent à ce jour l'éco-conception.

2.1.3.1. Emergence

Lindahl note que l'importance relative du paramètre environnemental dans la conception des produits est toujours très faible au regard des autres paramètres [Lindahl 03]. Abrassart & Aggeri affirment

⁶⁹ Il s'agit des pays suivants : Allemagne, Pays-Bas, Danemark, Suède et Autriche.

⁷⁰ Comme nous l'avons déjà noté p26, la plupart des entreprises mettent en œuvre, sans en avoir pleinement conscience, des démarches qui relèvent de l'éco-conception, lorsque, principalement pour des raisons de coût, elles cherchent à réduire des consommations d'énergie, des quantités de matériaux, etc.

quant à eux que « le concept de POEMS⁷¹ [...] est une coquille vide sans véritable référence à des pratiques réelles », et que « la floraison des discours normatifs sur l'approche produit ne doit pas masquer l'écart qui peut exister entre ces discours et les pratiques des entreprises » [Abrassart 02]. Boeglin note que les entreprises ont toujours une approche « parcellaire »⁷² de la prise en compte des contraintes environnementales [Boeglin 02].

Quant à Tukker & al., dans leur rapport sur l'état de l'art de l'éco-conception, ils affirment qu'il s'agit d'un phénomène plutôt récent et toujours en phase de diffusion [Tukker 00a]. Enfin, pour G. Johansson, qui établit le bilan de plusieurs études, « [celles-ci] montrent clairement que le degré de pénétration de l'éco-conception dans l'industrie est plutôt limité »⁷³ [Johansson G 01].

2.1.3.2. Réalité industrielle

Le phénomène en est arrivé à ce stade ambigu, qui voit l'éco-conception être encore au stade de l'émergence, du moins en terme de diffusion auprès des entreprises⁷⁴, tout en étant déjà une réalité industrielle en ce sens que, comme il a été mis en évidence précédemment, elle est désormais une contrainte incontournable. Lindahl note ainsi, reprenant DeSimone & Popoff⁷⁵, que le sujet de l'environnement est appelé à devenir très rapidement un sujet incontournable, à l'instar de la qualité [Lindahl 03]. Par obligation réglementaire, des secteurs industriels aussi vastes que le secteur automobile, le secteur électrique et électronique, ou le secteur des emballages, sont confrontés depuis quelques années au sujet de l'éco-conception et sont contraints de mettre en œuvre des solutions concrètes. Des publications témoignent régulièrement de cette réalité [ADEME 99 ; Simon 01].

2.2. Importance des PME dans la conception des produits

La définition officielle des PME est donnée par une recommandation de l'Union Européenne⁷⁶ : « sont considérées comme PME les entreprises employant moins de 250 personnes (en équivalent plein temps annuel) et dont, soit le chiffre d'affaire annuel est inférieur ou égal à 40 millions d'euros, soit le total de bilan n'excède pas 27 millions d'euros et qui ne sont pas détenues à hauteur de 25 % ou plus (capital ou droits de vote) par une ou plusieurs entreprises ne correspondant pas à cette définition ».

Les PME sont généralement distinguées selon leur taille en plusieurs catégories. Les seuils de classement varient selon l'origine des sources (notamment France ou Union Européenne). L'Observatoire Européen des PME propose la classification suivante [AGPME 03a] :

- Les très petites entreprises (TPE, parfois aussi appelées « micro entreprises ») : de 1 à 9 salariés ;
- Les petites entreprises (PE) : de 10 à 49 salariés ;
- Les entreprises moyennes : de 50 à 250 salariés

⁷¹ Product Oriented Environmental Management System (gestion de l'éco-conception dans l'entreprise).

⁷² Le terme « approche parcellaire » doit s'entendre ici par opposition au terme « approche globale » qui caractérise une démarche d'éco-conception.

⁷³ Traduction.

⁷⁴ Les grandes entreprises, pour l'instant praticiennes quasi exclusives de l'éco-conception, ne représentent que 0,2% des entreprises, aussi bien en France qu'en Europe (cf. tableau 7).

⁷⁵ DeSimone, L., Popoff, F. (1997). Eco-efficiency, the business link to sustainable development. Cambridge, MA, MIT Press.

⁷⁶ Recommandation de l'Union Européenne du 3 avril 1996 parue au JOCE (L 107/6 1996).

Les statistiques françaises indiquent que 99,8 % des entreprises du champ ICS⁷⁷ sont des entreprises de moins de 250 salariés [MINEFI 02, AGPME 03a]. La part des entreprises de moins de 250 salariés est la même pour l'Union Européenne⁷⁸, soit 99,8 % [EEA 98]. Le tableau 7 propose une répartition du nombre d'entreprises françaises et européennes en fonction de leur taille.

Nombre d'employés	% des entreprises	
	France	Europe-19 ⁷⁹
< 250	99,8	99,8
50 – 249	0,97	0,9
10 – 49	6,00	6,3
0 - 9	92,85	92,5
≥ 250	0,2	0,2

Tableau 7. Part relative du nombre de PME, en % du nombre total des entreprises du champ ICS.
Sources [AGPME 03a, MINEFI 02, EEA 98, OESMES 02].

Une statistique INSEE précise qu'en 1998, parmi les PME, 25 % des entreprises de 20 à 499 salariés appartenaient à des groupes (micro groupes ou groupes de plus de 500 salariés) [AGPME 03a]. En ce qui concerne l'Union Européenne, il est estimé qu'entre 10 % et 20 % des entreprises de moins de 250 salariés ne satisfont pas aux critères d'indépendance donnés par la définition des PME [EEA 98]. Le nombre de PME au sens strict, tel que défini précédemment, peut donc être estimé approximativement, aussi bien pour la France que pour l'Union Européenne, entre 80 % et 90 % du nombre total d'entreprises. Dans cette fourchette, plus de 90 % sont des TPE de moins de 10 salariés. D'autre part, les PME représentent environ deux tiers de l'emploi total en France, et elles réalisent plus de la moitié du chiffre d'affaires des entreprises. Enfin, les PME susceptibles de mener une activité de conception de produit ou de service⁸⁰, représentent 57 % du total des entreprises françaises.

Hutchinson & Hutchinson⁸¹ affirment que la majorité de la production mondiale est réalisée par les PME. Mais, outre la part prépondérante qu'elles prennent dans le volume de produits mis sur le marché, les PME ont également un rôle prépondérant dans la conception de nouveaux produits. Ainsi, A.M. Johansson rappelle que les PME (aux Pays-Bas) génèrent 90% des innovations de produits chaque année [Johansson A 00]. Tukker & al. insistent également sur l'importance des PME en terme d'innovations sur les produits [Tukker 00b].

Les PME apportent donc logiquement une contribution cumulée importante aux impacts environnementaux. L'Agence Européenne de l'Environnement précise, dans un de ses rapports, que « *si la contribution relative des PME à l'impact environnemental industriel total n'est pas connue, elle ne doit pas moins en être considérable, étant donné leur contribution à la production totale et leur représentation dominante dans des secteurs comme les industries des métaux, de l'imprimerie, du*

⁷⁷ ICS : Industrie-Commerce-Services. Le champ ICS exclut les secteurs d'activité suivants : agriculture, sylviculture, pêche, activités financières, administration et activités associatives, location immobilière.

⁷⁸ Les statistiques datant de 1998, il s'agit de chiffres valables pour l'Union Européenne des 15.

⁷⁹ Europe-19 est définie dans le rapport [OESMES 02] comme l'Europe des 15 plus l'Islande, le Liechtenstein, la Norvège et la Suisse.

⁸⁰ Industrie, IAA, construction, et services.

⁸¹ Cités dans [Gerstenfeld 00].

textile, etc. ». [EEA 98]. Tilley, d'une part, et Lefebvre & al., d'autre part, sur la base de travaux de plusieurs chercheurs, avancent que les PME contribuent, de manière cumulée, à environ 70 % de la pollution industrielle [Tilley 99 ; Lefebvre 01].

Les PME jouent donc un rôle prépondérant dans l'organisation industrielle de la conception et de la fabrication de produits et services. Elles ont, à ce titre, un rôle primordial à jouer en éco-conception. Cela se vérifie notamment avec les secteurs industriels de l'automobile et des équipements électriques et électroniques, directement concernés par des réglementations d'éco-conception, et qui sont des secteurs dont l'organisation repose sur la sous-traitance auprès de PME. La difficulté, pour ces grandes entreprises, de mener à bien des projets d'éco-conception pour leurs produits réside dans l'implication de l'ensemble de la supply chain composée presque exclusivement de PME [Charter 02].

2.3. La demande du CETIM

Nos travaux de recherche s'inscrivent dans le cadre d'une collaboration entre l'institut ENSAM de Chambéry et le Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM), et font suite à une demande, exprimée par le CETIM, concernant la problématique de l'éco-conception dans les PME mécaniciennes.

Le CETIM est un des centres techniques industriels (CTI) français, dont les statuts sont définis par la loi du 22 juillet 1948⁸². L'article 2 de la loi précise que les CTI ont pour objet de promouvoir le progrès des techniques, et de participer à l'amélioration du rendement et à la garantie de la qualité dans l'industrie. Le CETIM, en tant que centre d'expertise des techniques de l'industrie mécanique s'est fixé comme mission essentielle de faire bénéficier les entreprises mécaniciennes des résultats de ses travaux et de l'existant technologique en mettant à leur disposition des compétences ainsi que des moyens techniques performants et maîtrisés. Les actions du CETIM en faveur des entreprises mécaniciennes sont :

- la veille technologique,
- les actions de R&D,
- les travaux normatifs et réglementaires.

2.3.1. Veille prospective du CETIM

Le CETIM possède un service Qualité-Sécurité-Environnement (QSE). Le service environnement travaille depuis longtemps sur les problématiques environnementales des procédés de fabrication de la mécanique : réduction et traitements des déchets, émissions aqueuses et atmosphériques, réduction de la consommation d'énergie, étude de technologies propres. L'équipe QSE du CETIM, basée à Saint Etienne, a, dans le cadre de ses missions, développé une veille environnementale qui lui a permis d'identifier le thème de l'éco-conception comme une préoccupation nouvelle et montante,

⁸² Loi n° 48-1228 du 22 juillet 1948 fixant le statut juridique des centres techniques industriels.

tant dans les organismes institutionnels, notamment l'ADEME, que chez les industriels, notamment les grandes entreprises liées à l'industrie mécanique, comme l'industrie automobile⁸³.

Jouant parfaitement son rôle d'organisme de conseil, le CETIM a, dans le but d'anticiper la demande de ses « ressortissants », réalisé en 2002 une étude prospective auprès d'un panel d'entreprises mécaniciennes⁸⁴. Le but de cette étude était, d'une part de réaliser un sondage concernant les attentes des entreprises ressortissantes en matière de conception environnementale des produits (qualifiée de « *sujet d'actualité* »), et d'autre part d'identifier, dans son propre intérêt, des potentialités de marché en terme de prestations d'accompagnement de ces entreprises à l'éco-conception.

2.3.2. Evolution de la demande du CETIM en matière d'éco-conception

La demande initiale du CETIM portait initialement sur la fourniture d'un outil d'aide à la conception pour les concepteurs de produits mécaniques. Le travail de thèse correspondant devait consister en un paramétrage des critères de l'industrie mécanique, produits et procédés. L'idée sous-jacente était qu'il est nécessaire de fournir aux concepteurs un outil plus simple que ceux existants actuellement et qui permette de suivre en « temps réel » la valeur environnementale du produit en fonction des choix de conception.

Une redéfinition utile du sujet de recherche a finalement permis au CETIM de préciser sa demande qui s'est alors cristallisée sur la fourniture d'une méthode d'accompagnement des PME mécaniciennes à l'éco-conception. L'objectif du CETIM en terme d'éco-conception est donc que les entreprises mécaniciennes parviennent à intégrer les contraintes environnementales exprimées par leur environnement industriel.

Le CETIM souhaite rendre compatible la démarche d'accompagnement à l'éco-conception avec leurs démarches « classiques » d'accompagnement sur des sujets plus habituels, tels les prestations de reconception selon les principes du « Design to Cost ». Classiquement ces campagnes d'intervention en entreprises exigent 2 à 3 jours maximum de présence réelle dans l'entreprise.

Cette demande particulière du CETIM s'inscrit dans un mouvement général, qui voit les centres techniques concernés par la conception de produit définir chacun de leur côté des approches d'éco-conception pour aider les entreprises qu'ils représentent. Travaillent ainsi sur le sujet, outre le CETIM, les centres techniques suivants⁸⁵ : le CETIAT, le CTBA, le CTC⁸⁶. Ce mouvement est d'ailleurs orienté par la Stratégie Nationale du Développement Durable⁸⁷ (SNDD), et se trouve en concordance avec l'ensemble des recommandations, tant nationales qu'européennes, préconisant une approche sectorielle de l'éco-conception [Tukker 00a].

L'éco-conception est devenue rapidement, notamment sous l'impulsion de textes réglementaires européens, une contrainte incontournable pour les entreprises. L'intérêt croissant que porte le grand public aux éco-produits offre aux entreprises une occasion stratégique de se positionner sur de nouveaux marchés. De manière contrainte ou volontaire,

⁸³ V. Moulin. Pré-étude pour la mise au point de méthode de conception/reconception intégrant les attentes de l'environnement, des outils et paramètres dévaluation écologique. Rapport d'étude n° 1E8970. CETIM St Etienne, décembre 2000.

⁸⁴ Etude de marché « éco-conception ». Réalisée par C. Le Tondeur, CETIM Senlis, 2002.

⁸⁵ Liste non exhaustive, ayant valeur d'exemple.

⁸⁶ CETIAT : centre technique des industries aérauliques et thermiques ; CTBA : centre technique du bois et de l'ameublement ; CTC : centre technique du cuir.

⁸⁷ SNDD, programmes d'actions, volet 4 : Activités économiques, entreprises et consommateurs.

la prise en compte de l'environnement dans la conception des produits est un sujet qui ne peut plus être ignoré par les industriels.

Ce travail de recherche se positionne donc, d'un point de vue industriel, comme un travail d'anticipation de la demande des PME en terme d'aide pour l'intégration des contraintes environnementales dans la conception des produits, identifiée par le CETIM comme étant inévitable à court terme.

3. CONTEXTE DE RECHERCHE

Le sujet de l'éco-conception dans les entreprises, et plus particulièrement dans les PME, se trouve à la croisée de deux domaines de recherche qui sont d'une part, le PLM⁸⁸ avec un sous-domaine constitué par le thème de l'éco-conception, et d'autre part les organisations industrielles, avec un sous-domaine portant sur les PME.

La figure 8 positionne la problématique de l'intégration de l'éco-conception dans les PME, dans le domaine du génie industriel, et par rapport aux différents domaines de recherche.

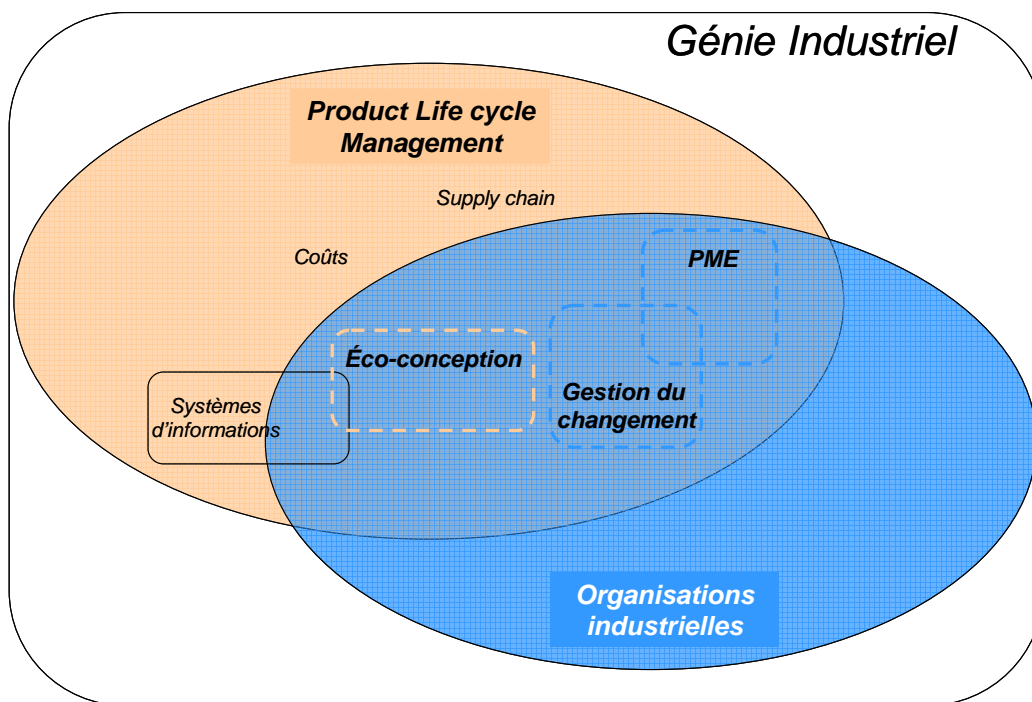


Figure 8. Positionnement du sujet de recherche dans le domaine du génie industriel.

3.1. L'éco-conception, un domaine de recherche du PLM

Le champ de recherche du PLM porte sur l'étude des différents aspects du cycle de vie du produit (coûts, qualité, environnement, etc.) et sur l'impact de ces aspects sur la conception de produit, notamment la répercussion de la prise en compte de ces aspects sur l'ensemble de la supply chain et sur les systèmes d'informations et de gestion des données. L'éco-conception s'inscrit donc naturellement dans le PLM pour ce qui est de la gestion des aspects environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie des produits.

⁸⁸ PLM : Product Life cycle Management, ou management du cycle de vie des produits. L'acronyme PLM sera utilisé dans le reste du document car c'est le terme qui fait référence.

L'éco-conception est un sujet de recherche-action qui, comme il a déjà été précisé dans la partie sur le contexte industriel, date d'une quinzaine d'années. Ce domaine de recherche repose sur les thèmes suivants :

- L'évaluation environnementale.
- Le développement d'outils et de méthodes d'évaluation et d'aide à la conception environnementale.
- La fin de vie des produits.
- L'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise.

3.1.1. Analyse du cycle de vie et évaluation environnementale

La recherche concernant l'évaluation environnementale des produits, qui constitue par ailleurs un domaine de recherche à part entière, se cristallise sur le développement de l'analyse du cycle de vie (ACV). Ce domaine, en faisant appel, d'une part à un ensemble de sciences « pures » (physique, chimie, biologie, etc.), et d'autre part à un ensemble de techniques mathématiques (optimisation et analyse multicritère, calcul d'incertitudes, etc.), tente de synthétiser les différents apports de ces sciences dans le but de proposer des méthodes fiables d'évaluation des impacts environnementaux des produits et services de l'activité humaine. La recherche en ACV est menée notamment par la SETAC⁸⁹ et par des institutions universitaires telles les écoles polytechniques de Zürich (ETHZ) et de Lausanne (EPFL). Un des axes de recherche de ce domaine consiste à développer des outils d'évaluation alternatifs à l'ACV, trop compliquée pour être diffusée dans les entreprises, mais qui restent néanmoins des outils fiables malgré la simplification. Les travaux de la communauté scientifique internationale de recherche dans le domaine de l'ACV sont publiés, notamment, dans la revue IJLCA⁹⁰.

3.1.2. Outils et méthodes d'éco-conception

Un axe de recherche important porte sur le développement d'outils et méthodes pour la mise en œuvre de l'éco-conception dans les entreprises. Ces outils et méthodes se répartissent en deux groupes principaux :

- Les outils d'évaluation environnementale, avec notamment le développement d'outils simplifiés alternatifs à l'ACV.
- Les outils d'aide à la conception environnementale (DfE⁹¹).

Cette recherche-action s'effectue la plupart du temps sous forme de partenariat entre des entreprises et des laboratoires de recherche. Janin a procédé à un travail de recensement de ces outils, qu'ils soient génériques ou particuliers à des entreprises [Janin 00].

⁸⁹ Society of Environmental Toxicology and Chemistry, www.setac.org

⁹⁰ International Journal of Life Cycle Assessment.

⁹¹ Design for Environment.

3.1.3. Intégration de l'éco-conception

Millet & al. proposent une synthèse originale des travaux menés jusqu'à présent à l'ENSAM sur le thème de l'intégration des contraintes environnementales en conception, en mettant en évidence une évolution dans l'approche de l'intégration, depuis la mise en œuvre de l'outil ACV dans une grande entreprise de l'automobile, jusqu'à l'intégration par un processus d'apprentissage [Millet 03a]. Millet a, dans un premier temps, proposé une démarche complétant le processus de conception pour permettre d'intégrer la contrainte environnementale dans ce même processus [Millet 95]. Leborgne a, par la suite, travaillé sur le déploiement de la démarche ACV, en tant qu'outil de spécialiste pour l'acteur environnement chez PSA [Leborgne 98]. Coppens a, également, proposé l'intégration d'un outil spécialisé dans le processus de conception, pour la prise en compte des contraintes de recyclage⁹² pour les véhicules en fin de vie (VHU) [Coppens 98].

Jacqueson, puis Tonnelier, à la suite de ces travaux, ont tous deux proposé de considérer un champ élargi pour une démarche d'intégration des contraintes environnementales, en passant d'un travail axé sur le processus de conception à une action au niveau de l'entreprise en tant qu'organisation [Jacqueson 02 ; Tonnelier 02]. Jacqueson s'est intéressé au processus d'apprentissage dans l'entreprise comme vecteur d'intégration de l'éco-conception, tandis que Tonnelier a proposé un processus « complet » d'intégration.

Van Hemel, dans une thèse de référence basée sur une étude expérimentale auprès de 77 PME hollandaises, propose une identification des critères permettant de juger la performance des entreprises en éco-conception⁹³. L'auteur classe les critères en trois groupes, chacun ayant une influence sur la pratique et l'intégration de l'éco-conception dans les entreprises : le « *DfE focus* », ou les axes sur lesquels se concentre l'entreprise, le « *DfE result* », ou les résultats effectivement obtenus par l'application de principes d'éco-conception, et le « *DfE learning* », ou le niveau d'apprentissage atteint dans l'entreprise [Hemel 98].

3.1.4. Fin de vie des produits

Les domaines concernant la prise en compte des contraintes environnementales liées à la fin de vie des produits sont regroupés sous les thèmes de DfR et DfD⁹⁴ qui concernent les aspects liés au recyclage, à la réutilisation, à la remise à neuf et à la valorisation des produits en fin de vie. Une partie de ce domaine de recherche porte sur l'étude des propriétés des matériaux, notamment les plastiques, concernant les aspects liés à leur recyclabilité, leur biodégradabilité, etc. Un autre domaine, qui se constitue en recherche-action, propose une approche globale basée sur l'étude des filières industrielles de fin de vie des produits, et notamment sur les conditions d'émergence et de viabilité de ces filières indispensables au recyclage effectif des produits⁹⁵. Mathieux, en positionnant sa recherche à l'interface entre le processus de conception de l'entreprise et les filières de valorisation des produits en fin de vie, a proposé une démarche de prise en compte, par un retour en conception, des contraintes, notamment technico-économiques, émanant des filières de recyclage, pour une meilleure adéquation entre produits et filières [Mathieux 02a].

⁹² La prise en compte des contraintes liées au recyclage est connue sous le terme de Design for Recycling (DfR).

⁹³ L'auteur parle de « DfE performance ».

⁹⁴ Design for Desassembly. Voir par exemple les travaux de [Haoues 04].

⁹⁵ Voir par exemple les travaux de [Maudet 05], et la participation de l'Institut ENSAM Chambéry au projet européen SAFFIR (projet EUREKA), concernant la recyclabilité des polymères thermoplastiques chargés avec des fibres de verre utilisés dans l'industrie automobile).

3.2. Les PME comme organisation industrielle

L'Institut Américain de Génie Industriel⁹⁶ définit le génie industriel de la manière suivante : « *le génie industriel englobe la conception, l'amélioration et l'installation de systèmes intégrés composés d'Hommes, de matériaux et d'énergies. Il utilise les connaissances provenant des sciences mathématiques, physiques, sociales, ainsi que les principes et méthodes de conception et d'analyse propres au génie dans le but de spécifier, prédire et évaluer les résultats découlant de ces systèmes* ». Vernadat⁹⁷ précise que « *l'objet du génie industriel, champ d'activité par nature interdisciplinaire, est de mettre en oeuvre un ensemble de techniques et de méthodes pour faciliter la conception, l'organisation et le management des systèmes socio-techniques, en particulier ceux de la production de biens et de services, mais aussi ceux du transport de biens et de personnes* ».

Ces définitions sous-entendent que le génie industriel doit nécessairement reposer sur des organisations qui permettent de parvenir aux productions, matérielles et intellectuelles, définies dans ce cadre. Le domaine de recherche du génie industriel comprend donc celui des organisations industrielles. Bertoluci, dans un travail de recherche sur la cohérence des processus industriels, définit le champ de recherche des organisations industrielles [Bertoluci 01]. Elle retrace notamment un bref historique des approches d'étude des organisations, et montre une évolution de ces approches qui met en évidence la complexité des organisations industrielles. Les organisations industrielles se caractérisent, d'une part, par leurs structures, c'est-à-dire la somme des moyens matériels et immatériels ainsi que l'articulation de ces moyens permettant à l'organisation d'exister, et d'autre part, par leurs dynamiques. Mintzberg, dans un ouvrage consacré à la structure et la dynamique des organisations, fait ainsi apparaître des typologies d'organisations industrielles [Mintzberg 82].

Dans cette optique, les PME apparaissent comme un type particulier d'organisations industrielles, dans lesquelles on constate, ici plus qu'ailleurs, de nombreux dysfonctionnements [Bertoluci 01]. Dandridge affirme que les PME ont besoin d'avoir leur propre théorie de l'organisation [Dandridge 79]. Torrès, dans un ouvrage consacré aux approches sur les PME, fait le point sur 25 années de recherche en PME [Torrès 98]. Il s'applique à démontrer que l'étude des PME constitue bien un domaine de recherche à part entière, et met en évidence une évolution des courants d'étude touchant les PME, la PME passant progressivement du statut de champ d'analyse au statut d'objet d'analyse.

3.2.1. Définir le concept de PME

Le terme PME, s'il est d'usage courant et admis dans le monde industriel, reste un concept aux contours flous. Dans son usage courant, le concept de PME s'entend, en fait, par opposition au concept de grandes entreprises celles-ci étant les entreprises « *capables, de quelque façon que ce soit, de dominer les marchés* » [AGPME 03a]⁹⁸. Dandridge, afin de marquer la spécificité des PME par rapports aux grandes entreprises, et montrer qu'une PME n'est pas une grande entreprise en taille réduite, raisonne par analogie avec les humains et affirme que « *les enfants ne sont pas des petits adultes* » [Dandridge 79].

Cependant, lorsque l'on souhaite étudier d'un peu plus près la réalité des petites et moyennes entreprises, que ce soit à des fins statistiques ou dans le cadre de recherches, il est nécessaire d'en

⁹⁶ American Institute of Industrial Engineering.

⁹⁷ François Vernadat, Préface du 1^{er} colloque du groupe de travail « gestion des compétences et des connaissances en GI », GCC-GI 2002 : vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes, 12-13 décembre 2002.

⁹⁸ p. 17.

donner une définition précise afin de délimiter les frontières de l'étude. Pourtant, l'Agence des PME, reprenant une citation de l'Observatoire Européen des PME, précise qu' « *il n'existe pas de définition unique, fondée scientifiquement, de la PME, puisqu'il n'existe pas de concept analytique clair...* » [AGPME 03a]⁹⁹. Dans le même ordre d'idée, un document du Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, reprenant une citation d'un projet de loi de finances¹⁰⁰, affirme lui aussi qu'il n'existe pas de définition unique de la PME, précisant que « *les critères retenus diffèrent selon les textes législatifs ou réglementaires [...]. En France on avait, depuis l'après-guerre, l'habitude de considérer comme PME les entreprises comptant de 10 ou 20 (pour l'industrie) personnes à moins de 500 personnes*¹⁰¹ » [MINEFI 02].

Hillary recense, quant à elle, de manière non exhaustive, plus de 20 définitions des PME issues de différentes sources bibliographiques [Hillary 00]. Elle classe ces définitions en 2 catégories, d'une part les définitions opérationnelles, utilisées dans le cadre de travaux avec les PME (par exemple lorsqu'il s'agit de fixer des seuils d'éligibilité pour des subventions), et d'autre part les définitions théoriques, utilisées pour des travaux de recherche sur les PME (par exemple lorsqu'il s'agit de caractériser les PME d'un secteur particulier) [Hillary 00]. Mais, quelle que soit la définition proposée, Hillary affirme qu'aucune ne peut rendre compte de la très grande hétérogénéité des PME, due à la variété des entreprises et à la diversité des secteurs industriels, et que, par conséquent, toute définition des PME en général ne peut être que partielle et grossière. Pour Julien & al.¹⁰², la grande hétérogénéité des PME vient des importantes différences de gestion et d'organisation d'une entreprise à l'autre. Ils en concluent qu'il est difficile, non seulement d'établir une théorie des PME, mais aussi d'en donner une définition qualitative ou quantitative unanimement reconnue [Gondran 01].

Il existe toutefois, en France, une définition consensuelle des PME, basée sur une agrégation de critères quantitatifs, venant de différentes sources (INSEE, SESSI, BDPME, Banque de France, ...), et relatifs au nombre de salariés et au chiffre d'affaires : « *les PME sont traditionnellement des entreprises qui emploient moins de 500 salariés ou qui réalisent moins de 77 millions d'euros de chiffre d'affaires (soit 500 millions de francs)* » [AGPME 03a]¹⁰³.

Enfin, la définition la plus précise des PME, basée sur des critères quantitatifs exclusifs, est donnée par la recommandation de l'UE de 1996¹⁰⁴ : moins de 250 personnes, chiffre d'affaires inférieur à 40 millions d'euros et critère d'indépendance.

3.2.2. PME versus grandes entreprises ?

Julien & al.¹⁰⁵ expliquent l'hétérogénéité des PME par le fait que, contrairement aux grandes entreprises dans lesquelles de nombreuses personnes participent à chaque niveau décisionnel, le faible nombre de cadres dans les PME donne une influence beaucoup plus forte à la personnalité de chacun, ce qui conduit à d'importantes différences de gestion et d'organisation d'une PME à l'autre.

⁹⁹ p. 5.

¹⁰⁰ Projet de loi de finances pour 2002, « Effort financier de l'Etat en faveur des petites et moyennes entreprises », page 8, Imprimerie nationale.

¹⁰¹ p. 5.

¹⁰² Cités dans [Gondran 01] : Julien P-A. (dir.). (1997) Les PME : bilan et perspectives. GREPME (Groupe de Recherche en économie et gestion des PME). Québec, éditions Economica.

¹⁰³ p. 16.

¹⁰⁴ cf. p. 54.

¹⁰⁵ Op. cit. note 102.

Plutôt que de tenter de définir une entité appartenant à un ensemble marqué par son hétérogénéité, il semble plus pertinent de vouloir définir les PME par des caractéristiques propres communes à l'ensemble hétérogène, en identifiant des comportements moyens et en construisant des typologies opérationnelles. La figure 9 présente, d'après une analyse bibliographique réalisée par Julien & al.¹⁰⁶, les différentes dimensions typologiques qui peuvent permettre de positionner les PME sur un continuum [Gondran 01].

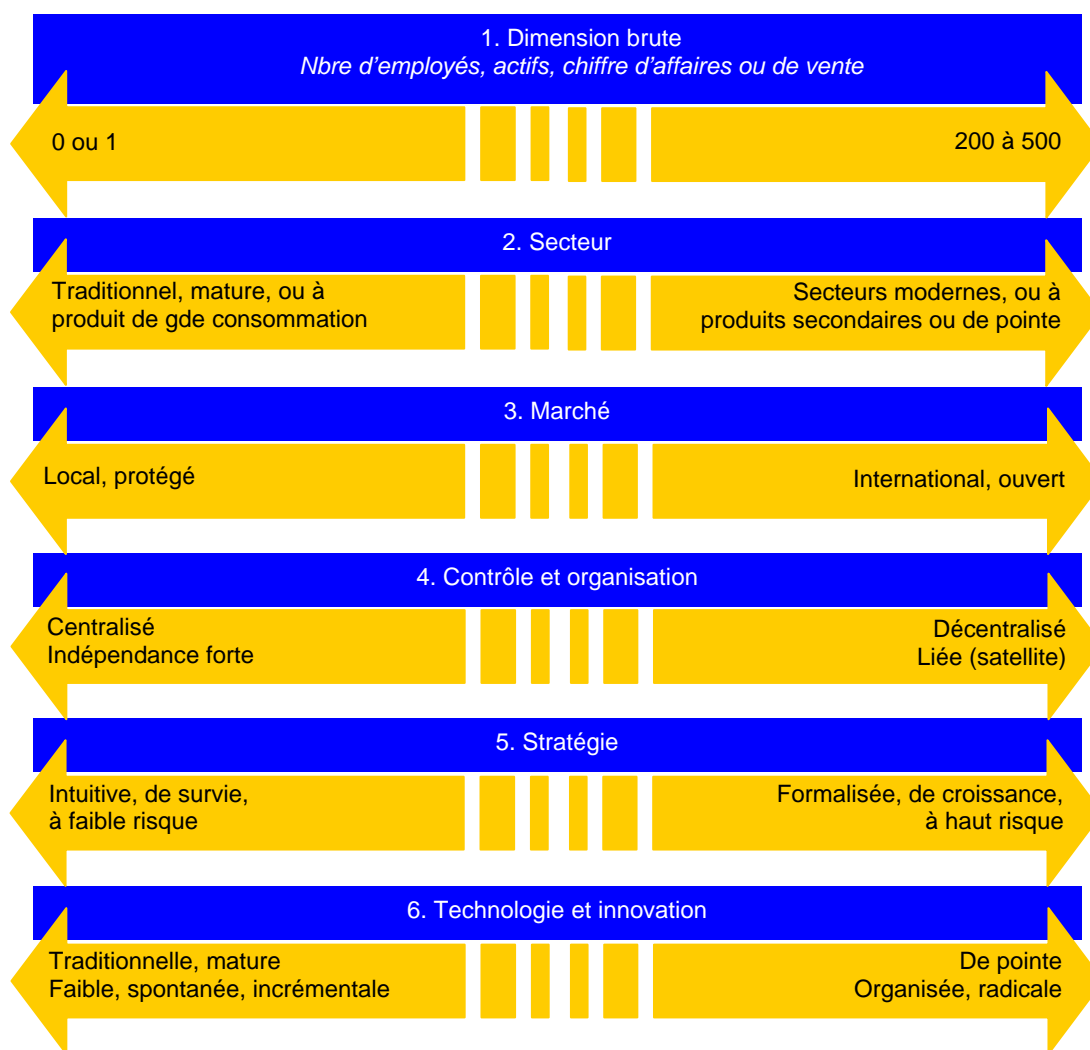


Figure 9. Différentes dimensions typologiques des PME représentées sur un continuum.

La figure 9, ainsi que la classification des définitions donnée par [Hillary 00], montrent que dans la pratique, il faut s'attendre à une acception large des PME, selon les sources et les auteurs. Baylis & al. notent ainsi que rares sont, dans la bibliographie, les études menées auprès des PME qui précisent la définition retenue¹⁰⁷, ce qui laisse supposer que, pour des raisons pratiques, les entreprises retenues pour les études en question ne l'ont pas été sur la base d'une définition

¹⁰⁶ Op. cit. note 102.

¹⁰⁷ Ceci est d'autant plus vrai pour les études réalisées auprès de PME de plusieurs pays n'ayant pas forcément la même définition des PME.

analytique stricte [Baylis 98b]. La plupart du temps, les PME se définissent par opposition aux grandes entreprises.

Ainsi, pour les auteurs du rapport sur les outils de management environnemental dans les PME [EEA 98], les caractéristiques qui distinguent les PME des grandes entreprises sont :

- un manque de position dominante sur le marché,
- des structures de gestion mal définies, voire non définies,
- une absence de supports technique et financier venant d'une entreprise mère.

Pour les auteurs, il semble qu'il existe, pour les deux premières caractéristiques, un seuil critique autour de 250 employés, distinguant les PME des grandes entreprises.

Toujours dans l'idée de définir les PME par opposition aux grandes entreprises, Gondran, reprenant les travaux de Julien & al.¹⁰⁸, énonce les caractéristiques qui doivent permettre de cerner le concept de PME [Gondran 01] :

- la petite taille, caractérisée par une distance hiérarchique moindre, favorisant les contacts directs et des relations de travail plutôt informelles. Les PME s'opposent en cela aux grandes entreprises caractérisées par des relations anonymes, fortement hiérarchisées et formalistes ;
- la centralisation, voire personnalisation, de la gestion autour du propriétaire dirigeant ;
- une faible spécialisation tant au niveau de la direction que des employés ou des équipements ;
- une stratégie intuitive et peu formalisée ;
- des systèmes d'information interne et externe peu complexes et peu organisés, laissant la place au dialogue et aux contacts directs.

Gondran, reprenant les travaux de Mahé de Boislandelle¹⁰⁹ et de Torrès¹¹⁰, met en avant le rôle joué par le chef d'entreprise pour caractériser qualitativement les PME par rapport aux grandes entreprises [Gondran 01]. Ces deux auteurs, Mahé de Boislandelle et Torrès, s'appuient sur le même constat du rôle prépondérant du chef d'entreprise dans l'organisation des PME, mais ils en tirent deux conclusions différentes et complémentaires.

Mahé de Boislandelle met, pour sa part, en évidence les conséquences de ce constat sur la stratégie de l'entreprise. Les PME, en raison d'une trop grande centralisation sur le chef d'entreprise, ont du mal à hiérarchiser l'importance stratégique relative des différentes contraintes qui pèsent sur l'entreprise. L'auteur propose, pour expliquer la différence entre PME et grandes entreprises, le concept « *d'effet de grossissement* » qui consiste chez un dirigeant « *à considérer comme stratégique l'ensemble des actions à mener dans la mesure où les horizons de calcul autant que les degrés d'importance se confondent dans son esprit* ». Pour l'auteur, ce phénomène repose sur trois effets :

- L'effet de nombre : le faible nombre d'employés au sein des PME favorise les relations interpersonnelles qui jouent un rôle prépondérant.
- L'effet de proportion : en raison du faible effectif, le poids relatif de chacun est accru dans les petites structures.
- L'effet microcosme, qui se traduit par le fait que le dirigeant d'une PME, en raison de plusieurs facteurs, tels que la forte implication du dirigeant dans l'organisation, l'intensité affective de ses relations ou encore le nombre des activités à effectuer en priorité, focalise son attention sur

¹⁰⁸ Op. cit. note 102.

¹⁰⁹ Mahé de Boislandelle, H. (1998). La gestion des ressources humaines dans les PME. 2^{ème} édition, Paris, Economica.

¹¹⁰ Torres, O. (1999). Les PME. Dominos, Flammarion. et

Torres, O. (2000). Du rôle et de l'importance de la proximité dans la spécificité de gestion des PME, 3^{ème} Congrès International Francophone sur la PME, Lille.

l'immédiat dans le temps et l'espace (espaces physique et psychologique), privilégiant ainsi les solutions efficaces à court terme plutôt qu'une vision stratégique à long terme.

Torrès, quant à lui, en partant du même constat d'une trop grande centralisation sur le dirigeant, met en évidence les conséquences sur la vulnérabilité de l'entreprise. Il propose comme explication le cercle vicieux du « *small is difficult* », résultante de la combinaison de trois effets :

- L'effet papillon : tout problème d'apparence mineur peut engendrer une série de conséquences pour la PME du fait de sa vulnérabilité économique.
- L'effet microcosme, identique à l'effet microcosme décrit par Mahé de Boislandelle.
- L'effet d'égotrophie : en raison d'une hypertrophie de l'ego du dirigeant, il existe un risque lié au fait que celui-ci ne sait pas déléguer les prises de décisions.

L'analyse croisée de ces deux auteurs met donc en évidence une caractéristique des PME, qui est leur focalisation sur des stratégies à court terme. Cette « gestion des urgences » est liée à une trop grande centralisation de l'organisation sur le dirigeant.

D'une manière générale, il est couramment admis dans la littérature que les PME se caractérisent par les moyens limités dont elles disposent en comparaison des moyens des grandes entreprises [Gerstenfeld 00 ; Gondran 01 ; Lindemann 01 ; Tilley 99, Haksever 96, Hansson 03 ; Lipovatz 03 ; Johansson A 00 ; Tukker 00b ; Messeghem 98]. Ainsi, Hansson affirme que « *le manque de ressources des PME limite ses possibilités d'initiatives* » [Hansson 03]. Lipovatz précise quant à lui que les PME ont certaines caractéristiques qui leur confèrent des désavantages, parmi lesquels des ressources financières et humaines limitées, un manque de gestion et d'expertise technique, un manque de spécialisation métier, ou encore de fortes contraintes de temps [Lipovatz 03]. Tukker & al. parlent, pour leur part, d'un déficit de ressources opérationnelles et stratégiques [Tukker 00b].

Ce qui est communément reconnu comme un manque de moyens des PME se décline dans le triptyque manque de temps, manque de moyens humains, manque de moyens financiers, dont les termes sont évidemment interdépendants. Le manque de temps conduit à un manque de disponibilité des acteurs de l'entreprise pour toute activité ne relevant pas directement du cœur de leur métier. Le manque de moyens financiers limite quant à lui les capacités d'investissement de l'entreprise pour des domaines jugés non stratégiques et considérés comme non vitaux. Enfin, le manque de ressources humaines limite fortement toute capacité d'action et de réalisation de projets « connexes ». Globalement, ce manque de moyens se traduit donc par des capacités d'anticipation et d'action limitées pour tout ce qui ne relève pas directement du métier traditionnel de l'entreprise.

Toutefois, certaines caractéristiques des PME, mises en avant notamment par Torrès, Julien & al. et Mahé de Boislandelle¹¹¹, permettent de penser que les PME bénéficient, par rapport aux grandes entreprises, de certains avantages pour intégrer de nouvelles contraintes. Ainsi, s'il existe, par l'intermédiaire du chef d'entreprise ou d'une personne bénéficiant de responsabilités fonctionnelles au sein de l'entreprise, une volonté forte de changement, il semble raisonnable de penser que les intentions émanant de ce dirigeant seront traduites plus facilement en actes concrets. De même, les structures peu formalisées des PME autorisent sans doute des modifications plus aisées et plus rapides de l'organisation.

¹¹¹ Op. cit., respectivement notes 110, 102, et 109.

3.3. Constat d'échec de l'intégration de l'éco-conception dans les PME

La recherche concernant l'intégration de l'éco-conception dans les PME se situe donc naturellement à l'intersection des domaines de recherche sur l'éco-conception, en tant que partie intégrante du PLM, et sur les PME, en tant que partie intégrante des organisations industrielles.

La partie décrivant le contexte industriel, a montré que l'éco-conception, depuis l'origine un domaine de recherche-action entre des organismes de recherche et des entreprises, était désormais une problématique industrielle à part entière. Sur cette base, certaines sources bibliographiques permettent de dresser une analyse sommaire de l'ensemble des expériences réalisées dans le domaine de l'éco-conception en entreprise depuis plus de dix ans.

D'une manière générale, comme le note A.M. Johansson, beaucoup d'exemples d'éco-conception sont disponibles pour les grandes entreprises, mais très peu pour les PME [Johansson A 00].

Auteurs d'une étude sur l'état de l'art de l'éco-conception dans l'Union Européenne, Tukker & al. rapportent que l'éco-conception a encore un rôle négligeable dans les entreprises, et ce particulièrement dans les PME. Ils précisent même qu'en terme d'activité d'éco-conception les PME sont largement en retrait par rapport aux grandes entreprises [Tukker 00a]. Les auteurs estiment que l'on peut dénombrer une centaine de PME pratiquant l'éco-conception dans chacun des pays suivants ayant bénéficié de programmes gouvernementaux ambitieux de dissémination de l'éco-conception : Danemark, Suède, Pays-Bas et Autriche. Selon eux, le petit groupe de PME européennes développant une activité d'éco-conception correspond à des PME ayant identifié une niche de marché potentiel pour des produits « verts », et qui ont saisi l'opportunité pour différencier leur gamme de produits. Ces PME restent toutefois des exceptions [Tukker 00b].

Les auteurs concluent donc que, même dans les pays les plus avancés dans le domaine de l'éco-conception, la proportion de PME développant une activité de conception environnementale des produits est très faible [Tukker 00b].

Hillary affirme, quant à elle, qu'il est généralement difficile de mobiliser et d'engager les PME dans une démarche d'amélioration de ses performances environnementales, que ce soit pour des sites de production ou pour la conception de produits [Hillary 00]. L'observatoire des PME note, dans son rapport sur les PME et l'environnement, que l'éco-conception est encore peu accessible aux plus petites entreprises, celles de moins de 50 salariés [AGPME 03b].

Enfin, Tukker & al. rapportent que, d'une façon générale, l'éco-conception ne constitue pas un axe stratégique pour les PME et que les politiques d'entreprise concernant la conception environnementale des produits sont extrêmement rares [Tukker 00a], alors que dans nombre de grandes entreprises, l'éco-conception constitue déjà un axe stratégique [Tukker 00b].

3.3.1. Taux de dissémination

Sans pouvoir donner de chiffres exacts, tous les auteurs s'accordent néanmoins à dire que, parmi les entreprises pratiquant une activité d'éco-conception, le nombre de grandes entreprises est très largement supérieur au nombre des PME. Si l'on rapporte cette tendance à la proportion des grandes entreprises, qui ne représentent que 0,2 % du nombre d'entreprises en France et en Europe, il est possible d'affirmer que le taux de dissémination de l'éco-conception est relativement important pour les grandes entreprises, mais qu'il est en revanche extrêmement faible pour les PME.

3.3.2. Dynamique de dissémination

Si l'on peut estimer que la dynamique de dissémination de l'éco-conception est positive pour les grandes entreprises, qui identifient la thématique environnementale comme un axe stratégique, la question reste posée pour ce qui concerne la dynamique d'intégration de l'éco-conception par les PME.

En effet, Tukker & al. rapportent, notamment, que les PME tendent à arrêter toute activité d'éco-conception suite au projet pilote expérimental d'initiation aux activités d'éco-conception, dès lors que le support extérieur à l'entreprise n'est plus présent [Tukker 00b]. [Ammenberg 05] et [Dewulf 03]¹¹² soutiennent ce constat en notant que la plupart des entreprises reviennent à leurs pratiques courantes après les projets pilotes d'éco-conception. Ce problème de non continuation d'une démarche engagée pose le problème de l'efficacité des méthodes d'intégration de l'éco-conception dans les PME. En effet, cela revient à dire que, pour ces entreprises, le projet pilote n'aura été qu'un projet de démonstration et que le processus d'intégration n'a pas été réalisé.

Non seulement, donc, très rares sont les PME qui pratiquent l'éco-conception mais, de plus, les efforts de dissémination de l'éco-conception dans ces entreprises sont freinés par une dynamique quasi nulle qui les voit stopper toute démarche d'intégration, dès que les aides extérieures à l'entreprise ont cessé de la supporter dans cette démarche.

3.4. Gestion du changement

Les recherches actuelles sur l'intégration de l'éco-conception dans les entreprises, et plus particulièrement dans les PME, constatent donc l'échec des efforts d'intégration et proposent tout une série d'explications inhérentes à la spécificité des PME¹¹³.

Si l'on fait la remarque que les contraintes environnementales ont un caractère de nouveauté pour les entreprises, on en déduit logiquement que l'intégration de l'éco-conception induit des changements dans l'entreprise. La gestion du changement organisationnel, tel qu'il est défini notamment dans le rapport du réseau thématique pluridisciplinaire du CNRS, se positionne naturellement dans le domaine de recherche sur les organisations industrielles [CNRS 04]. Ce positionnement sur le domaine de recherche du changement organisationnel se justifie si l'on considère que, d'après cette étude, aujourd'hui et dans l'avenir, les deux principales causes d'apparition des situations de changement sont, d'une part, la mise en place ou le changement des systèmes d'information de l'entreprise, et d'autre part, la mise en place de nouvelles méthodes de travail. Or, l'éco-conception nécessite la mise en place de nouveaux systèmes d'information (information environnementale) et la mise en place, au moins partiellement, de nouvelles méthodes de travail (en l'occurrence par l'introduction de nouveaux outils et méthodes spécifiques à l'éco-conception).

La problématique de la gestion du changement dans le cadre de l'intégration de l'éco-conception est traitée de manière plus approfondie dans le chapitre 2.

¹¹² Page 12.

¹¹³ Ces explications sont développées par ailleurs dans le chapitre 2 : Problématique de l'intégration de l'éco-conception dans les PME.

3.5. Question de recherche

La description du contexte général, aussi bien contexte industriel que contexte de recherche, qui s'inscrit dans la nécessité d'un développement durable, et qui se traduit, pour le génie industriel, par la prise en compte des contraintes environnementales, a permis de positionner notre recherche à l'intersection du domaine du PLM et du domaine des organisations industrielles.

La question de recherche émerge logiquement du contexte établi précédemment, et du positionnement de notre recherche dans le domaine du génie industriel.

Considérant les éléments de synthèse suivants, mis en exergue par l'analyse du contexte :

- Le développement durable est une absolue nécessité, étant donné le constat alarmant de l'état environnemental de la planète. Le génie industriel, et plus particulièrement la conception de produit, s'inscrivent pleinement dans cette problématique, eu égard à la « responsabilité environnementale » des produits.
- L'éco-conception est désormais une réalité industrielle, que ce soit en raison d'obligations réglementaires ou par l'existence d'un marché de produits. A ce titre, elle est appelée à devenir très rapidement, sous l'impulsion des grandes entreprises donneurs d'ordre, une contrainte que les entreprises ne peuvent plus ignorer.
- Les PME constituent une cible de première importance pour la dissémination de l'éco-conception, en raison de leur importance dans l'ensemble de la supply chain, et du volume considérable de produits qu'elles représentent.
- Or, l'état de l'art montre un très faible taux de dissémination de l'éco-conception dans les PME, et au-delà, un échec de l'intégration de l'éco-conception dans ce type d'entreprises.

La question de recherche, à laquelle nous nous proposerons de répondre dans ce travail de recherche, s'exprime donc sous la forme suivante :

QUESTION DE RECHERCHE :

Quelle démarche faut-il développer auprès des PME pour leur permettre de réussir une intégration pérenne de l'éco-conception dans leurs pratiques courantes ?

CHAPITRE 2

Problématique de l'intégration de l'éco-conception dans les PME

La définition du contexte a permis de mettre en évidence le constat d'échec de l'intégration de l'éco-conception dans les PME.

Il existe, assurément, des facteurs contingents qui participent de cet état de fait : certaines PME ne font pas de conception de produit, d'autres ne sont pas concernées par la réglementation environnementale sur les produits, etc. Pour autant, ces facteurs contingents n'expliquent pas à eux seuls ce constat, comme ont pu le montrer les expériences menées auprès de PME. Il existe d'autres causes d'échec qui sont, pour certaines, inhérentes aux PME (§ 1.2), et pour d'autres, inhérentes à la complexité du sujet environnemental (§ 2.1). Mais, certains auteurs montrent que l'échec de l'intégration de l'éco-conception dans les PME n'est pas le seul fait des entreprises, et vient tout autant des lacunes propres aux outils d'éco-conception (§ 2.2). En effet, l'intégration de ces outils, développés hors du contexte industriel, dans les organisations n'a pas été pensée.

Cette partie va permettre de cerner les causes de l'échec constaté de l'intégration de l'éco-conception dans les PME. Ce travail d'analyse nous conduira à définir la problématique et à positionner précisément notre sujet dans le champ de recherche défini dans la partie précédente.

1. CAUSES D'ÉCHEC DE L'INTEGRATION DANS LES PME¹

Plusieurs auteurs ont réalisé une analyse, sous forme d'un état de l'art, des causes d'échec de l'éco-conception dans les entreprises en Europe. Certains de ces auteurs se sont plus particulièrement intéressés au cas des PME.

Les études réalisées mettent en évidence deux types de facteurs influant sur la pratique et l'intégration de l'éco-conception dans les entreprises :

- D'une part, les facteurs qui tendent à favoriser l'éco-conception et qui constituent une incitation pour les entreprises. Certains auteurs parlent de leviers² [Tukker 00a], d'autres de stimulus [Hemel 98].
- D'autre part, les facteurs qui tendent à freiner, voire à s'opposer à l'intégration de l'éco-conception dans les entreprises, quand ils ne sont pas réhibitoires. La plupart des auteurs parlent de barrières³, ou d'obstacles, à l'éco-conception. L'idée de freins à l'éco-conception est la traduction française la plus appropriée, car comme le montre [Hemel 98] dans son étude, aucune « barrière » à l'éco-conception n'est infranchissable.

1.1. Leviers et freins à l'éco-conception

1.1.1. Réglementation et demandes clients

La prise en compte de l'environnement se heurte autant à l'existence de freins à l'intérieur de l'entreprise qu'à l'absence de stimulus internes ou externes à l'entreprise.

D'une manière générale, c'est la perspective de bénéfices à réaliser qui constitue pour les entreprises l'incitation majeure pour intégrer l'éco-conception [Tukker 00a]. Le problème réside alors dans la capacité d'identification des ces opportunités.

Au-delà de cette évidence sur la perspective de bénéfices directs, tous les auteurs s'accordent à dire que les deux leviers les plus influents pour l'éco-conception sont la réglementation⁴ et les demandes clients⁵ [Tukker 00a ; Design 01 ; Ritzén 01]. Certains auteurs précisent que ces deux leviers sont aussi valables pour les PME [Gerstenfeld 00 ; Baylis 98b ; OESMES 02].

Pour [Gerstenfeld 00], l'absence de réglementation, existante ou perçue, et l'absence de supports d'aides venant des secteurs industriels, sont deux des barrières à la prise en compte de l'environnement dans les PME. Établissant un retour d'expérience sur plus de dix ans d'éco-conception dans le monde, [Ryan 03] affirme carrément que, plus qu'un levier, la réglementation est un pré-requis à l'intégration de l'éco-conception dans les entreprises.

¹ Le terme PME sera utilisé par la suite pour désigner, sans précaution, un ensemble d'entreprises représentatif de la grande majorité. Ainsi, si nous mettons en avant l'échec de l'intégration de l'éco-conception dans les PME, il faut se souvenir qu'il existe des PME ayant réussi cette intégration. Toutefois, comme le notent Tukker & al., il s'agit d'une minorité de PME (quelques centaines selon [Tukker 00a] sur plusieurs millions dans l'UE) constituée d'entreprises fortement innovatrices et investissant les marchés de « niche » des produits « verts ».

² Traduction de « drivers ».

³ Les auteurs anglophones emploient le terme « barriers ».

⁴ En l'occurrence, il s'agit des directives produits et de leurs équivalents dans les droits nationaux des Etats membres (en France, les décrets).

⁵ Les demandes clients peuvent être aussi bien des demandes exprimées par les clients finaux (grande consommation) pour des produits « verts » (dans ce cas, il s'agit alors pour l'entreprise de s'accaparer une part du marché), que des demandes exprimées par des donneurs d'ordre (pour lesquels il s'agit alors de respecter un cahier des charges client).

Le rapport du Design Council montre, sur la base d'une étude menée auprès de 600 entreprises européennes, qu'il existe des différences dans l'importance relative accordée aux différents facteurs en fonction des pays [Design 01]. Ces différences d'approches culturelles ne remettent toutefois pas en cause la conclusion générale qui ressort de l'ensemble de ces études, à savoir que les deux raisons principales qui poussent une entreprise à engager une démarche d'éco-conception sont la réglementation et les demandes clients.

Le travail expérimental que [Hemel 98] a réalisé auprès de 77 PME néerlandaises permet d'affiner quelque peu ces conclusions. Elle a notamment réalisé une étude statistique qui apporte des précisions éclairantes⁶ quant aux stimulus et barrières à l'éco-conception, spécifiquement dans les PME.

Elle distingue les stimulus internes à l'entreprise des stimulus externes, et montre que, pour les PME, les stimulus internes semblent plus déterminants que les stimulus externes. Elle montre également que parmi les barrières potentielles, trois sont rédhibitoires pour les PME (les trois barrières indiquées dans le tableau 8), mais qu'une conjonction favorable de stimulus (parmi lesquels la réglementation) peut toujours venir à bout de ces barrières. Enfin, elle propose une comparaison entre, d'une part les stimulus et barrières perçus (ou imaginés) par les entreprises, et d'autre part les stimulus et barrières réels. Les résultats sont donnés dans le tableau 9. L'analyse de cette comparaison apporte des éléments intéressants sur la démarche à adopter pour approcher les PME sur le sujet de l'éco-conception.

Ces résultats confirment ainsi l'importance de la réglementation et des demandes clients, mais révèlent également l'existence de leviers puissants, constitués par les opportunités d'innovation identifiées par les industriels, voire les opportunités d'accroître la qualité du produit. Ce résultat semble cohérent pour les PME, si l'on se souvient que les PME sont des entreprises considérées comme relativement plus innovantes que les grandes entreprises⁷. Les initiatives que peuvent prendre certains organismes représentants de secteurs industriels (industrie mécanique, industrie électrique et électronique, etc.) auprès de leurs entreprises jouent, semble-t-il, également un rôle non négligeable.

	Stimulus externes	< Stimulus internes	Barrières
Stimulus et barrières de plus grande d'influence	1. Demande des consommateurs 2. Réglementations 3. Initiatives du secteur industriel	1. Opportunités d'innovation 2. Accroissement de la qualité du produit 3. Nouvelles opportunités de marchés	1. Non perception d'une quelconque responsabilité environnementale ⁸ 2. Non perception des bénéfices environnementaux apportés 3. Pas de solution technique alternative valable

Tableau 8. " Top 3 " des stimulus et barrières ayant le plus d'influence relative sur l'intégration de l'éco-conception dans les PME. Source : [Hemel 98].

⁶ Même s'il faut, bien entendu, relativiser la portée des résultats expérimentaux (77 PME ne constituent qu'un échantillon limité pour une étude statistique) et rester prudent dans une éventuelle transposition des résultats à l'échelle européenne (il faut tenir compte des spécificités « culturelles » du pays, notamment le fait que les Pays-bas appartiennent au groupe des pays européens dits avancés en terme d'éco-conception [Tukker 00a], en raison notamment d'une plus grande sensibilisation de la population au thème de l'environnement).

⁷ cf. chap.1, § 2.2 Importance des PME dans la conception des produits, p 49.

⁸ Il s'agit en fait d'une perception, par l'entreprise, de sa responsabilité environnementale: soit, effectivement, il n'existe pas de réglementation donc l'industriel estime ne pas être responsable, soit la réglementation existe et l'industriel l'ignore (ce qui est souvent le cas dans les PME, voir par ailleurs p. 69, § 1.2), auquel cas il ne se sent pas non plus responsable.

1.1.2. Barrières perceptives et barrières objectives

Le tableau 9 donne les résultats obtenus par [Hemel 98] concernant, d'une part les stimulus et barrières tels qu'ils sont perçus a priori par l'entreprise (ceux les plus souvent mentionnés), et d'autre part les stimulus et barrières « réels » tels qu'ils apparaissent suite au traitement statistique des réponses à des questionnaires envoyés aux industriels.

La lecture comparative de ces résultats donne plusieurs informations. Outre la mise en évidence de l'importance de la réglementation⁹, nous retenons trois informations intéressantes :

- Par manque de sensibilisation et de connaissance du thème de l'environnement, les industriels s'imaginent a priori qu'il est impossible d'associer des critères environnementaux à une conception de produit efficace (« *conflit avec les exigences fonctionnelles du produit* », « *désavantage commercial* »). Une fois le projet pilote réalisé, ces barrières s'effacent. L'éco-conception devient alors une « *opportunité d'innovation* » (premier stimulus interne influent).
- Les stimulus et barrières cités dans le tableau sont en fait à placer sur deux niveaux d'approche différents : un premier niveau correspondant à une sensibilisation des entreprises à l'éco-conception (faire comprendre à l'entreprise pourquoi elle doit faire de l'éco-conception, et quels sont ses intérêts) et un second niveau correspondant à la pérennisation de la démarche dans l'entreprise (intégration de l'éco-conception).
- Les barrières « *non perception des bénéfices environnementaux apportés* » et « *pas de solution technique alternative valable* » mettent en avant l'intérêt limité (une fois identifié) exprimé par les PME pour l'éco-conception. Ce manque d'intérêt reflète, selon nous, la réalité industrielle. Il peut s'expliquer par le fait que la majorité des PME sont des fournisseurs et sous-traitants, qui travaillent sur des produits destinés à être inclus dans des produits plus complexes. Ainsi, en plus d'un faible degré de liberté dans la conception, le cycle de vie de leurs produits paraît, d'un point de vue environnemental, partiel et limité [Lefebvre 01]. Abrassart & Aggeri expriment cette réalité en expliquant que « *les objectifs environnementaux pour un produit ne sont pas toujours facilement décentralisables par sous-systèmes. Ainsi, on ne pourra pas calculer un indicateur pour l'effet de serre ou un indicateur de recyclabilité au niveau d'un composant d'un véhicule compte tenu des interdépendances entre composants* » [Abrassart 02].

Cela nous conduit à dire qu'il existe en fait deux types de barrières à l'éco-conception :

- D'une part les barrières « perceptives », relatives à une première approche de l'éco-conception, à l'identification de la contrainte dans le contexte de l'entreprise, à la compréhension des enjeux de l'éco-conception pour l'entreprise et des réalités de l'éco-conception.
- D'autre part les barrières « objectives » à l'intégration dans l'entreprise. La principale barrière à l'éco-conception, évoquée notamment par [Tukker 00b] et [Lindemann 01], est constituée par le manque en interne des savoir-faire, et notamment des connaissances, qui sont nécessaires à la pratique de l'éco-conception.

⁹ Les résultats concernant les stimulus et barrières « réels » montre que le développement de l'éco-conception est à la fois favorisé par la réglementation, et inhibé par l'absence de responsabilité environnementale. Ces résultats semblent donc conforter la Commission européenne dans sa volonté d'établir une base réglementaire à l'éco-conception et de définir une responsabilité environnementale des producteurs.

	Stimulus externes	Stimulus internes	Barrières
Stimulus et barrières « perçus » (les plus souvent mentionnés)	1. Demande des consommateurs 2. Réglementations 3. Fournisseurs proposant de nouveaux produits	1. Bénéfices environnementaux 2. Réduction des coûts 3. Amélioration de l'image	1. Conflit avec les exigences fonctionnelles du produit 2. Non perception des bénéfices environnementaux apportés 3. Désavantage commercial
Stimulus et barrières « réels » (ayant le plus d'influence)	1. Demande des consommateurs 2. Réglementations 3. Initiatives du secteur industriel	1. Opportunités d'innovation 2. Accroissement de la qualité du produit 3. Nouvelles opportunités de marchés	1. Non perception d'une quelconque responsabilité environnementale 2. Non perception des bénéfices environnementaux apportés 3. Pas de solution technique alternative valable

Tableau 9. Stimulus et barrières, « réels » et « perçus », d'après l'étude de [Hemel 98].

1.2. Caractéristiques des PME et facteurs d'intégration de l'éco-conception

Sur la base d'un état de l'art européen, Tukker & al. énoncent quels sont les facteurs clés de succès (ou inversement les facteurs d'échec) pour l'intégration des contraintes environnementales dans les PME [Tukker 00b]:

- La capacité à réaliser une analyse coût-bénéfice est primordiale. Cet aspect semble même plus important que l'aspect concernant les ressources financières.
- Il existe une corrélation directe entre la taille de l'entreprise¹⁰ et la mise en œuvre d'actions vis-à-vis des aspects environnementaux.
- Les capacités de management, et plus particulièrement l'existence de structures formalisées de management.
- La capacité à identifier les contraintes venant de l'extérieur de l'entreprise et à hiérarchiser les urgences.

Or, l'analyse réalisée, par ailleurs, sur les caractéristiques des PME permet de montrer que ces facteurs clés sont incompatibles avec la plupart de leurs caractéristiques :

- Nombre d'auteurs mettent en avant que la plupart des PME ignorent la réglementation qui les concerne, soit en raison d'a priori¹¹ soit en raison d'une absence de veille ou de réseau de veille réglementaire [Gerstenfeld 00 ; Baylis 98b, OESMES 98 ; Tilley 99].
- Les PME se concentrent sur une gestion à court terme, « dans l'urgence », et ceci est incompatible avec la vision stratégique nécessaire pour l'intégration de l'environnement, souvent basée sur le principe d'une amélioration continue qui s'envisage à moyen, voire long terme [Gerstenfeld 00].

¹⁰ Ce n'est pas la taille en tant que telle qui importe, mais plutôt les facteurs directement liés à l'effet de taille (structures de management, position de force pour la négociation vis-à-vis de la supply chain, etc.).

¹¹ Elles pensent qu'en raison de leur petite taille, elles ne peuvent pas être concernées par la réglementation (raisonnement basé sur l'analogie avec la réglementation ICPE – Installations Classées Pour la Protection de l'Environnement – qui fonctionne par seuils, seuils en dessous desquels l'entreprise n'est pas concernée).

- Tukker & al. insistent sur les capacités réduites d'anticipation des PME, toujours en raison d'un manque de moyens, qui conduit à un mode de gestion dans l'urgence [Tukker 00b].
- En règle général, les PME n'ont pas de système de management formalisé [Lipovatz 03], qui semble pourtant être un facteur clé pour la réussite de l'éco-conception.
- En raison de leur manque de moyens, les PME ne peuvent pas disposer en interne des compétences nécessaires pour la pratique de l'éco-conception. Or, faire appel à des ressources externes, pour un sujet qui n'est pas jugé primordial, est également en dehors de leurs capacités [Tukker 00b ; Lindemann 01].
- Les opportunités d'innovation sont un levier puissant pour les PME. Toutefois, comme le montre [Baylis 98b], les PME éprouvent des difficultés à identifier les opportunités (et les contraintes) liées au sujet de l'environnement. D'autre part, certains auteurs s'interrogent sur la capacité des PME à réaliser une analyse coût-bénéfice, prérequis pour saisir toute opportunité d'innovation [Tilley 99 ; Tukker 00b ; Baylis 98b]. [Tilley 99] précise que les PME, d'une part n'identifient ni les menaces ni les opportunités par rapport à l'environnement, mais que d'autre part elles ignorent également les dispositifs d'aide mis à leur disposition.
- Une des solutions alternatives pour surmonter les problèmes éprouvés par les PME est l'appartenance à des réseaux socio-professionnels¹². Toutefois, ici encore, le potentiel des PME est limité, car une des caractéristiques supplémentaires des PME est justement la faiblesse des réseaux qu'elles développent et auxquels elles appartiennent [Tukker 00b ; Meredith 00 ; Tilley 99].

Le tableau 10 reprend les éléments précédents et en propose une synthèse. Il dresse une comparaison entre, d'une part les facteurs ayant une influence prépondérante sur l'éco-conception dans les entreprises, et d'autre part certaines caractéristiques des PME mises en évidence par les auteurs. La conclusion qui s'impose est que les caractéristiques inhérentes aux PME (considérées dans leur ensemble) ne leur permettent pas de se mettre dans des conditions favorables à l'intégration de l'éco-conception, telles qu'elles sont définies par l'état de l'art européen.

Il semble, en revanche, que les PME disposent de certains avantages pour réaliser un processus d'intégration, une fois les étapes de première approche et première expérience (projet pilote) franchies.

Ainsi, concernant la gestion des connaissances et des compétences, [Géniaux 01], sur la base d'une étude exploratoire, affirme, avec prudence néanmoins, que les problématiques du management des ressources et des compétences sont bien présentes dans les réflexions des dirigeants de PME qui savent, par ailleurs, « *mettre en œuvre des outils et méthodes particulièrement sophistiqués* », même si ces pratiques peu standardisées ont souvent un caractère informel et implicite.

[Hansson 03] et [Haksever 96], dans le cadre de l'intégration de processus qualité¹³, mettent quant à eux en avant les avantages liés à la flexibilité organisationnelle des PME. Hansson & Klefsjö arguent que leur petite taille autorise une meilleure communication interne, élément déterminant pour toute intégration de nouvelle méthode, et précisent que la flexibilité que leur confère leur petite structure leur permet de changer plus facilement de culture organisationnelle, réduisant ainsi les éventuelles résistances au changement [Hansson 03].

¹² L'importance de l'appartenance à ces réseaux pour tous les aspects liés à l'innovation dans les PME est également démontrée par [Keizer 02].

¹³ Il s'agit de TQM (total quality management).

Principaux leviers (L) et barrières (B) pour l'éco-conception		Caractéristiques des PME	Compatibilité levier/caractéristique
L	Réglementation environnementale	Difficulté à identifier et connaître les réglementations qui les concernent.	<i>Négative</i>
L	Demandes clients	Déficit de compétences en interne et recours limité aux compétences en externe pour répondre aux demandes.	<i>Négative</i>
L	Opportunités d'innovation ou pour la qualité produit	Difficulté pour identifier les opportunités d'innovation. Difficulté à réaliser une analyse coût-bénéfice.	<i>Négative</i>
L	Capacités de management (structures formalisées)	Structures de management non formalisées.	<i>Négative</i>
		Flexibilité structurelle, avantage pour le changement organisationnel.	<i>Positive</i>
B	Non sensibilisation au thème de l'éco-conception	Faiblesse des réseaux des PME.	<i>Négative</i>
B	Absence de compétences, savoir-faire, expertise pour l'éco-conception	Déficit de compétences en interne et recours limité aux compétences en externe.	<i>Négative</i>
		Gestion efficiente des compétences et connaissances.	<i>Positive</i>

Tableau 10. Etude de compatibilité entre leviers pour l'éco-conception et caractéristiques des PME.

Les leviers puissants qui incitent, en général, les entreprises à se lancer dans une démarche d'éco-conception sont rendus inopérants avec les PME, en raison de caractéristiques inhérentes à leurs spécificités structurelles.

Au-delà des facteurs dont il a été question jusqu'ici, la principale barrière à l'éco-conception réside, quel que soit le type d'entreprise, dans le manque de sensibilisation et de connaissances environnementales. Cette barrière est d'autant plus difficilement franchissable que l'entreprise dispose de peu de moyens pour remédier à ce problème de veille stratégique. Là encore, les PME, en raison des caractéristiques évoquées précédemment, sont donc particulièrement mises à l'écart par cette barrière de la prise de conscience et des connaissances environnementales.

Ce constat en amène un autre, qui rejoint la problématique des réseaux sociaux-professionnels dans lesquels les PME ne sont pas assez impliquées : il est nécessaire dans un premier temps, non seulement d'accompagner les PME dans leur première démarche d'éco-conception, mais, au-delà, de précéder leur demande et d'aller à leur rencontre, puisque la plupart du temps elles ignorent qu'elles peuvent être concernées par la problématique de l'éco-conception.

En cela, la démarche anticipative du CETIM et des autres centres techniques s'intéressant aux démarches d'éco-conception semble particulièrement judicieuse.

2. INTEGRATION DE LA DIMENSION « E »¹⁴ DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION

L'éco-conception peut être définie comme l'intégration de la contrainte environnementale dans l'acte de conception de produit. Il s'agit de tenir compte lors de la conception d'une contrainte supplémentaire liée à la dimension environnementale.

L'intégration de l'éco-conception dans le processus de conception est un sujet qui a été largement traité par la communauté scientifique depuis une quinzaine d'année. La littérature à ce sujet se divise en deux axes :

- D'une part, une littérature qui s'attache à décrire de manière pragmatique la réalisation de projets et le déploiement de l'éco-conception dans l'entreprise. Il s'agit de guides ou manuels qui décrivent les différentes phases d'un tel projet, ainsi que les moyens de pilotage et de réalisation [AFNOR 03 ; Brezet 97a ; Grisel 01].
- D'autre part, une littérature dans laquelle les auteurs ont développé des approches plus « fondamentales », en cherchant à cerner les implications de l'intégration de la dimension « E » sur l'équipe projet et sur les processus de développement de projet : quels types d'ingénierie, quels types de collaboration, quels types d'outils, quelles compétences ? [Janin 00 ; Millet 03b ; Lindahl 03].

Nous montrerons dans cette partie en quoi la dimension « E » n'est pas, à ce jour, une contrainte ordinaire de plus pour les concepteurs. La dimension « E », outre la nouveauté de la contrainte, nouveauté toujours déroutante pour des équipes de conception dont le fonctionnement repose nécessairement sur des habitudes (des « routines »), apporte un niveau de complexité supplémentaire à une activité, la conception de produit, déjà complexe. Son intégration dans le processus de conception requiert, outre une culture minimale attachée à la dimension « E », des outils et des compétences particulières. La complexité de la dimension « E », et donc de la contrainte environnementale en conception de produit, explique en grande partie les difficultés constatées de l'intégration de l'éco-conception dans les entreprises.

2.1. Complexité de la dimension « E »

2.1.1. La dimension « E »

Nous définissons¹⁵ la dimension « E » comme la dimension apportée par la problématique environnementale, considérée dans le cadre des activités humaines (la dimension « E » n'a de sens que par rapport à l'activité humaine) particulières que l'on étudie. La dimension « E » est donc l'intersection, ou plutôt le domaine des interactions particulières, entre l'écologie (la science écologique) et la société technicienne. Pour notre domaine d'étude, et puisque notre champ d'étude est celui du développement durable, la dimension « E » est la dimension environnement du triptyque du développement durable (économie, social, et environnement).

¹⁴ Dimension environnementale, définie par la suite.

¹⁵ Pour d'autres définitions de la dimension « E », voir par exemple [Millet 03b].

La pratique de l'éco-conception s'appuie sur les résultats donnés par les « sciences de l'environnement ». Selon l'Université du Québec à Montréal (UQAM) qui accueille l'Institut des Sciences de l'Environnement (ISE), le domaine des sciences de l'environnement se caractérise par la multiplicité des types de savoirs, et s'appuie à la fois sur des sciences théoriques et sciences appliquées, et sur les sciences naturelles et sciences humaines.

Le domaine des sciences de l'environnement, ainsi défini, est donc pluridisciplinaire, puisqu'il fait appel à de nombreuses disciplines scientifiques et notamment aux trois sciences fondamentales que sont la physique, la biologie et la chimie. Il est aussi transversal, car son champ d'application aux activités humaines, et plus particulièrement pour le génie industriel, s'inscrit autant dans le champ technico-industriel que dans le champ sociétal.

Si, au niveau de l'entreprise, il n'est évidemment pas nécessaire de maîtriser ces sciences de l'environnement dans leur globalité, les acteurs de l'éco-conception doivent en revanche, au minimum, être en mesure d'appréhender les tenants et les aboutissants de l'intégration des contraintes environnementales dans la conception des produits, c'est-à-dire posséder une culture environnementale de base qu'ils puissent combiner à leur savoir technicien.

2.1.2. Facteurs de complexité de la dimension « E »

Parmi les nombreuses définitions de la complexité, nous retenons les deux suivantes, qui nous semblent illustrer parfaitement l'état de complexité de la dimension « E », dans le cadre de l'éco-conception des produits.

Mélèse¹⁶ définit la complexité comme étant la « *propriété d'un système caractérisé par la richesse de l'information et des interconnexions et par la variété de ses états et évolutions possibles* ».

Morin¹⁷ donne quant à lui la définition suivante : « *la complexité est un tissu de constituants hétérogènes inséparablement associés* ».

2.1.2.1. Problématique scientifique : somme des connaissances requises

La problématique environnementale (celle de l'écologie appliquée au génie industriel), telle qu'elle est abordée dans le cadre de l'éco-conception, est une problématique complexe. Elle requiert une somme importante de connaissances.

C'est, en fait, la définition même de l'éco-conception qui engendre la complexité. L'éco-conception repose sur les deux principes d'une approche globale considérant l'ensemble du cycle de vie du produit du « berceau à la tombe », et d'une approche multicritère ayant pour objectif de considérer l'ensemble des impacts environnementaux. Or, d'une part, l'approche multicritère impose de faire appel à un nombre relativement important de sciences fondamentales. Le domaine des sciences de l'environnement se constitue ainsi comme une science transdisciplinaire, exigeant de dépasser un champ de connaissances particulier pour accéder aux connaissances d'autres champs, et créer les liens eux-mêmes générateurs de nouvelles connaissances. D'autre part, l'approche cycle de vie impose à la « science environnementale » d'être transversale, puisque l'éco-conception, par la problématique produit, couvre l'ensemble du champ sociétal (société, industrie, etc.).

La figure 10 montre l'ensemble des éléments en interrelation engendrant la complexité de la science environnementale appliquée au génie industriel.

¹⁶ Cité dans [Gondran 01] : Mélèse, J. (1979) Approches systémiques des organisations. Vers l'entreprise à taille humaine. Paris, éditions Hommes et Techniques.

¹⁷ Cité dans [Bassetti 02] : Morin, E. (1990) Introduction à la pensée complexe. ESF Editeur, Paris.

2.1.2.2. Complexité de la science de l'écologie

Par définition, l'écologie « étendue » fait appel à un nombre important de sciences fondamentales qu'il est nécessaire de maîtriser lorsque l'on veut comprendre, et être en mesure de calculer, les impacts environnementaux.

De nombreuses disciplines issues des sciences fondamentales, mais aussi dérivées des sciences sociales¹⁸, doivent être maîtrisées afin de saisir les phénomènes dans leur globalité (impacts environnementaux à différentes échelles géographiques – locales, régionales et globales – et temporelles – de la journée au siècle) et leurs interrelations (monde minéral et monde vivant, échanges entre les milieux sol / eau / atmosphère). A titre d'exemple, et de manière non exhaustive, peuvent être citées les sciences de la climatologie, la météorologie, la géobiologie, l'écotoxicologie, etc.

2.1.2.3. Complexité liée à la transversalité des systèmes

La pratique éclairée de l'éco-conception impose de faire des choix de conception concernant les fonctionnalités du produit, et qui auront des répercussions sur l'ensemble du cycle de vie. Cette approche globale impose donc, pour limiter les risques inhérents à toute prise de décision, d'avoir la connaissance de nombreux systèmes, tant du monde technique et industriel que de la sphère sociétale. Ainsi, la prise en compte des cinq phases du cycle de vie d'un produit requiert des connaissances sur les matériaux, les procédés de fabrications et les procédés énergétiques, les moyens de transport, les procédés de traitement des déchets, mais aussi des connaissances de données statistiques (production de déchets, répartition de moyens de transport, « mix énergétique », etc.), ainsi que des données sur les modes de consommation et d'utilisation du produit par les consommateurs. Une difficulté supplémentaire réside dans le fait que ces connaissances à acquérir, aussi bien celles venant du monde technicien que de la sphère sociétale, varient généralement en fonction des niveaux de développement techniques et des cultures des différents pays, et doivent donc être discriminées pour chaque cas particulier¹⁹.

¹⁸ Concernant par exemple le sujet de l'évolution des populations.

¹⁹ Ainsi par exemple, la composition du « mix » énergétique du kWh français est-elle différente de celle du kWh allemand (ce qui a des conséquences en terme d'impacts environnementaux), et pour un même produit vendu ans le monde entier, l'emballage pourra être différent en France, en Allemagne et au Japon.

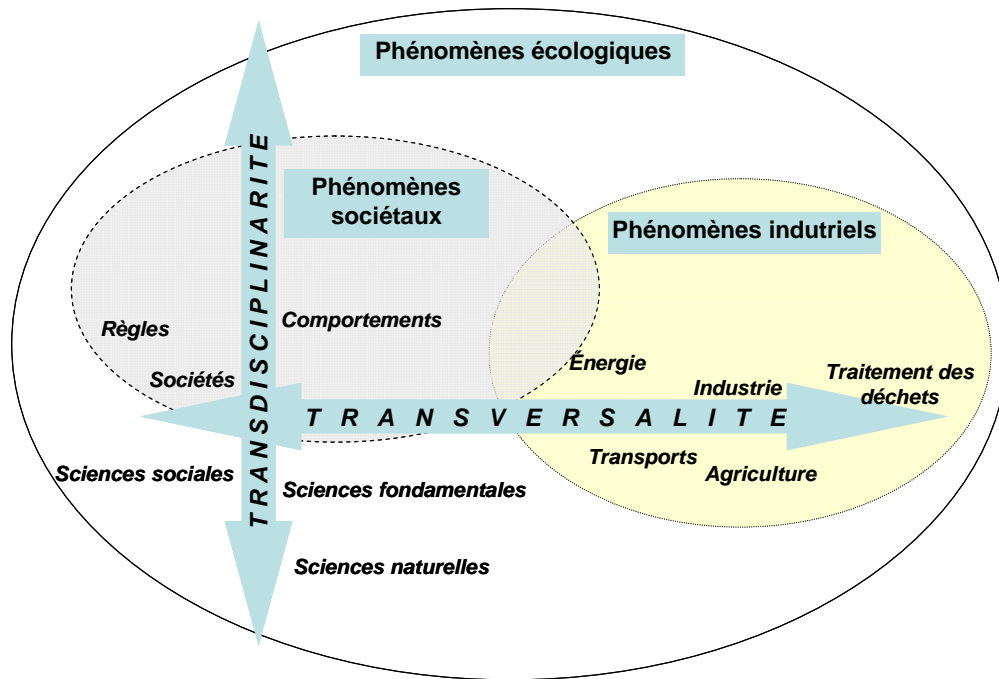


Figure 10. Illustration de l'interdisciplinarité et de la transversalité de la « science environnementale », à l'origine de la complexité du sujet de l'éco-conception.

2.1.2.4. Complexité de l'information environnementale

[Gondran 01] définit et décrit ce que sont, selon elle, les spécificités de l'information environnementale. Outre la complexité intrinsèque de l'information environnementale, liée à la complexité de la problématique scientifique, interdisciplinaire et transversale, les spécificités suivantes construisent une dimension complexe de l'information environnementale :

- Une information soumise à des incertitudes.
- Une information soumise à des ambiguïtés.
- Une information dont le bénéfice est difficilement mesurable.

A ces spécificités s'ajoute, selon nous, l'accessibilité de l'information. En effet, très peu de données sont actuellement accessibles. Pour des raisons diverses (qui tiennent principalement au fait que le sujet étant relativement nouveau, tant au niveau industriel qu'au niveau des préoccupations politiques), les données n'existent pas, personne n'en ayant exprimé le besoin. Ainsi, souvent, les données nécessaires à l'évaluation et à l'amélioration environnementale du produit :

- soit n'existent pas car elles n'ont jamais été collectées,
- soit ne sont pas accessibles pour des raisons de confidentialité industrielle (exemple des cartes électroniques, des produits chimiques, etc.),
- soit sont dispersées et leur collecte est difficile à mettre en oeuvre (exemple des retours d'information client pour des produit de grande consommation ou des produits supportés par plusieurs niveaux de fournisseurs et sous-traitants).

La plus grande partie de l'information environnementale nécessaire à la pratique de l'éco-conception est donc détenue en dehors des frontières de l'entreprise, ce qui rend l'information difficilement accessible, et nécessite de construire les réseaux d'informations adéquats.

2.1.2.5. Complexité de l'interprétation

Millet & al. qualifient la notion de qualité environnementale d'un produit de « *notion floue* » [Millet 03a]. L'interprétation de l'évaluation environnementale d'un produit est, par définition de l'éco-conception, une évaluation multicritère portant sur l'ensemble des impacts environnementaux. Comme le fait remarquer [Zackrisson 05], procéder à la comparaison, suite à leur évaluation, des différentes catégories d'impacts environnementaux d'un produit est une tâche difficile. L'évaluation environnementale des produits se heurte ici au problème bien connu en conception, et plus largement dans la communauté scientifique, de l'optimisation et de l'analyse multicritère. Cette problématique n'est donc pas nouvelle en soit, mais elle vient cependant ajouter un degré de complexité supplémentaire à la problématique globale de l'intégration des contraintes environnementales dans la conception des produits.

2.1.3. Lacune culturelle environnementale dans l'industrie

La dimension « E » est un sujet nouveau dans le monde industriel, qui ne possède culturellement pas les bases nécessaires, que ce soit le langage, les concepts, ou la compréhension des enjeux, pour appréhender le sujet sans une formation initiale. Cette lacune culturelle agit comme une barrière à l'intégration de la dimension « E » dans le monde industriel²⁰ (cf. figure 16 p. 94).

Les sciences de l'environnement constituent le fondement scientifique de l'éco-conception, légitimant d'une part la pression réglementaire croissante sur les entreprises, et justifiant d'autre part l'engagement volontaire ou non de l'entreprise vers le développement durable.

Toutefois, la question n'est évidemment pas que les acteurs industriels, et plus particulièrement les concepteurs, maîtrisent cette science environnementale. La pratique de l'éco-conception ne requiert pas, heureusement, la maîtrise de cette science. Elle nécessite, en revanche, que les acteurs de la conception comprennent les tenants et aboutissants de leurs décisions dans la conception environnementale des produits, c'est-à-dire qu'ils soient capables d'établir le lien entre un choix de conception et un aspect environnemental. Comme le relève [Ritzén 97], les aspects environnementaux sont généralement plus difficiles à appréhender que les aspects techniques en raison d'un manque de connaissances et d'expérience de cette problématique chez les concepteurs. Ainsi, il est essentiel de comprendre la relation cause-effet entre les aspects techniques usuels du produit et les impacts environnementaux.

En matière d'éco-conception, chaque situation, déterminée par le couple produit-entreprise, est différente. Chaque produit possède une spécificité du point de vue des impacts environnementaux qu'il engendre, liés à la spécificité de ses fonctionnalités sur son cycle de vie. Mais le plan d'action, c'est-à-dire la réponse que l'entreprise doit apporter, dépend à la fois du produit et de son organisation [Sarkis 03]. La difficulté pour une entreprise réside donc, au-delà de la compréhension des phénomènes environnementaux de base, dans la mise en évidence des liens entre les impacts environnementaux et les fonctionnalités spécifiques du cycle de vie de son produit.

Il s'agit, tel que l'énonce [Roqueplo 95], que « *les ingénieurs, à quelque niveau qu'ils se trouvent, [comprennent] les contraintes pour être capables à la fois de les critiquer et de les accepter, voire d'en faire [...] une véritable « force industrialisante », source de progrès et d'innovation* ».

²⁰ Nous employons également (malgré l'anglicisme) l'expression « gap culturel » pour désigner cette lacune culturelle, par référence à la représentation du « gap électronique » : sans une énergie minimale, qui correspond dans l'entreprise à un effort minimal pour l'acquisition d'un vocabulaire spécialisé, de concepts, et de connaissances, la barrière culturelle empêche toute intégration de l'éco-conception (de même que le gap électronique empêche tout franchissement de la barrière de potentiel).

Cette compréhension, tant des enjeux de l'éco-conception, que des tenants et aboutissants pour son propre métier, requiert une culture minimale, c'est-à-dire une base de connaissances minimales permettant d'interpréter les informations. [Johansson A 00] précise que les concepteurs ont besoin de posséder un savoir minimal de base concernant, d'une part la signification des impacts et aspects environnementaux, et d'autre part la façon dont des aspects environnementaux sont liés à leurs activités. Cette culture de base repose sur l'acquisition d'un vocabulaire et de notions spécifiques au domaine de la science environnementale, mais aussi sur la connaissance et la compréhension de mécanismes simples, qui prennent souvent la forme de liens de causalité²¹.

Or, c'est actuellement cette culture environnementale de base qui fait défaut dans le monde industriel. Elle est d'ailleurs d'autant plus absente du monde industriel qu'elle est toujours sous diffusée dans la société civile. Ce défaut d'acquisition de connaissances peut être représenté sous la forme du « gap » culturel agissant comme une barrière à la pratique de l'éco-conception. Cette culture environnementale de base est absente du monde de l'entreprise car elle ne fait pas partie du corpus de connaissances dispensé dans les différentes formations de techniciens, d'ingénieurs ou de cadres. Ainsi, comme le montre [Tukker 00a] dans son état de l'art, il est logique de constater que les pays européens les plus avancés en terme d'éco-conception de produits sont ceux dans lesquels la population est la plus sensibilisée aux thèmes environnementaux.

D'une manière générale, les entreprises ne disposent donc pas en interne des compétences nécessaires à la pratique de l'éco-conception, et le franchissement du gap culturel nécessite au minimum une phase de sensibilisation et de formation du personnel de l'entreprise.

2.2. Processus d'éco-conception

2.2.1. Deux phases du processus d'éco-conception

D'un point de vue conceptuel, l'intégration de la contrainte environnementale dans le processus de conception ne pose pas de problème méthodologique. La démarche est, en théorie, analogue à l'intégration de n'importe quel autre type de contrainte. Ce processus suit les phases suivantes :

- Analyse de l'existant (évaluation de la qualité environnementale du produit)
- Recherche et identification des causes d'impacts environnementaux
- Recherche de solutions d'amélioration environnementale du produit
- Evaluation des solutions
- Conception détaillée
- Validation

²¹ Par exemple : « mon produit consomme de l'énergie, donc il est générateur d'effet de serre », ou « je veux améliorer la recyclabilité de mon produit en fin de vie, donc je dois réduire le nombre de matériaux différents dans mon produit ».

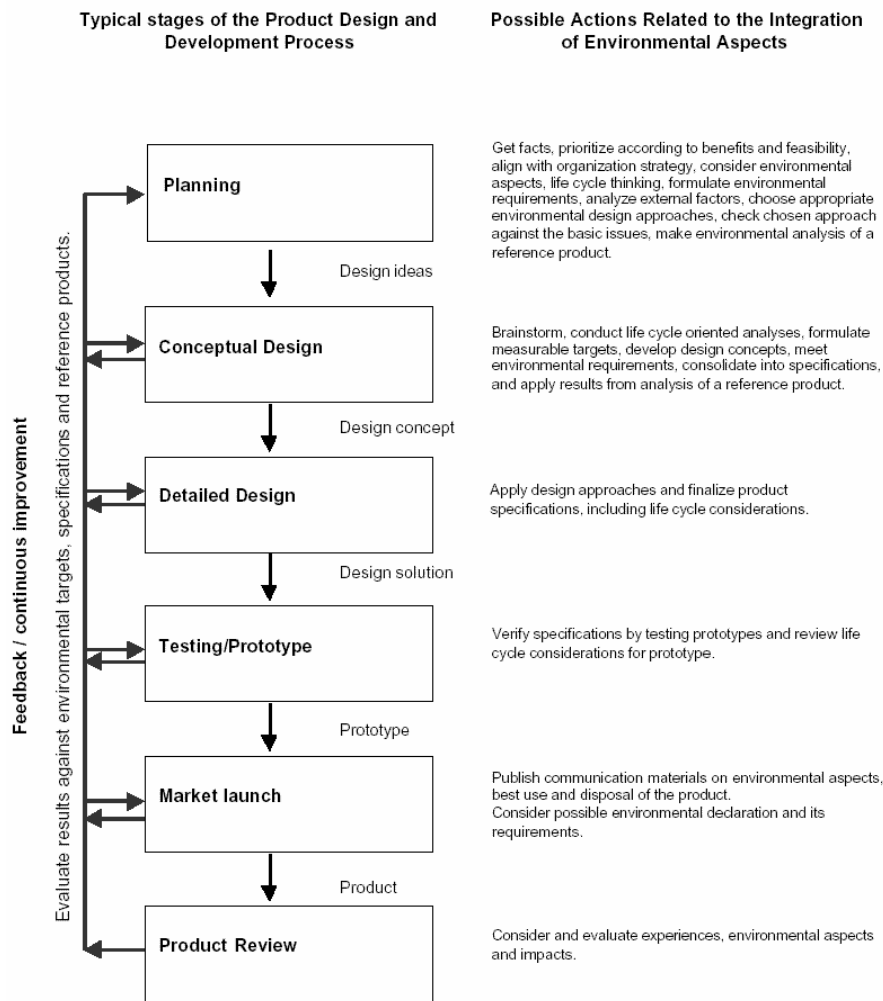


Figure 11. Intégration des aspects environnementaux dans le processus de conception de produit, d'après la norme ISO 14062 (version anglaise).

Nombre de documents de référence indiquent la démarche à suivre pour procéder à l'intégration de la contrainte environnementale dans un processus de conception. La figure 11 tirée de la norme internationale ISO 14062 illustre les différentes phases de ce processus [AFNOR 03].

Ce déroulement du processus s'articule, selon nous²², autour de deux grandes phases « pivot » qui sont :

- L'évaluation environnementale.
- L'amélioration environnementale.

²² Pour d'autres auteurs, comme [Bey 00] par exemple, qui considèrent une acception du terme éco-conception restreinte à la recherche de solutions, correspondant au terme DfE (qui est alors une « conception pour l'environnement », équivalent environnemental de la CCO – conception à coût objectif), l'éco-conception s'articule autour des deux phases suivantes qui sont :

- La génération d'idées pour l'amélioration environnementale du produit.
- L'évaluation environnementale des solutions.

Or, bien que la figure 11 semble montrer que, d'un point de vue théorique, l'intégration des contraintes environnementales ne pose pas de problème, la spécificité et la complexité de la dimension « E » rendent chacune de ces deux phases problématique, ce qui pèse lourdement sur la capacité d'intégration de l'éco-conception des entreprises.

La figure 12 symbolise l'intégration de l'éco-conception dans le processus de conception de produit, selon les deux phases que nous avons définies, et rappelle, par des mots-clés symbolisés par des flèches, la nature des problèmes posés par la prise en compte des contraintes environnementales.

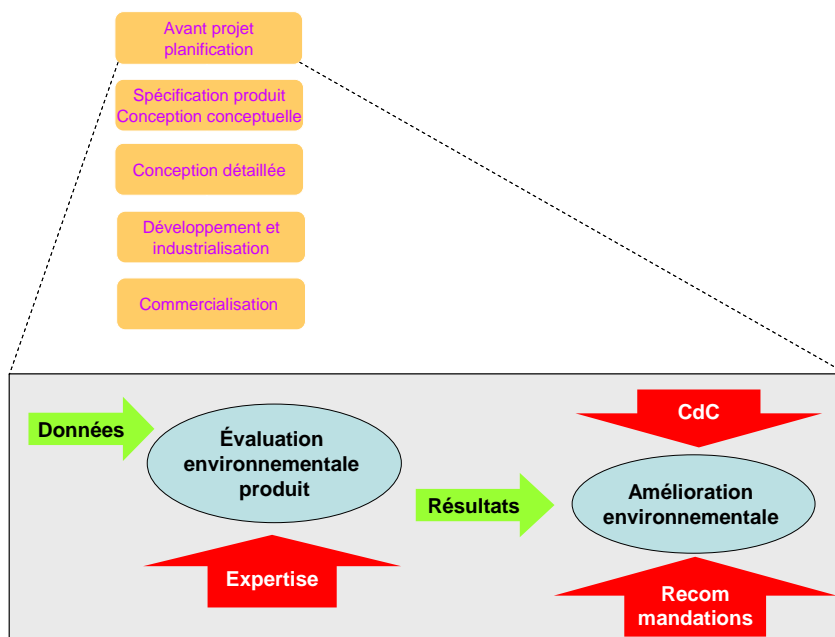


Figure 12. Les deux phases pivot du processus d'éco-conception.

2.2.1.1. Evaluation environnementale

L'évaluation environnementale des produits consiste, d'une part à quantifier les impacts environnementaux du cycle de vie du produit étudié, et d'autre part, dans le but de proposer une interprétation propre au produit, à identifier et évaluer dans quelle mesure les différents paramètres, caractéristiques, et fonctionnalités du cycle de vie du produit sont à l'origine des impacts environnementaux mesurés. L'évaluation environnementale requiert donc les compétences suivantes :

- Posséder les connaissances suffisantes des sciences de l'environnement, dont la complexité a par ailleurs été mise en évidence, pour maîtriser les techniques d'évaluation environnementale.
- Posséder un minimum de connaissances sur les systèmes socio-techniques pour pouvoir faire le lien entre la dimension « E » et le domaine du génie industriel.
- Connaître les sources de données permettant d'alimenter le processus d'évaluation environnemental, et être en mesure d'accéder rapidement à ces données.

L'ensemble de ces compétences requises fait de l'activité d'évaluation environnementale un travail d'expert²³ à part entière.

²³ Voir § 2.2.2.3 – p. 89 et s. – la notion d'expertise et les différents niveaux de compétences.

Les nombreux outils d'évaluation environnementale développés, qu'ils soient complexes ou « simplifiés »²⁴, sont également des outils d'expert. En effet, la difficulté d'exploitation de ces outils ne réside pas tant dans leur utilisation que :

- d'une part dans le choix de données fiables en entrée de l'outil, qui repose sur une évaluation de la qualité de ces données [Blanc 99],
- et d'autre part dans l'interprétation des résultats en sortie, fournis par l'outil.

Or, tant le choix des données que l'interprétation des résultats ne peuvent s'appréhender que dans le cadre de la complexité des sciences de l'environnement.

2.2.1.2. Conception²⁵ environnementale

a) Le cahier des charges

La conception environnementale repose, comme tout acte de conception, sur la définition d'un cahier des charges, synthèse des différents besoins exprimés par les utilisateurs, et définis par les concepteurs.

Le problème de l'intégration des contraintes environnementales réside dans la difficulté d'établir une stratégie globale, résultat d'un compromis (d'une optimisation, dans la mesure du possible) d'un ensemble de contraintes complexes et parfois contradictoires (coût, performance, sécurité, etc.). D'autant que, comme le rappelle [Luttrupp 01], les objectifs environnementaux peuvent être contradictoires entre eux (problème des transferts entre impacts), ce qui ne fait qu'accroître la difficulté de l'optimisation multicritère.

Pour pouvoir intégrer ces contraintes dans le cahier des charges, il est indispensable :

- De savoir identifier les contraintes en question.
- D'être capable de hiérarchiser ces contraintes à l'aune de la stratégie générale de l'entreprise et de l'ensemble des autres contraintes, pour pouvoir déterminer les risques et opportunités liés à chacune des contraintes environnementales identifiées.

b) Diversité des sources de contraintes environnementales

L'identification des contraintes environnementales, nécessaire à la rédaction du cahier des charges, n'est pas une chose aisée. En effet, les sources de contraintes environnementales potentielles pesant sur l'entreprise sont multiples, et les contraintes sont protéiformes dans l'expression qu'elles peuvent revêtir.

La figure 13 illustre l'origine des sources potentielles des contraintes environnementales. Ces contraintes peuvent être d'ordres réglementaire ou normatif, provenir d'une demande client, voire d'une partie prenante de la supply chain, ou plus globalement être une attente sociétale exprimée, ou enfin provenir d'une demande interne à l'entreprise qui aurait engagé une démarche proactive de prise en compte de l'environnement. Cette grande diversité des sources de contraintes vient en partie du principe de l'approche globale (cycle de vie), qui tend à impliquer l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise, en amont, en aval, et en interne, dans les démarches d'éco-conception des produits.

²⁴ Voir par la suite au § 2.2.2 les précisions apportées sur la notion de simplification attachée aux outils d'évaluation environnementale.

²⁵ Nous utiliserons le terme conception d'une manière générique, étant conscient qu'il peut recouvrir des réalités tout à fait différentes, allant de l'amélioration incrémentale (reconception) à l'innovation de produit. Ce point a été discuté dans la première partie, p. 34 et suivantes.

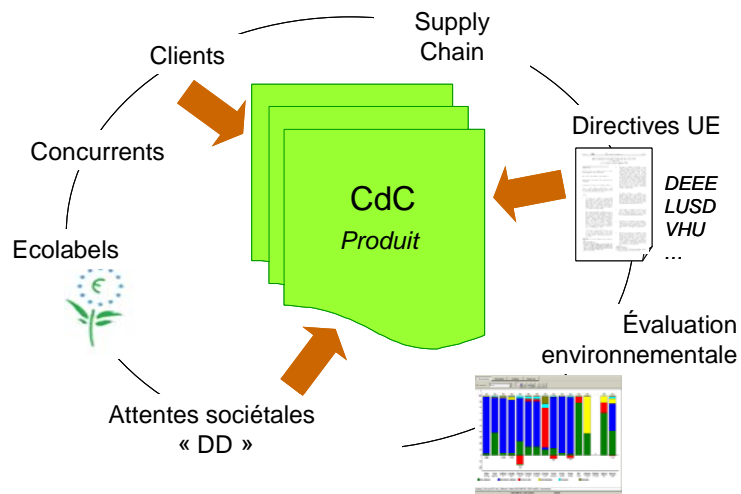


Figure 13. Ensemble des sources de contraintes liées à la dimension environnementale, et susceptibles d'être prises en compte par l'entreprise.

c) Protéiformité de l'expression des contraintes

Les aspects environnementaux, parce qu'ils proviennent de sources différentes, ayant chacune leur culture et leur langage (le langage d'un organisme d'Etat, par exemple un ministère, n'est pas le même que celui d'un industriel donneur d'ordre, qui diffère lui-même du langage « courant » de la société) et parce que chaque élément, sans exception, de notre société recouvre des aspects environnementaux, peuvent prendre des formes d'expression très différentes bien que recouvrant une réalité identique.

L'entreprise doit donc être capable de traduire et d'interpréter ces différentes formes d'expressions, et cela vient s'ajouter à la difficulté de définir un cahier des charges intégrant des contraintes environnementales.

Le tableau 11 illustre la protéiformité des expressions que peuvent prendre les contraintes environnementales qui seront, in fine, traduites en recommandations identiques (dans l'exemple du tableau 11, accroître la recyclabilité du produit et réduire la consommation d'énergie).

d) Les recommandations

La problématique des recommandations entre acteurs de différents métiers devant collaborer sur un projet commun a été clairement mise en évidence par [Minel 03]. La prise en compte des contraintes environnementales échappe d'autant moins à cette problématique qu'elle fait référence à des notions nouvelles pour l'entreprise et complexes par nature. Les recommandations liées aux aspects environnementaux issus de la définition du cahier des charges nécessitent, au minimum dans une première démarche d'éco-conception, un travail de traduction des contraintes environnementales, telles qu'elles sont exprimées initialement, dans le langage des concepteurs.

L'intégration plus poussée de l'éco-conception dans l'entreprise nécessite, comme l'a montré [Minel 03], l'acquisition d'un vocabulaire de base commun et un transfert de connaissances entre le métier de l'environnement et les métiers de conception. A ce sujet, Tsuchiya²⁶ évoque la nécessité de « *commensurabilité* », définie comme la représentation commune des schémas d'interprétation des différents métiers.

²⁶ Cité dans [Grundstein 02]: Tsuchiya, S. (1993) "Improving knowledge creation ability through organisational learning", ISMICK'93 Proceedings, UTC, Compiègne, October 27-28.

Source de l'expression originelle	Problème environnemental	Expression originelle	Signification (traduction) / problème environnemental et conséquences probables	Aspect stratégique (type de contrainte) pour l'entreprise	Expression possible de la contrainte dans le CdC	Recommandations correspondantes pour la conception
Etat / UE (MINEFI)	Ressources fossiles et minérales	« Il existe des tensions sur le marché des matières premières »	Raréfaction des ressources, donc augmentation du prix. <i>Mesures envisagées (niveau UE) : créer une incitation (par réglementation) pour le recyclage des matériaux pour réduire la dépendance de l'UE.</i>	Conformité réglementaire (anticipation)	Accroître la recyclabilité ²⁷ du produit	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des matériaux recyclables • Envisager la réutilisation du produit (ou de certaines parties du produit) • Diminuer le nombre de liaisons • Utiliser des liaisons réversibles et/ou non destructives • Minimiser le nombre de matériaux • Utiliser des plastiques chimiquement compatibles •
Etat (MEDD)	Déchets	« Le pays est confronté à un problème de gestion de ses déchets »	Il faut diminuer le volume et la toxicité des déchets. <i>Mesures envisagées (au niveau français): légiférer pour obliger à recycler et diminuer ainsi les déchets ultimes.</i>	Conformité réglementaire (responsabilité du producteur)		
Client (industriel)	Déchets	« Je souhaite que vous repreniez mon produit lorsqu'il arrive en fin de vie »	« L'élimination des déchets devient trop onéreuse et la réglementation vous rend responsable de la gestion de vos produits en fin de vie, donc c'est à vous de gérer ce problème. »	<ul style="list-style-type: none"> - Marketing (satisfaction client) - Diminution des coûts d'exploitation (coût de traitement des produits en fin de vie) 		
Etat / UE	Effet de serre	« La lutte contre l'effet de serre est une priorité, il faut respecter les engagements du protocole de Kyoto »	Il faut réduire les émissions de GES. <i>Mesures envisagées :</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Incitation à l'utilisation des MTD²⁸</i> • <i>Taxe sur l'énergie</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - RSE (communication externe) - Diminution des coûts d'exploitation (coût énergie et taxes) 	Réduire la consommation d'énergie du produit en phase d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des dispositifs de veille • Accroître l'efficacité énergétique du produit
Client (industriel)	<ul style="list-style-type: none"> • Effet de serre • Ressources 	« Nous sommes certifiés ISO 14001 et notre plan d'amélioration continue prévoit l'utilisation progressive de MTD »	« Nos engagements en faveur de l'environnement nous incitent à produire avec des technologies propres et économes en énergie. » <i>Mesures envisagées : remplacement du parc machines actuel par des MTD</i>	Marketing (satisfaction client et parts de marché)		
Client (grande consommation)	<ul style="list-style-type: none"> • Effet de serre • Ressources 	« Je suis sensible aux labels écologiques dans mon acte d'achat »	Client attentif à l'acte d'achat, souhaitant diminuer sa consommation d'énergie.	Marketing (communication et parts de marché)		
	Effet de serre (énergie)	« J'achète systématiquement les produits économes en énergie (classe A) car je sais que j'y gagne financièrement »				

Tableau 11. Protéiformité des expressions des contraintes environnementales et traduction de ces contraintes en langage des concepteurs.

²⁷ Recyclabilité au sens large : réutilisation, recyclage, valorisation.

²⁸ MTD : Meilleure Technologie Disponible.

2.2.2. Les outils d'éco-conception

Comme nous l'avons indiqué précédemment, de nombreux outils d'éco-conception ont été développés, dans le but de servir de support d'aide aux concepteurs lors du déroulement du processus d'éco-conception, et pour pourvoir remplir toutes les tâches du processus (telles qu'elles sont indiquées, à titre d'exemple, sur la figure 11). Des auteurs comme Ehrenfeld²⁹, [Bey 00], ou encore [Janin 00], ont recensé ces outils d'aide à l'éco-conception. Dans une étude, Baumann & al. dénombrent plus de 150 outils d'éco-conception destinés à servir d'outils support pour le processus de conception (auxquels il faut ajouter les outils stratégiques et les outils d'organisation de projets) [Baumann 02].

2.2.2.1. Outils d'évaluation et d'amélioration environnementale

Deux classes d'outils d'aide au processus d'éco-conception peuvent être distinguées, selon que ces outils sont spécifiques ou non à l'éco-conception :

- Les outils spécifiques à l'éco-conception sont ceux qui permettent de réaliser les deux phases pivot d'un projet d'éco-conception, à savoir l'évaluation environnementale et l'amélioration environnementale du produit.
- Les outils non spécifiques à l'éco-conception sont les outils d'aide classiques utilisés dans les processus de conception. Ils permettent de développer une cohérence globale du projet en intégrant l'ensemble des contraintes fonctionnelles du produit dans une même stratégie et en favorisant les échanges entre les membres du projet et l'entreprise dans sa globalité. Ce sont des outils d'aide à la décision (stratégie, choix de conception multicritère, etc), des outils pour la communication interne et externe à l'entreprise, des outils de sensibilisation, etc. Cette catégorie d'outils, bien que non spécifique à l'éco-conception, revêt une importance particulière, car ce sont eux qui permettent généralement de faire le lien entre les contraintes environnementales et les contraintes usuelles en les pondérant les unes par rapport aux autres.

Les outils d'éco-conception peuvent être classés en trois types, selon que leur finalité est l'évaluation environnementale des produits, l'amélioration environnementale des produits, ou qu'ils permettent de réaliser les deux phases au cours d'un même projet d'éco-conception. Dans le but d'en proposer un classement, nous donnons ci-dessous une brève description de chacune des grandes familles d'outils (largement décrites par ailleurs dans la littérature) référencées au sein de chacun des trois types. Ce classement est réalisé en fonction, d'une part de leur performance, et d'autre part du niveau de compétence nécessaire à leur utilisation.

²⁹ Cité dans [Jacqueson 02] : Ehrenfeld, J. (1997). *Implementing Design for Environment, a primer guide developed by Digital Equipment and the Massachusetts Institute of Technology program on Technology, Business & Environment*, 1997.

Type (lié à la finalité de l'outil)	Evaluation environnementale	Amélioration environnementale	Evaluation et amélioration
Familles	<ul style="list-style-type: none"> • ACV • ACV simplifiée • Matrice • Checklist 	<ul style="list-style-type: none"> • Lignes directrices (Guidelines) • Manuels • Créativité « E », aide au choix de solutions de conception « E » 	<ul style="list-style-type: none"> • Logiciels (ACV simplifiée et DfX) • Eco-indicateurs • Outils paramétriques

Tableau 12. Types et familles d'outils d'éco-conception.

a) L'analyse du cycle de vie (ACV)

L'ACV est définie par l'ISO comme « *la compilation et l'évaluation des entrants et sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie* » [AFNOR 97]. D'un point de vue scientifique, l'ACV est l'outil d'évaluation environnementale de référence, en raison de la rigueur scientifique de sa méthode. Sa normalisation au niveau mondial par l'ISO lui confère, de plus, un crédit certain³⁰. L'ACV est une méthode quantitative d'analyse et de calcul des impacts environnementaux générés par un produit ou un système au cours de son cycle de vie, reposant sur le bilan quantifié, pour chacun des procédés élémentaires d'un système, des flux de matières et d'énergie entrants et sortants de ce système. L'ACV donne lieu à de nombreuses recherches académiques et au développement de plusieurs méthodes. Citons, à titre d'exemple, [Rousseaux 93] en France, ou encore Hauschild & al. au Danemark, qui proposent la méthode ACV EDIP³¹, et montrent comment cette méthode peut être concrètement utilisée dans le cadre de projets d'éco-conception [Hauschild 98 ; Wenzel 00].

Toutefois, en raison de sa lourdeur d'utilisation et de l'expertise qu'elle requiert, l'ACV est un outil difficilement utilisable en entreprise d'une manière générale, et inutilisable dans les PME³².

b) L'ACV simplifiée

Les ACV simplifiées sont, comme leur nom l'indique, des méthodes dont les principes reposent sur la méthode ACV, mais dont on a cherché à simplifier les difficultés inhérentes. La simplification de ces outils répond donc à deux besoins :

- Diminuer le temps requis pour l'évaluation environnementale.
- Faciliter l'interprétation des résultats.

L'objectif des ACV simplifiées est de permettre, grâce à une meilleure maniabilité et un temps de mise en œuvre réduit par rapport aux ACV, une diffusion élargie des pratiques d'évaluation environnementale, notamment dans les entreprises. Pour cette raison, les ACV simplifiées existent toutes sous forme logicielle. Bien que la simplification de la méthode ACV se fasse au détriment de la rigueur scientifique, donc de la fiabilité des résultats, l'ACV simplifiée se révèle être un bon compromis entre la pertinence des résultats fournis et son potentiel d'utilisation dans l'entreprise. La forme logicielle de l'outil, grâce aux fonctionnalités proposées, en fait également potentiellement un outil

³⁰ Série des normes ISO 14040 à 14043.

³¹ EDIP : Environmental Design of Industrial Products.

³² A l'exception éventuelle des quelques pour cent de PME très fortement innovatrices et disposant d'un budget R&D conséquent.

pour l'amélioration environnementale (évaluation des solutions, aide à la décision et validation des choix de conception)³³.

c) Les logiciels DfX

Ces logiciels sont, outre les logiciels d'ACV simplifiée, des logiciels qui permettent d'évaluer le produit sur des aspects environnementaux ciblés, comme les matériaux et leur contenu énergétique, la désassemblabilité du produit en vue du recyclage, les coûts environnementaux. Ces différents logiciels ont été recensés par [Janin 00]. Là encore, leurs fonctionnalités logicielles en font autant des outils d'évaluation que d'amélioration, même si leur portée, en raison même de leurs objectifs, reste limitée.

d) Les méthodes matricielles

Les méthodes matricielles sont des méthodes d'évaluation environnementales basées sur l'identification, éventuellement la quantification, des aspects environnementaux (énergie, matériaux, déchets, etc.) de chacune des cinq grandes phases du cycle de vie du produit (matériaux, fabrication, utilisation, fin de vie et transports).

Les méthodes matricielles peuvent être qualitatives, comme la méthode ESQCV³⁴ [AFNOR 98a], semi-quantitatives ou quantitatives, la plus connue des matrices quantitatives étant la « MET matrix³⁵ » [Brezet 97a] qui focalise son évaluation sur les matériaux, l'énergie et les substances toxiques.

e) Les checklists

Les checklists sont des listes de questions qui permettent une analyse du produit selon ses caractéristiques fonctionnelles. Elles ne permettent pas de réaliser une évaluation environnementale au sens strict, mais elles ont l'avantage de « noter » de manière simple le produit de façon à créer un référentiel. L'objectif d'une checklist est de pouvoir comparer des solutions à ce référentiel. Cela en fait essentiellement des outils d'aide à la reconception pour la qualité écologique des produits [Ventère 95].

f) Les éco-indicateurs

Un éco-indicateur est un indicateur environnemental exprimé sous la forme d'une note unique. Le principe de l'éco-indicateur repose sur la pondération et l'agrégation d'indicateurs d'impact environnemental différents³⁶. Par principe, un éco-indicateur est donc, généralement, adimensionnel³⁷. Il existe de nombreuses méthodes d'éco-indicateur, les plus connues étant « Eco-indicator 95 » [Goedkoop 95] et « Eco-indicator 99 » [Goedkoop 00]. La plupart du temps, les méthodes d'ACV simplifiée, et particulièrement les formes logicielles d'ACV simplifiée, proposent des résultats exprimés sous forme d'éco-indicateur. Toutefois, n'importe quelle entreprise peut se créer sa propre méthode d'éco-indicateur, de manière à l'adapter à ses spécificités.

Ce type de résultat quantifié d'évaluation environnementale sous la forme d'une note unique est apprécié des entreprises, et plus particulièrement des concepteurs, car les éco-indicateurs facilitent la

³³ Parmi les logiciels proposant des méthodes d'ACV simplifiée sont : SimaPro, Gabi, Umberto, EIME, TEAM, etc.

³⁴ Evaluation Simplifiée et Qualitative du Cycle de Vie.

³⁵ MET = Materials, Energy, Toxic emissions.

³⁶ Par exemple :

rassembler sous une unique note l'indicateur d'impact sur l'effet de serre (en éq. kg CO₂), l'indicateur d'impact de destruction de la couche d'ozone (en éq. kg CFC-11), l'indicateur de diminution des ressources (en année⁻¹) et l'indicateur de la quantité de déchets dangereux générés (en kg DIS).

³⁷ L'usage veut que l'unité de mesure des éco-indicateurs soit le « point ».

manipulation des résultats environnementaux. Cela en fait notamment un outil d'aide à la reconception, car, mis sous forme de bases de données, les éco-indicateurs constituent une aide au choix des solutions de conception³⁸ facile d'utilisation.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que ce principe de la note unique, destiné à faciliter l'approche de l'éco-conception par les industriels, va à l'encontre des principes mêmes de l'éco-conception, notamment le principe de l'approche multicritère, et que le fait d'agrèger un ensemble de résultats, d'une part fait perdre une partie des informations, et d'autre part représente une interprétation de l'information, ce qui pose la question de la pertinence « scientifique », donc de l'exploitabilité, des résultats obtenus avec cet outil.

g) Les outils d'évaluation paramétrique

Les outils d'évaluation paramétriques proposent des évaluations environnementales simplifiées basées sur des relations mathématiques entre paramètres ou fonctions du produit et impacts environnementaux (généralement exprimés sous la forme d'éco-indicateurs). Leur objectif est de pouvoir orienter, dès la phase de conception conceptuelle, la réflexion vers les meilleures solutions environnementales [Kaebernick 00 ; Dewulf 03 ; Siddhaye 00].

Ces outils donnent généralement des résultats d'évaluation environnementale relativement fiables car ils ont été paramétrés pour des familles de produits données. De plus, ils sont généralement faciles à utiliser, car il suffit de faire appel aux relations mathématiques donnant les impacts environnementaux en fonction de paramètres du produit pour identifier très tôt dans le processus de conception les futurs impacts potentiels du produit.

En revanche, ces outils posent deux types de problèmes : d'une part, leur création nécessite un recours aux outils d'évaluation environnementale pour créer les référentiels de données paramétrées indispensables à leur élaboration, et d'autre part, leur champ d'exploitation est limité aux types de produits pour lesquels ils ont été construits.

h) Les outils de créativité « E » et d'aide au choix de solutions de conception « E »

Ces outils sont des outils classiques d'aide à la créativité ou d'aide au choix des solutions de conception. Toutefois, leur application a pour but d'améliorer spécifiquement les qualités environnementales du produit. Il s'agit par exemple du QFDE³⁹ [Masui 01 & 02 ; Sakao 01 & 02], de la méthode TRIZ appliquée à la recherche de solutions environnementales [Chen 02 ; Jones 00 ; Lindemann 01] ou encore de l'AMDEC utilisée pour établir les priorités environnementales [Oberender 01 ; Ritzén 97 ; Dahlström 99].

i) Les guidelines

Les guidelines sont les outils de base pour l'amélioration environnementale des produits. Ils constituent le recueil des lignes directrices, règles générales et « universelles », pour l'éco-conception⁴⁰. Bien que l'ensemble de ces règles soit défini et a priori non évolutif, il existe toutefois des méthodes différentes dans la façon de classer ces règles et de les hiérarchiser [Hemel 98 ; Wimmer 01].

j) Les guides (ou manuels)

Les guides d'éco-conception regroupent les principes généraux de l'éco-conception et les règles de base pour mener à bien un projet de développement de produit intégrant des contraintes

³⁸ Aide pour le choix des matériaux, composants, procédés de fabrication, transports, emballages, etc.

³⁹ Quality Function Deployment for Environment, adapté du QFD.

⁴⁰ Pour des exemples de lignes directrices, voir en annexes 3A et 3B.

environnementales. Ces manuels sont des référentiels de bonnes pratiques établies sur des règles de l'art [Brezet 97a ; AFNOR 03 ; Behrendt 97].

2.2.2.2. Classification des outils d'éco-conception

Plusieurs auteurs ont proposé des classements des outils d'éco-conception, en s'attachant notamment aux outils spécifiques d'éco-conception, à savoir les outils d'évaluation environnementale et les outils d'amélioration environnementale [Janin 00 ; Tischner 03 ; Berkel 97a ; Dewulf 03].

Ces essais de classement apportent des informations intéressantes quant aux caractéristiques de ces outils, en faisant ressortir des critères d'évaluation : fonction, performance par rapport au but recherché, facilité d'utilisation. Le tableau ci-dessous propose une synthèse des différentes typologies de classement proposées par ces auteurs. Il donne également les critères d'évaluation définis par les auteurs pour juger les outils.

	[JANIN 00]	[TISCHNER 03]	[BERKEL 97a]	[DEWULF 03]
Typologie des outils	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation • Amélioration • Stratégie • Communication 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse (évaluation) • Hiérarchisation des voies d'amélioration • Aide à la créativité • Aide à la décision 	<ul style="list-style-type: none"> • Inventaire (évaluation) • Amélioration • Hiérarchisation • Management 	<ul style="list-style-type: none"> • Selon leur approche cycle de vie (total ou partiel) • Selon leur type de données en entrée
Critères de jugement des outils	Efficacité globale de l'outil pour atteindre son but (sur une échelle de 0 à 5)	Complexité et/ou temps d'utilisation requis	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilité à l'utilisateur • Précision • Pertinence et complétude 	<ul style="list-style-type: none"> • Type de résultats (quantitatifs / qualitatifs) • Utilisation : quelle phase du processus de conception ?

Tableau 13. Typologies d'outils d'éco-conception et critères d'évaluation de ces outils, selon plusieurs auteurs.

[Janin 00 ; Tischner 03 ; Berkel 97a] proposent des typologies comprenant au moins les deux classes d'outils liées à l'évaluation environnementale et à l'amélioration. Leurs typologies respectives diffèrent sur la classification des outils « connexes ». Ainsi sont évoqués des outils de management, de stratégie, de hiérarchisation, voire de communication aussi bien que des outils complémentaires pour le processus de conception, tels les outils d'aide à la créativité, les outils d'aide au choix de solution de conception.

[Janin 00] propose une lecture « croisée » des performances des outils selon, d'une part leur qualité globale pour l'amélioration, et d'autre part leur qualité globale pour l'évaluation. Les outils d'évaluation sont jugés selon qu'ils sont qualitatifs ou quantitatifs, selon que l'approche est mono ou multi-critère, et enfin selon le type des données d'entrée et de sortie. Les outils d'amélioration sont jugés principalement à l'aune de leur facilité d'exploitation et de leur capacité à mener le concepteur à une solution. La figure 14 illustre le classement des outils d'éco-conception, tiré des travaux de [Janin 00].

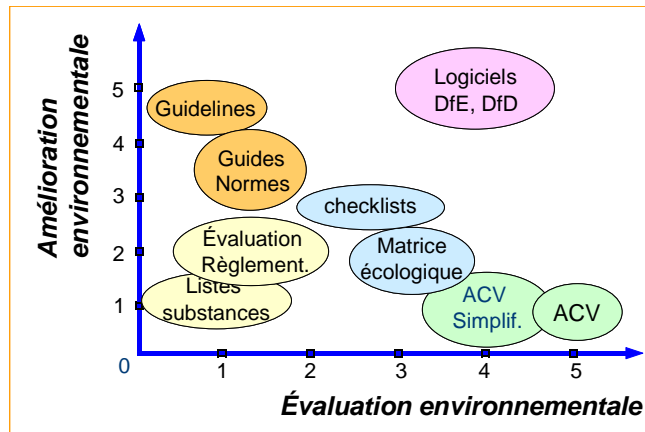


Figure 14. Classement des outils d'éco-conception, d'après [Janin 00].

Van Berkel & al. [Berkel 97a]⁴¹ proposent, outre un critère lié à la performance de l'outil (précision et fiabilité des résultats), des critères originaux et intéressants à notre sens concernant l'intégration des outils dans un processus de conception, dans le contexte produit-entreprise :

- D'une part, le critère de sensibilité⁴² : dans quelle mesure l'outil est-il sensible à l'expertise et à l'expérience de l'utilisateur, c'est-à-dire dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que les résultats varient en fonction de l'utilisateur ? Le problème de la sensibilité à l'utilisateur n'est pas un problème anodin de l'évaluation environnementale. En effet, quels que soient les outils d'évaluation utilisés, la phase d'évaluation environnementale repose en grande partie sur les connaissances de l'expert qui réalise l'évaluation, et les résultats peuvent donc être fortement influencés par l'expertise personnelle. Le critère de sensibilité est un des critères d'évaluation de la qualité d'une ACV mis en avant par l'ISO dans le cadre de la normalisation de la méthode [AFNOR 97]. Pour notre part, le problème de la sensibilité à l'utilisateur est un des critères que nous avons intégré dans notre réflexion pour proposer notre outil d'analyse environnementale (cf. chapitre 3).
- D'autre part, les critères de pertinence et de complétude⁴³ des résultats : l'outil a-t-il proposé l'ensemble des résultats pertinents pour le produit, à court terme et moyen terme ?

Tischner & Nickel abordent, quant à eux, la question de la praticité de l'outil dont la difficulté d'utilisation réside dans sa complexité et dans son temps de mise en œuvre [Tischner 03]. Son classement montre que, d'une manière générale, les outils d'évaluation sont complexes et coûteux en temps, tandis que les outils pour l'amélioration environnementale sont simples et d'utilisation rapide.

[Dewulf 03] propose une approche différente des autres auteurs dans le classement des outils d'éco-conception, en se focalisant sur les outils d'aide à la conception (évaluation et amélioration). Il s'intéresse aux types de données qu'il est nécessaire d'acquérir en entrée, et aux types de données que l'on obtient en sortie, ainsi qu'à leur positionnement dans le processus de conception afin de juger :

⁴¹ Van Berkel & al., dans leur article, traitent des outils d'écologie industrielle. Toutefois, le développement de leur article montre que les outils d'éco-conception rentrent dans ce cadre. En effet, d'une part, par définition de l'écologie industrielle, l'éco-conception s'insère dans ce champ, et d'autre part les outils qu'ils développent dans leur article sont ceux de l'éco-conception appliqués à l'écologie industrielle : MET matrix, inventaire du cycle de vie, lignes directrices écologiques, voies d'amélioration du produit, etc.

⁴² Les auteurs emploient le terme de « vulnerability ».

⁴³ L'auteur se réfère au critère unique de « comprehensiveness ».

- d'une part, de la pertinence de ces outils d'éco-conception par rapport à chacune des phases du processus de conception de produit,
- d'autre part, de leur capacité à être intégré dans le processus de conception.

Cette analyse des classements proposés par différents auteurs fait ressortir deux éléments liés à l'utilisation des outils d'éco-conception, et plus particulièrement les outils d'évaluation environnementale :

- Les outils n'ont pas tous les mêmes niveaux de performance. La performance des outils s'exprime en terme de fiabilité, sensibilité, précision des résultats. Il convient donc, a priori, de choisir le type d'outil en fonction des besoins estimés pour l'entreprise, l'outil le plus performant (en l'occurrence l'ACV) n'étant pas forcément nécessaire pour toutes les applications.
- Les outils entraînent des difficultés matérielles liées au temps requis pour leur utilisation et à la difficulté d'acquisition des données.

Plus généralement, Ammenberg & Sundin affirment que le problème concernant les nombreux outils d'éco-conception est que leur intégration dans le processus de conception n'a pas été pensée par ceux qui les ont développés, car ceux-ci n'ont pas pris en compte les aspects organisationnels de l'entreprise dans laquelle ils allaient être introduits [Ammenberg 05]. [Johansson G 01] établit un constat strictement identique, et précise que selon lui, si les outils d'éco-conception sont si peu adaptables à un processus de conception et font si peu de cas des problèmes organisationnels posés par l'intégration de ces outils, c'est qu'ils ont été développés en dehors du contexte industriel, et sur la base de schémas de conception simplifiés et génériques qui reflètent peu la réalité.

2.2.2.3. Les outils d'éco-conception sur une échelle des niveaux de maîtrise

Les classements des outils proposés précédemment n'abordent pas le problème, crucial selon nous, des connaissances et des compétences, voire de l'expertise, requises pour l'utilisation et l'exploitation de ces outils.

Legardeur, au sujet des outils d'aide à la conception et à l'innovation⁴⁴, affirme que pour compléter les approches relativement prescriptives des outils qui prévalent jusqu'à maintenant, il semble essentiel de tenir compte d'une dynamique de la connaissance qui se développe entre acteurs lors de l'utilisation de ces outils [Legardeur 01]. Il affirme qu' « aucune attention n'est portée quant à l'usage des règles et à la dynamique cognitive qui tourne autour de l'utilisation [des outils DfX]. Or, nous savons que l'utilisation d'une liste de règles ne peut suffire à assurer le résultat de la conception d'un produit ».

Ainsi, afin de compléter ce travail de classement, nous proposons d'évaluer les outils d'éco-conception au regard du niveau d'expertise qu'ils requièrent pour leur utilisation. En effet, c'est ce niveau d'expertise requis qui va conditionner en partie les moyens à mobiliser par l'entreprise pour réaliser un projet d'éco-conception, aussi bien en terme de recours à une ressource humaine compétente, qu'en terme d'effort à accomplir par l'organisation pour combler les lacunes culturelles environnementales mises en évidence.

Van Berkel & al. notent, concernant les outils d'éco-conception, que leur utilisation effective dans l'entreprise est sévèrement limitée, d'une part parce qu'ils nécessitent l'intervention d'un expert, et d'autre part parce qu'ils requièrent un niveau conséquent d'effort de la part du personnel de l'entreprise en recherche de données [Berkel 97a]. Cette remarque nous impose de définir la notion

⁴⁴ Outils qu'il regroupe sous le terme d'outils DfX.

d'expertise et d'en proposer une échelle de graduation, ce qui nous permettra par ailleurs de montrer que les outils d'évaluation environnementale et les outils d'amélioration environnementale ne nécessitent pas le même niveau d'expertise et ne posent donc pas les mêmes problèmes en terme d'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise.

a) Echelle des niveaux de maîtrise

Tukker & al. proposent un référentiel d'évaluation des « *profils de maturité* » des pays membres de l'UE en terme d'éco-conception [Tukker 00a]. Ce référentiel est basé sur une échelle des niveaux de maîtrise concernant différents sujets ayant trait à la dissémination de l'éco-conception dans les pays membres. Nous reprenons à notre compte ce référentiel (figure 15) qui nous semble pertinent pour évaluer le niveau de maîtrise nécessaire à l'utilisation des outils d'éco-conception.

Nous allons utiliser ce référentiel afin d'exprimer les niveaux de maîtrise requis pour l'utilisation respective des outils d'évaluation et des outils d'amélioration. Toutefois, l'adoption de ce référentiel nous oblige au préalable à définir les notions de compétence et d'expertise.



Figure 15. Echelle d'évaluation des niveaux de maîtrise, d'après [Tukker 00a].

b) Notions de compétence et d'expertise

□ La compétence

De nombreux auteurs travaillent sur la notion de compétence. Pour préciser cette notion, nous nous appuyerons sur les travaux de [Le Boterf 04].

La compétence d'une personne peut être définie comme sa capacité à utiliser de manière efficiente ses connaissances, dans un contexte donné, pour parvenir à un objectif donné. Les compétences se mobilisent dans l'action.

[Le Boterf 04] précise qu'une personne sait agir avec compétence si :

- 1) elle sait combiner et mobiliser un ensemble de ressources pertinentes (connaissances, savoir-faire, réseaux, etc.),
- 2) pour gérer un ensemble de situations professionnelles, chacune d'entre elles étant définie par une activité clé à laquelle sont associées des exigences professionnelles (ou critères de réalisation de l'activité),
- 3) afin de produire des résultats satisfaisant à certains critères de performance pour un destinataire (client, usager, etc.).

Pour [Le Boterf 04], « *une personne ne peut être reconnue comme compétente que si elle est capable non seulement de réussir une action mais de comprendre pourquoi et comment elle agit* ».

Nous aurons par ailleurs (§ 4.1 Les connaissances et les compétences, p. 110) l'occasion de développer cette notion complexe de compétence.

□ **L'expertise**

La notion d'expertise, directement liée à celle de compétence, donne également lieu à de nombreux travaux.

L'expertise est tout à la fois un état (l'expert) et l'expression d'un niveau de connaissances et de compétences permettant de préciser l'état d'expertise. Hermosillo Worley & al. définissent l'expert comme « *le spécialiste qui a la connaissance d'un domaine particulier, acquise en milieu de formation, d'information ou par l'expérience. Les experts sont classifiés selon leurs types de connaissances et ils sont généralement les responsables de leur domaine professionnel. [...]. L'expert n'a pas forcément la capacité opérationnelle de mettre en pratique ses connaissances, mais il est chargé de les transmettre à toute l'équipe de travail et de les adapter à une situation spécifique. Son rôle est aussi de diagnostiquer les problèmes à résoudre et de proposer des solutions* » [Hermosillo 02].

Cette définition montre la multiplicité des tâches de l'expert sur un domaine particulier : réalisation, transmission de connaissances, diagnostic, proposition de solutions. Il faut, selon nous, ajouter à l'ensemble de ces tâches la gestion des connaissances, notamment par la capitalisation des retours d'expériences réalisée par l'expert. [Cross 04] note ainsi que le niveau d'un expert est déterminé par sa capacité à conceptualiser son domaine d'expertise en prenant du recul par rapport aux expériences accumulées.

Clermont & al. énumèrent les activités susceptibles d'être réalisées par l'expert tout au long de son parcours professionnel [Clermont 02]:

- Mesurer
- Concevoir / tester
- Spécifier / modifier / valider
- Enrichir le retour d'expérience
- Générer des connaissances
- Transmettre et faire reconnaître l'expertise

Ils définissent, au sein même de l'expertise, 5 niveaux d'experts, correspondant à des niveaux de compétences plus ou moins élevés selon que l'expert est capable de réaliser l'ensemble, ou seulement une partie, des actions listées dans le tableau 14, dans un domaine particulier.

c) Niveau requis pour l'utilisation des outils d'éco-conception

Nous proposons, à partir du référentiel de la maîtrise des niveaux [Tukker 00a] et des niveaux d'expertise définis par [Clermont 02], un référentiel global nous permettant de définir le niveau minimum requis pour l'utilisation des outils d'éco-conception (figure 16).

Il est à noter que les niveaux minimum requis peuvent varier dans le temps⁴⁵ avec le processus d'intégration, entre le moment du projet pilote constituant la première prise de contact de l'entreprise avec l'éco-conception et le moment où l'entreprise s'est appropriée les outils en les adaptant à ses besoins spécifiques.

La complexité des phases d'évaluation et d'amélioration, donc l'exigence en terme d'expertise pour l'utilisation des outils, peut également varier en fonction de la complexité et du niveau de conception du produit.

⁴⁵ En fait les niveaux minimum requis peuvent diminuer avec le processus d'appropriation des outils par l'entreprise. Les niveaux minimum les plus élevés sont, a priori, requis lors du projet pilote.

Niveau	Appellation		Compétences	Tâches							
				Mesurer	Concevoir / Tester	Spécifier / Modifier / Valider	Enrichir le retour d'expérience	Gérer des connaissances en interne	Gérer des connaissances en externe	Transmettre et faire reconnaître l'expertise	
0	Ingénieur d'études	IE	Découvre et s'adapte au domaine d'expertise	*	*	*					
1	Spécialiste	S	<ul style="list-style-type: none"> Possède une connaissance approfondie du domaine d'expertise Contribue au développement de solutions techniques Est sollicité pour apporter son savoir et son savoir-faire dans le domaine 		*	*	*				
2	Junior Expert	JE	<ul style="list-style-type: none"> Possède une expérience supérieure à 4 ans dans le domaine d'expertise Recherche les bonnes pratiques Capitalise et formalise son expertise Forme des ingénieurs 			*	*	*			
3	Senior Expert	SE	<ul style="list-style-type: none"> Possède une expérience supérieure à 6 ans dans le domaine d'expertise Développe des solutions techniques et les publie Est le leader dans le Knowledge Management (forme un ou plusieurs experts) 				*	*	*		
4	Master Expert	ME	<ul style="list-style-type: none"> Possède une expérience supérieure à 10 ans dans le domaine d'expertise Son expertise est reconnue en externe Est sollicité comme référence pour la transmission du savoir 					*	*	*	

Tableau 14. Niveaux d'expertise, et compétences et tâches correspondantes, d'après [Clermont 02]

❑ **Utilisation des outils d'évaluation environnementale**

Le niveau minimum requis a priori pour l'utilisation des outils d'évaluation environnementale est le niveau d'expertise « spécialiste » défini par [Clermont 02], correspondant aux attributions suivantes :

- Posséder une connaissance approfondie du domaine d'expertise.
- Contribuer au développement de solutions techniques.
- Apporter son savoir et son savoir-faire dans le domaine.

La complexité de l'évaluation environnementale des produits, mise en évidence au § 2.1, en fait un travail d'expert et, pour cette raison, les outils pour l'évaluation environnementale ont été développés pour les experts. Nous voulons insister ici sur le fait que les outils dits simplifiés sont également tout autant des outils d'experts. En effet, comme nous l'avons précisé précédemment, la simplification des outils d'évaluation environnementale a consisté non pas à abaisser le niveau d'expertise requis pour la manipulation des outils, mais à faire en sorte que le temps et les moyens requis pour l'utilisation de ces outils soient compatibles avec les exigences des entreprises. La simplification a donc porté sur :

- L'utilisation de bases de données génériques, permettant un gain de temps estimable pour les entreprises (plus précisément pour l'expert intervenant pour l'entreprise).

- La simplification de l'expression des résultats, permettant une meilleure appropriation de ces résultats par les concepteurs et les personnes de l'entreprise.

Mais, la simplification des outils (sous forme d'éco-indicateur par exemple) est trompeuse, et se fait au détriment de la rigueur scientifique et de la pertinence environnementale. La pleine compréhension des tenants et aboutissants de l'évaluation environnementale requiert une expertise conséquente, et dans le cadre des évaluations dites simplifiées, cette compréhension nécessite une capacité à porter un avis critique sur les simplifications pour pouvoir fournir une évaluation corrigée des approximations. Pour cette raison, les outils simplifiés pour l'évaluation environnementale sont également des outils d'expert dont l'objectif est de faire gagner du temps à l'utilisateur (donc, in fine, à l'entreprise). L'évaluation environnementale est un métier à part entière, nécessitant de posséder l'expérience et les compétences propres de ce métier.

Selon les moyens et besoins de l'entreprise, l'utilisation d'un expert peut être internalisée ou externalisée. Il est possible à terme d'envisager une utilisation moins exigeante, donc autonome, des outils d'évaluation, si le référentiel des produits de l'entreprise a été déterminé par un expert et que la conception des nouveaux produits ne sort pas du référentiel. Toutefois, la question de l'expertise se pose à nouveau dès que les évolutions de l'entreprise font sortir la conception de produit du référentiel défini. Quoiqu'il en soit, l'utilisateur des outils doit au minimum posséder une maîtrise suffisante du domaine (niveau 3 de compétence de l'échelle de [Tukker 00a]).

□ **Utilisation des outils d'amélioration environnementale**

En terme d'expertise, les outils d'amélioration environnementale sont moins exigeants que les outils d'évaluation environnementale. Selon le type d'outil utilisé, ils varient sur l'échelle des niveaux de maîtrise du niveau 2 (« compréhension ») au niveau 3 (« compétence »). La maîtrise du vocabulaire spécifique à l'éco-conception est évidemment un pré-requis à l'utilisation de ces outils. Lorsqu'il s'agit d'intégrer des recommandations environnementales dans des outils d'aide à la conception utilisés par l'entreprise, la connaissance de concepts⁴⁶ peut être suffisante. Lorsqu'il s'agit d'utiliser des outils spécifiques⁴⁷, la connaissance de méthodes est requise et c'est alors le niveau 3 qu'il faut atteindre. Ce niveau d'expertise nécessite, de la part des concepteurs et des personnes de l'entreprise, de savoir adapter des concepts déjà connus et d'acquérir de nouveaux concepts. Toutefois, ces efforts sont a priori moins lourds que les efforts nécessaires pour les outils d'évaluation, car, comme nous le verrons par ailleurs, ces niveaux de maîtrise des outils peuvent être atteints par des actions de formation et d'acquisition de compétences lors de la mise en application sur des projets pilotes d'éco-conception dans l'entreprise.

⁴⁶ Par exemple : concept du cycle de vie (du berceau à la tombe), concept de recyclabilité, etc.

⁴⁷ Par exemple : outils de DfD, outil de calcul de la recyclabilité, etc.

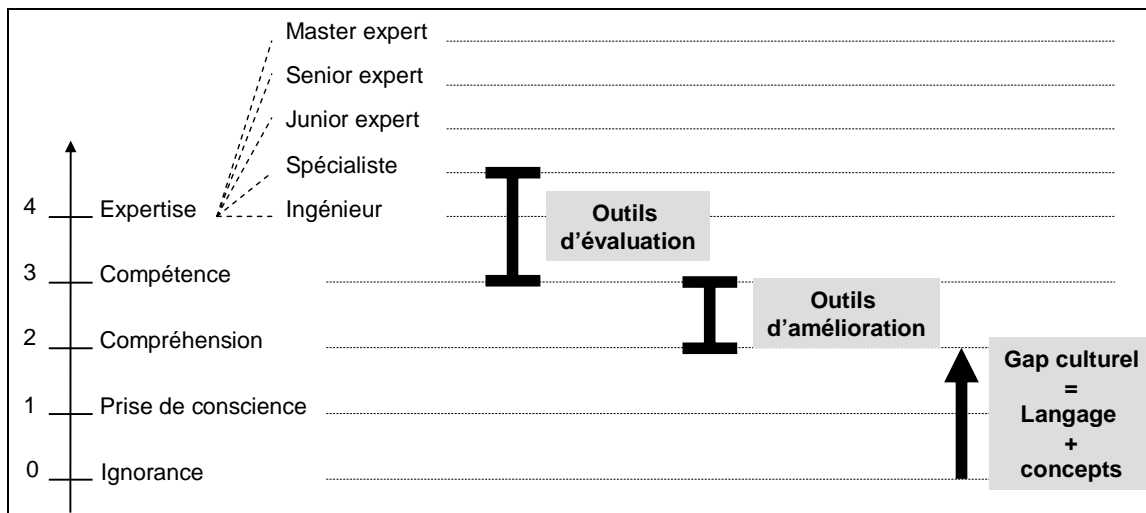


Figure 16. Niveaux de maîtrise minimum requis pour l'utilisation des outils d'éco-conception.

2.2.3. Les outils d'éco-conception dans le contexte des PME

L'évaluation des niveaux de maîtrise requis pour l'utilisation des outils permet de formuler les conclusions suivantes :

- Les outils d'évaluation environnementale, sous leurs formes actuelles, sont des outils réservés à l'usage d'experts.
- Les outils d'amélioration environnementale sont plus facilement appropriables par l'entreprise, par le biais d'un processus d'apprentissage sur un projet pilote. En ce sens, l'utilisation de ces outils ne nous semble pas problématique en terme d'intégration, sous réserve que le processus d'apprentissage soit conscientisé et organisé.

Au regard des moyens limités dont disposent les PME, la phase d'évaluation, réservée à des experts, est clairement une phase bloquante pour ces entreprises. En effet, les PME n'ont pas les moyens de disposer d'un expert en interne, et le recours à un expert externe est limité par leurs ressources. Il manque donc, dans le panel des outils d'évaluation, un outil qui puisse être utilisé par des non experts, même si ces utilisateurs restent extérieurs à l'entreprise. L'objectif, en l'occurrence, est de diminuer le coût et le temps d'intervention dans l'entreprise de la personne support extérieure. Certes, certains outils, tels les méthodes matricielles, permettent à un expert de réaliser rapidement une évaluation environnementale simplifiée. Toutefois, deux arguments peuvent être opposés à l'utilisation de ce genre d'outils dans les entreprises par un expert extérieur :

- D'une part, l'évaluation reposant entièrement sur l'expertise propre de l'intervenant, se pose le problème de la répétabilité des résultats : obtient-on les mêmes résultats avec deux experts différents ?
- D'autre part, l'équipe projet n'étant pas impliquée dans la phase d'évaluation, se pose le problème de l'appropriation des connaissances et concepts nécessaires à l'utilisation des outils d'amélioration par le personnel de l'entreprise.
-

Ainsi, si nous souscrivons pour notre part à l'affirmation de JP. Ventère, qui résume de manière volontairement caricaturale l'identification des pistes d'éco-conception à « *un brainstorming de 20*

minutes entre un expert éco-conception et un groupe projet de l'entreprise »⁴⁸, les problèmes liés à l'intervention d'un expert (répétabilité des résultats et appropriation des connaissances et concepts) demeurent.

2.3. Enoncé de la première problématique

La discussion précédente sur les outils d'éco-conception met en évidence la nécessité de disposer d'un outil non expert. Kaebernick & Soriano appuient cette conclusion en affirmant que les concepteurs ont besoin d'un outil d'évaluation qui ne requiert pas de posséder les connaissances d'un spécialiste de l'environnement pour être utilisé [Kaebernick 00].

Ainsi, la première problématique que nous mettons en évidence pour répondre à la question de recherche est celle de l'expertise requise pour l'utilisation des outils d'évaluation environnementale. Notre première problématique est résumée ci-dessous.

PROBLEMATIQUE 1 :

La phase de l'évaluation environnementale est une phase bloquante pour l'intégration de l'éco-conception dans les PME, car cette phase nécessite le recours à l'expertise environnementale. D'autre part, les outils d'éco-conception développés jusqu'à maintenant en dehors du contexte industriel, et particulièrement les outils d'évaluation environnementale, ne prennent pas en compte les aspects organisationnels de leur intégration dans une entreprise, notamment le problème de la dynamique des connaissances associées à leur utilisation.

⁴⁸ Intervention au congrès CleanMeca, 17-19 novembre 2004, CETIM, Senlis.

3. UN NECESSAIRE CHANGEMENT ORGANISATIONNEL

3.1. Précisions sur la notion d'intégration

La littérature concernant l'intégration de l'éco-conception, que ce soit l'intégration dans le processus de conception ou l'intégration dans les entreprises, est relativement abondante. Toutefois, aucune, à notre connaissance, ne qualifie la notion d'intégration, si ce n'est sous la forme d'un objectif, d'un résultat souhaité, correspondant à la prise en compte effective de la contrainte environnementale dans le cahier des charges produit. P.A. Millet & al. notent ainsi que l'intégration est le plus souvent présentée comme un facteur de performance [Millet PA 05].

P.A. Millet & al., en s'intéressant à la problématique de l'intégration des systèmes d'informations dans les organisations industrielles, apportent des précisions intéressantes sur la notion d'intégration [Millet PA 05].

Citant Kosanke⁴⁹, ils définissent l'intégration comme « *un effort d'amélioration de l'efficacité du système global par mise en relation de ses éléments au moyen de systèmes de communication de manière à obtenir une réactivité et une efficacité du système global supérieures à celles de l'ensemble des éléments pris isolément* ». En ce sens, l'intégration correspond donc à un changement d'état de l'organisation (un état avant et un état après).

P.A. Millet & al. précisent que l'intégration peut être réalisée de deux manières [Millet PA 05]:

- L'intégration physique, qui consiste à regrouper les différentes parties en les fusionnant pour n'en faire qu'une seule (exemple : intégrer un sous-traitant). L'intégration a, dans ce cas, un sens de compactage physique, de réduction du nombre des éléments à gérer.
- L'intégration fonctionnelle, qui consiste à regrouper deux ou plusieurs parties en partageant des ressources communes informationnelles ou matérielles. Chaque élément garde son autonomie et l'intégration harmonise la collaboration ou l'enchaînement des tâches entre les différentes parties, dans le but d'atteindre des objectifs communs. Il s'agit alors de viser une coordination en reliant des parties pour les faire inter-agir de manière cohérente.

Dans le cadre de l'intégration de l'éco-conception, c'est évidemment cette deuxième réalisation de l'intégration qui nous intéresse. Ainsi, de ce point de vue, l'intégration ne serait pas définie comme un objectif de performance, mais plutôt comme un objectif d'organisation permettant une meilleure efficacité. P.A. Millet & al. précisent à ce sujet « *qu'on se réfère à l'intégration pour désigner les nouveaux modes d'organisation fondés sur des relations inter-individuelles, inter-fonctionnelles et inter-entreprises plus étroites. Ces nouveaux modes d'organisation des entreprises se fondent sur une coordination plus étroite des tâches, sur la coopération et sur le partage des informations et des prises de décision. La gestion de l'interdépendance intra ou inter entreprise prend donc, entre autres, comme forme, une intégration informationnelle poussée* » [Millet PA 05].

L'intégration s'exprime donc sous des formes diverses (flux, relations, fonctions, etc.), qui conduisent toutes à la multiplication des objets gérés et des dépendances entre ces objets. En ce sens, l'intégration se caractérise donc par un degré de complexité supérieur.

⁴⁹ Kosanke, K., (1995), « CIMOSA – Overview and Status », *Computers in Industry*, 27, 101-109.

Cette analyse de la notion d'intégration permet de conclure que, de facto, l'intégration est un changement (changement d'état, modification des structures internes de l'organisation, etc.).

3.2. Implications de l'intégration de l'éco-conception

Comme le font remarquer Tiger & Millet [Tiger 98], tenir des objectifs à caractère environnemental dans l'activité de conception de produit ne se réduit pas à l'intégration d'une contrainte technique de plus. Les aspects organisationnels de l'entreprise doivent également être considérés.

Cette partie est destinée à montrer comment la prise en compte des contraintes environnementales dans la conception des produits, selon une approche cycle de vie et multicritère construite autour des deux phases d'évaluation et d'amélioration environnementale, est amenée à apporter d'importants changements organisationnels dans l'entreprise [Le Pochat 03].

3.2.1. Changements induits aux différents niveaux de l'entreprise

A titre d'illustration, le tableau 15 recense les types de données qu'il est nécessaire d'acquérir pour mener à bien chacune des deux principales phases de l'éco-conception que sont l'évaluation environnementale et l'amélioration environnementale. Ce recensement montre la diversité potentielle des types de données à acquérir, allant des données techniques jusqu'à des données de type sociologique. Il montre également que la majorité des données nécessaires à l'éco-conception se trouve en dehors des frontières de l'entreprise, que ce soit en amont (fournisseurs et sous-traitants, prestataires) ou en aval (clients et acteurs des filières avalées).

Enfin, ce recensement montre que, au-delà du bureau d'études et des concepteurs, les projets d'éco-conception et l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise requièrent l'implication de l'ensemble des services de l'entreprise. Bertoluci & al., sur la base d'un exemple de projet réalisé sur un produit industriel⁵⁰, ont clairement illustré les conséquences de l'intégration de l'éco-conception sur les flux d'informations et sur la nécessaire transversalité intra et inter entreprise des projets d'éco-conception [Bertoluci 05a].

[Sarkis 03] montre également comment des décisions concernant les contraintes environnementales, prises au niveau stratégique de l'entreprise, sont amenées à modifier, non seulement l'organisation interne, mais tout autant celles des clients et de la supply chain.

⁵⁰ Un vérin hydraulique de la société Bosch Rexroth à Bonneville (74) avec laquelle a été réalisé ce projet.

Phases du cycle de vie du produit	Types de données requises	Disponibilité des données		Où trouver les données ?				Qui collecte les données ? (services internes)
		Oui	? ⁵¹	Amont	Aval	Interne	Connexe ⁵²	
Matières premières	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux <ul style="list-style-type: none"> - type, nuances - contenu énergétique - contenu mat. recyclé - localisation fabrication • Substances 	X	X X X X	<ul style="list-style-type: none"> • Fournisseurs • Sous-traitants 		<ul style="list-style-type: none"> • R&D 	<ul style="list-style-type: none"> • Divers organismes 	<ul style="list-style-type: none"> • BE • achats
Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie • Consommables (types et qtés) • Déchets (types et qtés) • Emissions (air, eau) 		X X X X	<ul style="list-style-type: none"> • Fournisseurs • Sous-traitants 		<ul style="list-style-type: none"> • Usine • R&D 	<ul style="list-style-type: none"> • Divers organismes 	<ul style="list-style-type: none"> • BE méthodes • Industrialisation • Achats • Service environnement
Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie • Consommables <ul style="list-style-type: none"> ○ déchets ○ émissions • Mode utilisation / clients 		X X X X		<ul style="list-style-type: none"> • Clients 	<ul style="list-style-type: none"> • BE • R&D • Marketing 	<ul style="list-style-type: none"> • Divers organismes 	<ul style="list-style-type: none"> • BE • R&D • Marketing
Fin de vie	<ul style="list-style-type: none"> • Recyclabilité produit • Filières fin de vie <ul style="list-style-type: none"> ○ organisation ○ performance • Données clients 		X X X X	<ul style="list-style-type: none"> • Fournisseurs MP 	<ul style="list-style-type: none"> • Acteurs filières • Clients 	<ul style="list-style-type: none"> • Logistique 	<ul style="list-style-type: none"> • Divers organismes 	<ul style="list-style-type: none"> • Marketing • R&D • Logistique
Transports	<ul style="list-style-type: none"> • Modes de transport • Nombre de kilomètres • Taux de chargement 		X X X	<ul style="list-style-type: none"> • Fournisseurs • Sous-traitants • Prestat. transp 	<ul style="list-style-type: none"> • Prestat. transp 	<ul style="list-style-type: none"> • Logistique 	<ul style="list-style-type: none"> • Divers organismes 	<ul style="list-style-type: none"> • Logistique

Tableau 15. Types de données nécessaires pour les deux phases d'éco-conception, et localisation de ces données.

⁵¹ ? signifie que les données sont disponibles sous conditions : les données existent théoriquement mais ne sont pas directement accessibles, elles nécessitent une recherche, un traitement, l'achat d'une base de données, etc. Exemple : les données pour le site de fabrication (consommation d'énergie, etc.) existent (si l'entreprise possède un système de management de l'environnement) mais elles sont représentatives de l'ensemble de la production du site. Une clé de répartition est nécessaire pour connaître la part précise à affecter au produit en particulier.

⁵² Organismes d'Etat, ou parapublics, ou de recherche : ADEME, INERIS, INRA, US EPA, centres techniques, etc.

3.2.1.1. Les flux d'informations

Gondran a étudié la problématique des systèmes d'informations dans le cadre spécifique des performances de gestion environnementale site des PME [Gondran 01]. Elle montre que l'information environnementale est une condition nécessaire de la maîtrise des impacts environnementaux par l'entreprise, et insiste notamment sur l'importance du réseau d'informations dans l'intégration de l'environnement. Ses travaux mettent en évidence que plus une entreprise favorise le tissage de relations par le développement d'un réseau socio-professionnel, plus l'entreprise est ouverte sur ses partenaires, mieux elle intègre l'environnement.

Par ailleurs, le tableau 15 montre clairement deux choses :

- D'une part, les informations se trouvent pour la plupart en dehors des frontières de l'entreprise, et sont dispersées chez un nombre important d'acteurs différents : fournisseurs, sous-traitants, prestataires, clients, acteurs des filières de recyclage, organismes consulaires, etc.
- D'autre part, peu de ces données sont, à l'heure actuelle, directement disponibles. En effet, le besoin, nouveau, d'acquérir ces données apparaît peu à peu avec l'émergence de l'éco-conception dans le monde industriel. Or, le besoin n'existant pas auparavant, ces données n'avaient pas été collectées, pas plus au niveau des Etats⁵³ que des entreprises.

Ce constat met en évidence la nécessité de créer ces nouveaux flux d'information environnementale pour venir compléter les flux d'informations existants. Cette modification n'est pas anodine pour l'entreprise car :

- Les réseaux de données ne sont pas les réseaux habituels, ce qui va obliger l'entreprise à modifier ses habitudes et ses relations avec ses partenaires, aussi bien en amont qu'en aval.
- Les données sont rares et dispersées, ce qui engendre des difficultés dans la collecte se traduisant par un processus d'acquisition de données potentiellement long et coûteux.

3.2.1.2. Les relations intra et inter entreprise

Une des barrières à l'éco-conception est la séparation généralement constatée, au sein de l'entreprise, entre les structures environnement et les structures classiques (the « green wall »⁵⁴). Or, la figure 17, représentant les flux relationnels et informationnels inter et intra entreprise liés à l'environnement, met clairement en évidence que l'ensemble des métiers de l'entreprise est concernée par l'éco-conception. Pour favoriser les flux relationnels au sein de l'entreprise, l'environnement doit donc être structurellement intégré à l'ensemble des métiers.

De ce fait, le processus d'intégration de la contrainte environnementale implique nécessairement l'ensemble des métiers de l'entreprise : bureau d'études (BE), recherche et développement (R&D), méthodes, industrialisation, marketing, achats, logistique, service environnement, etc.

Au-delà des acteurs de l'entreprise, les partenaires industriels de la supply chain, mais aussi les clients, voire les acteurs des filières de recyclage, doivent également être impliqués dans le développement des projets d'éco-conception.

⁵³ La consultation des rapports de l'EEA publiés désormais régulièrement, intitulés « Environmental Signals », montrent qu'avant les années 1990, les données environnementales n'étaient pas enregistrées.

⁵⁴ « The green wall » est un concept défini par Shelton & al. pour illustrer le fait que dans les entreprises d'une manière générale, les pôles d'activités concernés par l'environnement ne sont pas intégrés aux structures classiques de l'entreprise (production, marketing, achats, etc.) [OECD 01].

Cette nécessité d'un travail en réseau inter et intra entreprise contraint, le cas échéant, les entreprises et les collaborateurs à changer leurs méthodes de travail. En tout état de cause, cela implique d'intégrer de nouveaux acteurs dans les processus de développement et de prise de décision.

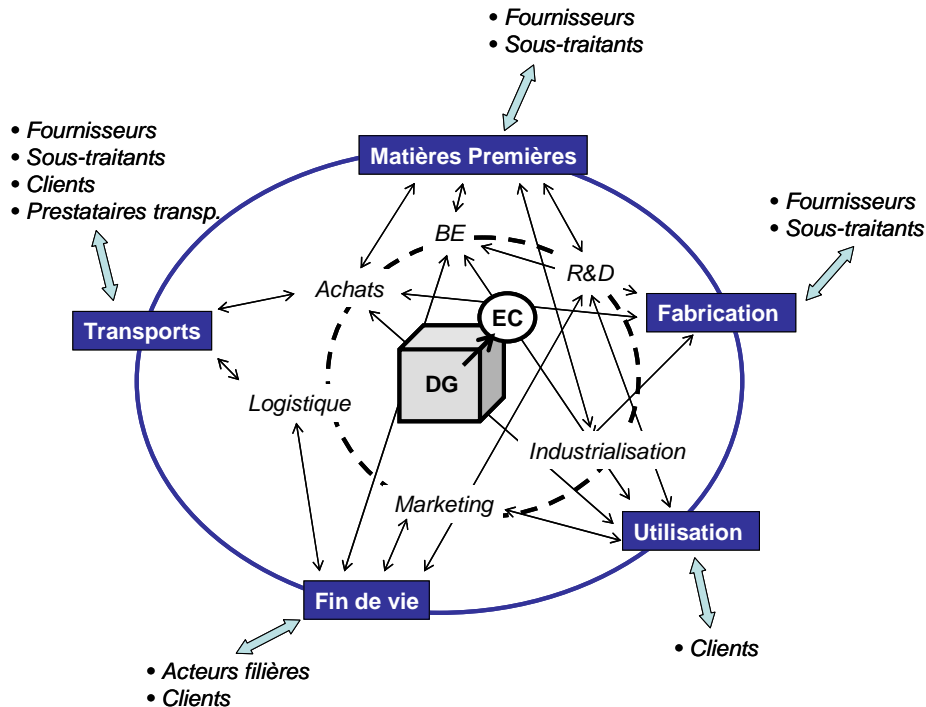


Figure 17. Flux relationnels et informationnels intra et inter entreprise, dans le cadre de l'éco-conception.

En résumé, l'intégration de l'éco-conception implique donc l'ensemble des acteurs de l'entreprise intervenant de près ou de loin sur une des fonctionnalités du cycle de vie du produit. D'autre part, elle oblige l'entreprise à élargir et modifier ses réseaux relationnels extérieurs. Là encore, cela peut modifier des habitudes profondément ancrées de l'entreprise⁵⁵.

3.2.1.3. Le processus de conception

Sherwin & Bhamra affirment que l'éco-conception implique nécessairement un fonctionnement selon les principes de l'ingénierie concurrente [Sherwin 01].

Le paragraphe précédent a montré que l'éco-conception concernait l'ensemble des acteurs tant en interne qu'en externe, et la figure 17 montre que la conception environnementale des produits ne peut être cantonnée au bureau d'études, chaque métier de l'entreprise ayant un rôle informationnel et décisionnel à jouer. L'éco-conception nécessite donc un travail en équipe, selon les principes de l'ingénierie concurrente.

⁵⁵ A titre d'exemple, l'anecdote suivante basée sur une expérience vécue avec un industriel :

La phase d'utilisation du produit étant souvent la phase la plus importante, il est logique lorsque c'est le cas, d'essayer d'obtenir des informations auprès du client sur la façon dont il utilise le produit (idem pour la fin de vie : comment se débarrasse-t-il de son produit lorsqu'il n'est plus fonctionnel ?). Or, il n'est pas dans les habitudes du monde industriel de demander au client des renseignements sur la façon dont il utilise le produit, « cela ne se fait pas » ...

Le problème de l'intégration de l'environnement en conception est, par ailleurs, largement traité par Millet & al., qui montrent la nécessité d'acquiescer de nouveaux outils, de modifier le processus de conception et d'apporter de nouvelles connaissances [Millet 03a]. [Tonnelier 02], pour sa part, insiste sur la dualité de la démarche d'intégration, qui doit traiter aussi bien les aspects techniques que les aspects managériaux.

Ainsi, outre la mise en œuvre d'une organisation selon les principes de l'ingénierie concurrente, l'intégration de l'éco-conception va-t-elle imposer les modifications suivantes au processus de conception :

- Utilisation de nouveaux outils (les outils d'éco-conception).
- Création de nouveaux indicateurs de suivi de projet, pour les aspects environnementaux.
- Utilisation de nouvelles données.
- Mise en œuvre de nouvelles procédures, permettant de définir et de valider la prise en compte des contraintes environnementales dans le cahier des charges produit.

3.2.1.4. La stratégie

L'intégration de l'éco-conception implique la modification de la stratégie de l'entreprise, à deux niveaux [Sarkis 03]:

- Au niveau de sa politique générale.
- Au niveau des axes stratégiques de développement de produit, c'est-à-dire pour la définition du cahier des charges du produit.

a) *Politique générale : l'environnement comme une valeur*

L'intégration de l'éco-conception implique que l'entreprise ait défini l'environnement comme une valeur, afin de légitimer son engagement auprès de l'ensemble du personnel de l'entreprise. La nécessité d'un tel engagement est soulignée par [Argyris 00] qui rappelle que la volonté de modification d'un acte sans modification de ses valeurs directrices correspond à une action vouée à un échec immédiat ou à court terme. Il s'agit pour l'entreprise de réorienter sa stratégie en intégrant l'environnement comme une valeur de sa politique générale.

Ainsi, la prise en compte d'une contrainte nouvelle comme celle de la contrainte environnementale va venir modifier la hiérarchie des valeurs habituelles de l'entreprise (performance, qualité, coût, etc), hiérarchie qu'il va être nécessaire de redéfinir. Millet & al. parlent de changement de paradigme au niveau de l'entreprise [Millet 03b].

Cette modification de la stratégie de l'entreprise va, elle-même, « mécaniquement » contribuer à modifier le système de communication de l'entreprise, tant en interne (information, implication et motivation du personnel) qu'en externe (argumentation marketing, RSE, etc...).

b) *Définition du cahier des charges produit*

Le paragraphe 2.2.1.2 a mis en évidence la difficulté de définir le cahier des charges produit dans le contexte évolutif de l'entreprise, caractérisé entre autres par la diversité et la protéiformité des contraintes environnementales. L'intégration de l'éco-conception, en modifiant le poids de chacune des contraintes les unes par rapport aux autres, va obliger l'entreprise à modifier sa stratégie opérationnelle, pour permettre au groupe projet de hiérarchiser les contraintes, et ainsi de définir le cahier des charges produit.

3.2.1.5. Les connaissances et les compétences

L'intégration de l'éco-conception, par l'intégration d'une contrainte nouvelle et complexe, va nécessairement modifier la nature des connaissances requises. La discussion sur le niveau de compétences requis pour l'utilisation des outils l'a clairement montré (cf. § 2.2.2.3 p. 89).

Le tableau 15, qui identifie les données nécessaires au processus d'éco-conception, montre que l'interprétation et l'utilisation de ces données nécessitent de posséder un corpus minimal de connaissances environnementales. De fait, l'ensemble des modifications des fonctions de l'entreprise évoquées ci-dessus requiert des connaissances et des compétences, qui, n'existant pas culturellement dans l'entreprise, vont devoir être créées, pour :

- Définir la stratégie.
- Utiliser les outils d'éco-conception.
- Gérer les données environnementales produit.

Selon les travaux du [CJQ 01], l'appropriation⁵⁶ est « *un processus par lequel des personnes, des groupes ou des organisations développent, par l'intermédiaire d'actions concrètes, un plus grand contrôle sur les aspects de leur réalité [...]* », et « *l'appropriation est donc un processus continu, qui permet un passage graduel de l'acquisition de connaissances vers une expérimentation des compétences au fur et à mesure que les gens acquièrent une maîtrise sur ce qui les concerne* ». Cette définition met en avant le rôle des connaissances et des compétences dans le processus d'intégration (ou d'appropriation).

Ainsi, ces nouvelles connaissances et compétences constituent-elles le socle sur lequel va pouvoir s'appuyer l'ensemble des changements nécessaires. Dans cette optique, la gestion des compétences revêt une importance cruciale. [Jacqueson 02] affirme, à ce sujet, que les connaissances environnementales sont le vecteur de l'intégration de l'éco-conception.

L'intégration de l'éco-conception implique donc que l'entreprise modifie sa gestion des compétences pour parvenir à un niveau de connaissances et de compétences environnementales permettant la mise en œuvre des principes d'éco-conception.

3.2.1.6. Changement culturel

L'intégration de l'éco-conception, tant en raison du principe de l'approche cycle de vie environnemental que de la nouveauté de la dimension « E », modifie la vision que les concepteurs, et au-delà l'ensemble de l'entreprise, ont de leur produit.

La figure 18 illustre, sur l'exemple du vérin hydraulique déjà évoqué, cette transformation de la vision du produit que l'intégration de l'éco-conception impose au concepteur, en proposant, d'une part la vision classique du produit devant répondre à un cahier des charges fonctionnel, et d'autre part la vision sous laquelle apparaît le produit dans le cycle de vie environnemental.

Chacune des phases du cycle de vie environnemental du produit fait apparaître le produit sous des caractéristiques différentes de celles qui sont habituellement considérées. Le cahier des charges n'est plus seulement exprimé sous forme de fonctions susceptibles de répondre aux exigences de performance pour le client. Le produit doit aussi être considéré en terme de « *désutilités* » [Millet 95],

⁵⁶ La notion d'appropriation est, tout comme la notion d'intégration, une notion difficile à cerner. Nous postulons, néanmoins, que la notion d'appropriation est équivalente à celle d'intégration : lorsqu'une entreprise s'est appropriée une méthode, c'est qu'elle l'a configurée à son environnement contextuel et à ses besoins, elle l'a donc intégré dans son organisation.

exprimées sous forme de fonctions d'impacts environnementaux. Le produit est vu comme un générateur de pollution en puissance.

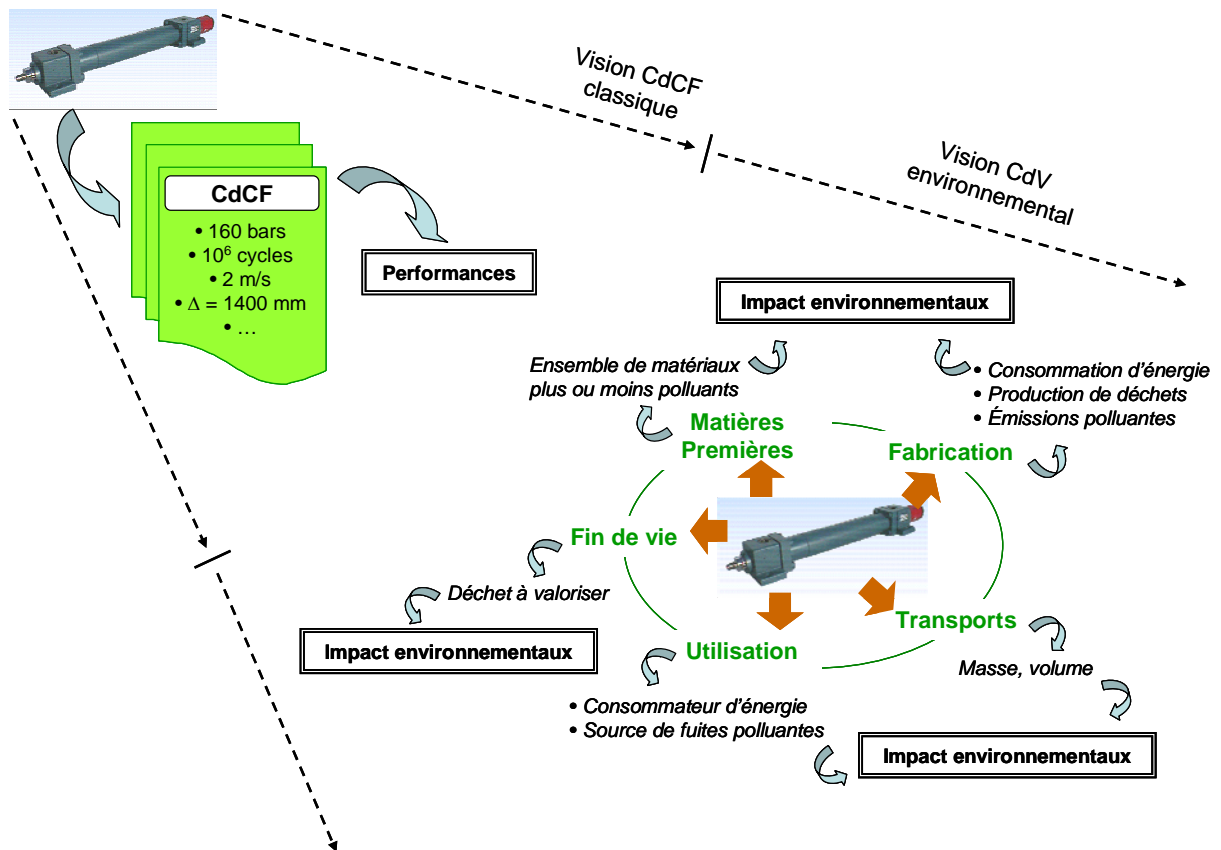


Figure 18. Transformation de la vision du produit lors de l'intégration de l'éco-conception.

Ainsi, sur l'exemple du vérin, la vision classique est celle d'un produit dont les fonctions doivent satisfaire au besoin du client, en l'occurrence : pouvoir assurer un déplacement linéaire à une vitesse donnée, à une pression de fonctionnement donnée, pendant un nombre minimum de cycles, etc. Ce même produit vu sous l'angle du cycle de vie environnemental doit tout à la fois être considéré comme :

- un déchet (phase de fin de vie),
- un assemblage (problème de la fin de vie) de matériaux plus ou moins polluants (phase des matières premières),
- un consommateur d'énergie (phase d'utilisation⁵⁷),
- une masse (ou un volume) source directe de pollution (phase des transports),
- etc.

⁵⁷ Autre exemple avec un projet réalisé avec un industriel concevant des climatisations de bureau : le cahier des charges « classique » du produit exprime la puissance maximale disponible pour assurer une fonction de transfert de chaleur. D'un point de vue évaluation environnementale, il est nécessaire d'avoir la quantité d'énergie consommée, et non pas la puissance. Or, l'industriel ne s'était jamais posé la question de la quantité d'énergie réellement consommée par ses produits chez ses clients, et ne disposait donc pas des données.

L'éco-conception oblige ainsi les concepteurs, et même l'ensemble de l'entreprise, à adopter une approche différente de leur produit. L'horizon temporel des contraintes qu'ils doivent prendre en compte s'élargit. Ils ne doivent plus seulement considérer la phase de création et de fabrication du produit (présent du produit), mais aussi les phases d'utilisation et de fin de vie (futur du produit) et les phases d'extraction et de fabrication des matières premières, matériaux et énergie (passé du produit). L'horizon technique s'élargit également puisqu'en plus des critères techniques habituels (dureté, résistance, poids, etc.) s'ajoutent des critères techniques environnementaux tels la toxicité, l'énergie contenue dans un matériau, la quantité de CO₂ émise ou encore la démontabilité. L'éco-conception requiert d'adopter une vision systémique du produit.

L'intégration de l'éco-conception, en imposant, d'une part la dimension « E » comme une nouvelle valeur stratégique, et d'autre part une nouvelle vision de son produit à l'entreprise, constitue donc, aussi, un changement culturel.

Pour Puyou, « la démarche [d'éco-conception] peut être définitivement considérée comme appropriée lorsque des lignes directrices d'éco-conception peuvent être validées au plus haut niveau du management et être communiquées aussi bien en interne qu'en externe pour être partie intégrante de la culture de l'entreprise » [Puyou 99].

3.2.2. Conséquences pour l'organisation

Pour montrer que l'intégration de l'éco-conception modifie l'organisation de manière conséquente, nous utiliserons le formalisme proposé par [Livian 01]⁵⁸. Cela va nous permettre de considérer l'entreprise sous l'angle d'une organisation.

[Livian 01] rappelle que l'entreprise est une forme particulière d'organisation. Pour définir le concept d'organisation, il propose le formalisme suivant, représenté sur la figure 19.

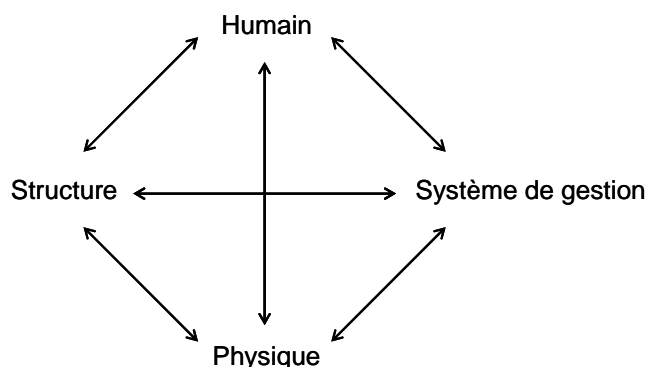


Figure 19. Les composantes de l'organisation, selon [Livian 01].

⁵⁸ [Mintzberg 82] propose également un formalisme pour la représentation des organisations, comprenant 5 parties : le sommet stratégique, le centre opérationnel, la ligne hiérarchique, la technostructure, et les fonctions de support logistique. Nous retenons cependant le formalisme de [Livian 01], car il nous semble mieux adapté au contexte spécifique des PME dans lequel nous nous inscrivons.

Les quatre composantes de l'organisation sont :

- La composante humaine, dont l'auteur rappelle, par ailleurs, la complexité et les nombreuses dimensions la constituant. Cette composante englobe les compétences, les attitudes au travail, les sentiments d'appartenance, etc. Elle correspond, dans le cas particulier de l'entreprise, aux ressources humaines.
- La composante physique. Cette composante comprend divers éléments liés :
 - à la distribution dans l'espace : localisation, flux de matières et d'énergie,
 - au matériel : équipements techniques, bâtiments, installations.
- La composante système de gestion, appelée par l'auteur « *appareil gestionnaire, [qui] contribue au fonctionnement de l'organisation, non seulement comme outillage au service d'objectifs, mais aussi comme influençant (volontairement ou non) les comportements de ceux qui s'y trouvent* ». Dans le cas particulier de l'entreprise, nous incluons dans cette catégorie les outils de conception : logiciels, outils support papier, guides, bases de données, etc. Le système de gestion est lui-même composé de quatre sous-systèmes :
 - Le système d'objectifs
 - Le système de contrôle
 - Les systèmes d'information et de communication
 - Le système d'évaluation
- La composante structure organisationnelle. Pour l'auteur, la structure de l'organisation est ce qui lui assure sa stabilité. L'auteur se réfère par ailleurs à [Mintzberg 82] pour définir plus précisément la notion de structure : c'est « *la somme totale des moyens utilisés pour diviser le travail entre tâches distinctes et pour assurer la coordination nécessaire entre ces tâches* ». La structure de l'organisation est donc tout à la fois une composante à part entière de l'organisation, mais aussi l'élément qui assure la stabilité, la cohérence et la dynamique du système [Millet PA 05]. [Livian 01], au terme d'un travail bibliographique sur les définitions de la notion de structure, énonce les différents éléments qui caractérisent une structure, tous interdépendants les uns des autres, du plus étroit au plus large (ie englobant tous les autres) :
 - Division du travail, hiérarchie et contrôle.
 - Répartition des tâches et des rôles, répartition du pouvoir.
 - Circuits de communication et d'informations.
 - Division du travail et coordination.
 - Ce qui modèle le comportement.

Cette modélisation de l'entreprise vue comme une organisation nous permet de mettre en regard les modifications induites par l'intégration de l'éco-conception, et mises en évidence auparavant, avec les composantes de l'organisation (tableau 16).

Ce tableau de correspondance montre clairement que les quatre composantes de l'organisation sont touchées par les changements induits par l'intégration de l'éco-conception. L'intégration de l'éco-conception dans une entreprise induit donc, au-delà du changement culturel qu'implique l'adoption d'une nouvelle vision du produit et d'une nouvelle valeur directrice, un changement organisationnel de cette entreprise.

Éléments modifié par l'intégration de l'éco-conception	Composantes de l'organisation affectées	
	Composantes principales	Sous-composantes
Flux d'informations	Système de gestion	<i>Système d'informations</i>
	Structure	<i>Circuits d'informations</i>
Relations intra entreprise (personnel de l'entreprise)	Humaine	<i>Compétences, motivation, attitudes</i>
	Système de gestion	<i>Informations et communication / Objectifs / Contrôle / Evaluation</i>
	Structure	<i>Circuits d'informations / Division du travail et coordination</i>
Relations inter entreprise	Humaine	<i>Idem relations intra entreprise</i>
	Système de gestion	
	Structure	
	Physique	<i>Localisation / Equipements / Installations</i>
Processus de conception	Humaine	<i>Compétences</i>
	Système de gestion	<i>Informations / Objectifs / Contrôle / Evaluation</i>
	Structure	<i>Répartition des tâches, coordination, circuits d'information, etc.</i>
Stratégie : • politique générale • cahier des charges	Humaine	<i>Sentiment d'appartenance / Motivation / Attitudes</i>
	Physique	<i>Localisation / Flux matière-énergie / Equipements / Installations / Bâtiments</i>
	Système de gestion	<i>Informations / Objectifs / Contrôle / Evaluation</i>
	Structure	<i>Répartition des tâches / Coordination / Circuits d'information, etc.</i>
Communication interne et externe	Humaine	<i>Compétences, motivation, attitudes</i>
	Système de gestion	<i>Système de communication</i>
	Structure	<i>Circuits de communication</i>
Connaissances et compétences	Humaine	<i>Compétences / Motivation / Attitudes</i>
	Système de gestion	<i>Informations / Objectifs / Contrôle / Evaluation</i>
	Structure	<i>Répartition des tâches et des rôles</i>

Tableau 16. Correspondance entre les éléments de l'entreprise modifiés par l'intégration de l'éco-conception et les 4 composantes du modèle d'organisation de [Livian 01].

3.2.3. Les problèmes posés par la gestion du changement

Le changement organisationnel inhérent à l'intégration de l'éco-conception n'est pas neutre pour l'entreprise, et comporte des risques d'échec, en raison notamment du phénomène de résistance au changement. Ainsi, l'intégration de l'éco-conception doit considérer la problématique du changement organisationnel pour s'inscrire dans le cadre de la gestion du changement dans l'entreprise.

3.2.3.1. Risques d'échec du changement organisationnel

Pour Bassetti, le changement est provoqué par un état de déséquilibre de l'organisation induit par un différentiel entre un état vécu et un état désiré dont la prise de conscience fait suite à la perception d'une information agissant comme un stimulus [Bassetti 02].

La nécessité d'intégrer la dimension « E », quelle qu'en soit la raison pour l'entreprise (conformité réglementaire, vision stratégique, etc.), rentre dans ce cadre.

[Livian 01] affirme que le changement organisationnel est un phénomène complexe et ambivalent. Selon lui, il est préférable de parler d'évolution organisationnelle plutôt que de changement organisationnel, car *« il n'y a pas de changement sans continuité. Les formes d'organisation apparaissant comme « nouvelles » s'enracinent souvent dans des expériences antérieures et s'articulent avec des formes qui, elles, restent stables. Il y a cohabitation entre « forme ancienne » et « nouvelle » beaucoup plus que passage de l'une à l'autre »*.

La gestion du changement dans l'entreprise est donc un problème de l'évolution des organisations industrielles. Or, comme tout processus d'évolution, la gestion du changement n'est pas vouée à un succès certain, mais se heurte au contraire à des facteurs de risque qui menacent de le faire échouer. [Bassetti 02], en rappelant les quatre principes fondamentaux du changement, insiste sur le risque d'échec du changement (principe d'indétermination) : *« le changement peut être guidé mais ne peut pas être parfaitement maîtrisé. C'est un phénomène chaotique qui ne suit pas la loi des causes et effets »*.

Hansson & Klefsjö relèvent que la littérature répertorie de nombreuses causes d'échec concernant le changement organisationnel, parmi lesquelles les trois facteurs suivants apparaissent comme des facteurs clés [Hansson 03] :

- une vision globale peu ou pas partagée par l'ensemble de l'entreprise,
- un manque d'équipes motrices,
- l'absence de leadership.

[Partidario 97] et [Johansson G 98] quant à eux, montrent que l'éco-conception pouvant être considérée comme un processus d'innovation, se heurte en conséquence aux obstacles que rencontrent les processus d'innovation.

Le changement dans l'entreprise est susceptible de se heurter à deux types de facteurs :

- Les facteurs structurels, comme les moyens matériels et les moyens de gestion. Le changement organisationnel est un investissement dont l'objectif est de rendre l'organisation plus efficiente. [Gray 01] note ainsi que l'importance de l'acquisition de nouveaux savoirs dans l'accroissement de la compétitivité de l'organisation est désormais bien connue. Néanmoins, cet investissement requiert des moyens qui se traduisent en ressources humaines et financières et en disponibilité de temps. La mobilisation de ces moyens peut s'avérer évidemment bloquante pour l'entreprise. Les auteurs du rapport [CJQ 01] affirment ainsi que *« certaines connaissances entraînent des changements de pratiques importants auxquels l'organisation n'est pas toujours en mesure de donner suite »*.
- Les facteurs humains, qui se cristallisent sous la forme du phénomène connu de résistance au changement.

[Bassetti 02] affirme que dans la gestion du changement, les risques liés aux individus de l'organisation constituent des risques majeurs, car d'un point de vue comportemental, l'individu en tant

qu'humain semble incapable d'optimiser son comportement pratique, recherchant plus la satisfaction que l'optimisation objective.

3.2.3.2. La résistance au changement

La résistance au changement est un phénomène inéluctable [Perrin 04], en ce sens qu'elle est une réaction « naturelle » en réponse à une déstabilisation résultant d'un changement d'état de l'organisation. En effet, Perrin, dans son analyse sur les approches globales de la conduite du changement, rappelle que tout processus de changement organisationnel commence par une phase de déséquilibre⁵⁹ durant laquelle les individus s'interrogent, confrontent leurs représentations (visions) respectives, et prennent conscience du besoin de changement [Perrin 05].

Hansson & Klefsjö notent également que tout changement organisationnel est sujet à des résistances [Hansson 03]. Ils précisent cependant que la résistance peut être accentuée si :

- L'organisation (avant le changement) est efficiente et est globalement en réussite. Ceci est corroboré par l'étude de [Isaksson 03], qui montre que le premier stimulus du changement dans une entreprise est l'existence d'une menace directe (menace de disparition) sur l'organisation, et que, lorsque l'entreprise a atteint un équilibre qui la satisfait, comme cela doit être le cas quand l'entreprise connaît le succès, elle est peu encline à évoluer.
- L'organisation possède une culture particulièrement forte (culture métier par exemple).
- L'organisation a déjà connu un important changement.
- Le changement n'apparaît pas fondé, ou n'est pas soutenu par des efforts de formation et de communication. A ce sujet, [Isaksson 03] rappelle que la principale barrière au changement organisationnel pour la prise en compte des aspects environnementaux est le manque de compréhension des enjeux (vision), ainsi qu'un manque de communication.

[Haksever 96] note, à propos de l'intégration du TQM dans les entreprises, que les nouvelles pratiques induites sont jugées par beaucoup, à l'intérieur de l'entreprise, comme révolutionnaires, car elles impliquent aussi bien des changements dans la gestion des pratiques que des changements philosophiques touchant à la façon de penser et d'appréhender les problèmes (alors même que la majorité des éléments du TQM ne sont pas nouveaux, en ce sens qu'ils font partie de la culture métier de l'entreprise). Un possible raisonnement par analogie avec l'intégration de l'éco-conception inciterait donc à penser que l'approche serait jugée d'autant plus révolutionnaire que les contraintes, contrairement au TQM, sont nouvelles et étrangères à la culture métier de l'entreprise, forçant ainsi les concepteurs à adopter une nouvelle vision de leur produit.

Cette évolution, dans sa radicalité, se heurte potentiellement à de forts risques de résistance.

Enfin, Tukker & al. [Tukker 00a] mettent en avant que pour beaucoup d'entreprises, les innovations fonctionnelles sur le produit, notamment celles liées à l'intégration des contraintes environnementales, peuvent signifier à leurs yeux la fin de leur métier, ou du moins la mise en péril de l'existence de l'entreprise, voire de sa légitimité même⁶⁰. En ce sens, les propositions d'innovations en lien avec l'éco-conception peuvent être sources de freins puissants au changement.

⁵⁹ C'est le principe de rupture, l'un des 4 principes fondamentaux du changement, rappelés par [Bassetti 02].

⁶⁰ Pour exemple, que l'on pense au « bras de fer » sur les arguments environnementaux entre l'industrie du PVC et l'industrie métallurgique, ou au sein même de l'industrie métallurgique, entre l'industrie de l'acier et l'industrie de l'aluminium. Que l'on pense également à la menace que représenterait pour l'industrie automobile, telle qu'elle est actuellement structurée, la mise en œuvre de réflexions sur l'éco-conception des systèmes de déplacement et de mobilité, correspondant à un niveau « innovation système » (transport en commun, modes de déplacement

3.2.4. Gestion du changement

Le changement d'une organisation comporte un risque inhérent d'échec. Il est donc absolument nécessaire, dans le cadre d'un changement conscient et souhaité, de structurer cette démarche selon une approche de gestion du changement pour optimiser les chances de succès de parvenir à l'état final évolutif désiré.

Mais, s'il est certain que le changement doit être conduit plus comme une évolution que comme une révolution, il n'en reste pas moins qu'il peut être vécu par le personnel comme un bouleversement (une révolution). La conduite du changement consiste donc à optimiser ses chances de succès, en minimisant, voire en désamorçant, les résistances.

Toutefois, P.A. Millet & al. rappellent que l'évolution et la conduite du changement sont rendues difficiles, car l'intégration peut prendre différentes formes en fonction du type d'organisation et du mode de pilotage retenu [Millet PA 05]. La conduite du changement est donc un processus à part entière qu'il faut penser avant de l'engager. Le processus de conduite du changement a pour but de guider l'organisation dans son évolution (Bassetti parle de « *guider le changement* » [Bassetti 02]) depuis un état initial jusqu'à un état final, tout en minimisant les risques d'échec inhérents à tout changement. Ainsi, la conduite du changement requiert le déploiement d'une méthode : réalisation d'un diagnostic sur la base d'une analyse initiale de l'organisation, propositions de solutions, planification, évaluation de ces solutions, etc.

alternatifs, réorganisation des urbanisations, etc.), et conduisant à réduire le nombre de voitures produites et vendues ...

4. GESTION DU CHANGEMENT ET APPRENTISSAGE ORGANISATIONNEL

La partie précédente a montré que l'intégration de l'éco-conception implique nécessairement un changement organisationnel. Par ailleurs, l'importance des connaissances dans l'ensemble des modifications de l'organisation a été mise en évidence (§ 3.2.1.5). Nous avons ainsi conclu que les connaissances et compétences sont le socle sur lequel vont reposer l'ensemble des changements organisationnels, voire sont le vecteur de l'intégration [Jacqueson 02].

Dans cette partie nous établissons donc logiquement la relation entre le changement au sein de l'entreprise et le processus d'apprentissage organisationnel. Ce lien entre apprentissage organisationnel et gestion du changement est par ailleurs clairement mis en évidence par [Crestani 05] qui propose une analyse bibliographique de cette problématique.

Nous définissons, au préalable, les trois notions interdépendantes de connaissance, compétence et apprentissage.

4.1. Les connaissances et les compétences

4.1.1. Les connaissances

Les auteurs spécialisés dans l'étude des connaissances et des compétences insistent sur la difficulté de donner une définition de la notion de connaissances. En effet, la connaissance ne peut s'appréhender dans l'absolu mais est relative à un cadre interprétatif et dynamique (c'est-à-dire évolutif), sous-tendu par les trois notions indissociables de donnée, d'information et de connaissance [Grundstein 02 ; Zarifian 02 ; Hermosillo 02].

La connaissance se définit donc dans le cadre de la relation [Zarifian 02] :

donnée → information → connaissance

Tsuchiya⁶¹ précise qu'une information est une donnée qui fait sens, qui a une signification dans un certain cadre interprétatif, et que l'information ne devient connaissance que lorsqu'elle est comprise par le schéma d'interprétation du receveur qui lui donne un sens.

Pour Hermosillo & al. « *la connaissance est à la fois une mémoire et un processus dynamique de construction d'une représentation. Elle résulte d'un mélange subtil entre expérience, information contextuelle et expertise qui fournit un cadre pour interpréter, traiter et incorporer de nouvelles expériences et informations* » [Hermosillo 02].

Pour [Bonjour 02], la nature de la connaissance peut être reliée à la durée de mémorisation, à court terme ou à long terme, de l'information créant la connaissance : « *une connaissance à court terme peut être considérée comme une information, tandis qu'une connaissance à long terme est plus ou moins équivalente au savoir* ».

En outre, les connaissances peuvent être classées en deux types [Nonaka 97 ; Grundstein 02] :

⁶¹ Op. cit. note 26.

- Les connaissances explicites : elles correspondent aux savoirs formalisés (ou formalisables) au moyen d'un langage rationnel [Alsène 02] et commensurable⁶², c'est-à-dire pouvant être exprimées dans le cadre d'une représentation commune. On peut retrouver ces connaissances dans des livres, des plans, des manuels de procédures, des systèmes d'informations, des bases de connaissances, etc. Ces connaissances ont la capacité à être transmises, capacité qui s'avère indispensable dans le cadre de la gestion des connaissances dans l'entreprise.
- Les connaissances tacites : elles correspondent aux savoirs qui ne peuvent pas être explicités par l'intermédiaire d'un langage rationnel et commensurable. Ce sont des savoir-faire, des schémas mentaux, voire des intuitions. Les connaissances tacites sont donc très difficilement transmissibles.

Dans le cadre particulier de l'entreprise, les connaissances coexistent à la fois au niveau des individus et au niveau de l'organisation. Les connaissances de l'entreprise, également qualifiées de connaissances organisationnelles ou connaissances collectives, se répartissent, à l'instar des connaissances individuelles, en connaissances tacites (savoir-faire individuels et collectifs) et connaissances explicites (savoirs spécifiques de l'entreprise) [Grundstein 02].

Merlo & al. définissent différents niveaux de connaissances, applicables notamment dans l'activité de conduite de la conception : les connaissances élémentaires, les connaissances de transformation et les connaissances d'expertise [Merlo 02]. Le tableau 17 explicite le contenu respectif de chacun de ces trois niveaux de connaissances.

Niveau de connaissance		Description du contenu des connaissances
1	Connaissances élémentaires	<i>Informations créées ou exploitées par les acteurs pour atteindre leurs objectifs, réutilisées par d'autres acteurs pour leurs propres objectifs ou pour assurer le suivi des activités.</i>
2	Connaissances de transformation	<i>Informations qui expliquent comment les informations précédentes ont été obtenues, soit en détaillant leur évolution, soit en précisant les mécanismes mathématiques, logiques ou procéduraux appliqués.</i>
3	Connaissances d'expertise	<i>Informations qui spécifient les méthodologies et les principes à suivre, pour résoudre un problème donné et conditionnant la mise en œuvre de connaissances de transformation.</i>

Tableau 17. Les 3 niveaux de connaissances dans l'activité de conduite de la conception, selon [Merlo 02].

4.1.2. Les compétences

Nous avons déjà eu l'occasion précédemment de préciser la notion de compétence⁶³. Nous apportons ici quelques notions complémentaires afin de pouvoir établir le lien entre les connaissances et les compétences dans le cadre de l'entreprise.

Pour [Vergnaud 02], qui propose une définition concise et claire⁶⁴, la compétence est « *la combinaison et la mise en œuvre de ses ressources [composées des savoirs, savoir-faire, savoir-être] pour atteindre un objectif dans un contexte donné* ». Hermosillo & al., reprenant la définition, apportent cette précision utile selon laquelle la compétence est conditionnée par la notion d'efficacité [Hermosillo 02].

⁶² Au sens dans lequel l'emploie [Grundstein 02], cf. § 4.2.2 p. 116.

⁶³ Cf. § 2.2.2.3-b, p. 90.

⁶⁴ D'après Boucher, X., Harzallah, M. (2001) « Intégration de la gestion des compétences dans le génie industriel : acquis et perspectives », 4th International Industrial Engineering Conference, Marseille.

Tout comme la connaissance, la compétence est liée à un cadre contextuel et ne peut être définie dans l'absolu.

Comme le note [Le Boterf 04], la compétence est tout autant un état, représentant la capacité d'un individu à mobiliser des ressources pour réaliser efficacement un objectif dans un contexte donné, qu'un processus, « *un lien reliant une combinaison de ressources, une action, une contribution à un résultat (service, produit) par un destinataire* ».

Les compétences, à l'instar des connaissances, possèdent deux dimensions, à la fois individuelles et collectives dans le cadre d'une organisation [Le Boterf 04].

Les diverses définitions des compétences montrent que les connaissances sont des éléments constitutifs des compétences, en ce sens que les connaissances sont mobilisées par les compétences [Le Boterf 02 ; Zarifian 02].

[Le Boterf 02] met en évidence un lien dynamique entre connaissances et compétences par l'intermédiaire de la gestion des connaissances. Il propose la relation dynamique suivante :

- La gestion des connaissances met à disposition les connaissances pour agir avec compétence.
- La gestion des compétences vient alimenter et renforcer la base des connaissances.

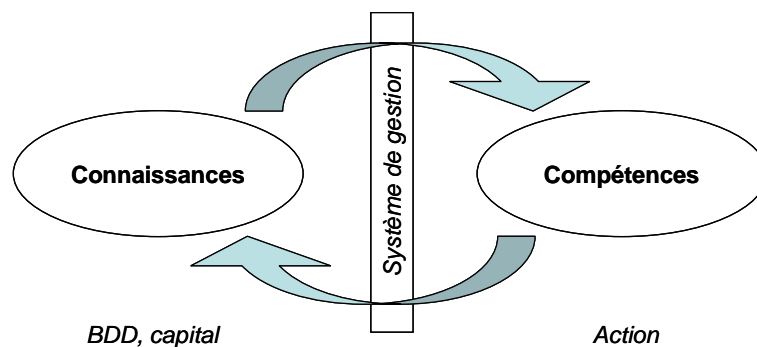


Figure 20. Relation dynamique entre connaissances et compétences, d'après [Le Boterf 02].

4.2. La création de connaissances

4.2.1. Le moteur de la création de connaissances

Nonaka & Takeushi proposent un modèle de la création de connaissances dans l'organisation, qui fait référence [Nonaka 97]. Leur modèle repose :

- d'une part, sur la distinction entre les deux types de connaissances, tacites et explicites,
- d'autre part, sur leur interaction structurellement inhérente. En effet, [Gray 01], s'appuyant sur les travaux de Nonaka & Takeushi et Polanyi⁶⁵, affirme que les deux types de connaissances tacites et explicites définies par ces auteurs ne peuvent être mutuellement exclusives, et que toute connaissance explicite est en partie construite sur une composante tacite.

⁶⁵ Nonaka, I., Takeushi, H. (1995), *The knowledge creating company*, Oxford Univ. Press, New York. (version originale de [Nonaka 97]), et Polanyi, M. (1966). *The tacit dimension*, Routledge and Kegan Paul, London.

Nonaka & Takeushi identifient, par ailleurs, quatre modes de conversion des connaissances, activés lors de l'interaction entre connaissances tacites et connaissances explicites, à la fois au niveau individuel et au niveau collectif [Nonaka 97]. Ces quatre modes constituent, selon eux, le moteur du processus global de création de connaissances :

- La socialisation
- L'extériorisation
- La combinaison
- L'intériorisation

Chacun de ces quatre modes est caractérisé en détail dans le tableau 18.

Mode de conversion des connaissances	Types de connaissance en jeu et sens de conversion	Description du mode	Moyens mis en oeuvre	Phénomène déclencheur
Socialisation	<i>tacites → tacites</i>	Du savoir tacite individuel au savoir tacite collectif . Dans cette notion il y a à la fois l'idée d'un transfert de compétence d'un individu à un autre ou à un groupe, mais également une modification de cette compétence dans le transfert grâce à l'interaction. L'apprentissage, l'intégration au sens courant de ce terme, correspond très concrètement à ce concept de socialisation .	- Partage sur le lieu de travail, apprentissage. - Interaction forte par proximité géographique.	Construction d'un champ d'interactions (pouvant prendre la forme, au tout début, d'un projet pilote).
Extériorisation	<i>tacites → explicites</i>	Du savoir tacite collectif au savoir explicite . Des pratiques considérées comme efficaces sont explicitées dans un discours formalisé (forcément dans une certaine limite). Les savoirs sont rendus conscients en les explicitant Cette étape se traduit par l'élaboration de modèles cognitifs communs , favorables à la coordination .	- Métaphores, concepts, hypothèses, modèles, analogies. - Discours formalisé.	Dialogue porteur de sens et réflexion collective.
Combinaison	<i>explicites → explicites</i>	Des savoirs explicites aux données existantes dans l'organisation (et à l'extérieur) en vue de la création de connaissances nouvelles . Agrégation en une vision systémique de connaissances explicites éparpillées.	Par le biais d'un langage commun et de mécanismes de communication variés, les connaissances explicites de certains individus sont rapprochées, combinées pour produire par induction, déduction des connaissances nouvelles : - Langage commun. - Notes d'information, cours,...	Mise en réseau : - de la nouvelle connaissance créée ; - des connaissances détenues dans d'autres parties de l'organisation.
Intériorisation	<i>explicites → tacites</i>	Du savoir explicite au savoir tacite à un niveau plus élevé (l'organisation apprenante). Intériorisation par l'individu. Par répétition on enracine la connaissance explicite dans des séquences pouvant atteindre le réflexe automatique en adaptant le schéma aux conditions spécifiques d'exécutions. Cette intériorisation s'accompagne de gains d'efficacité pour l'acteur. C'est une interprétation individualisée de compétences communes, préalablement codifiées . Cette étape inclut deux dimensions : une dimension de transmission qui suppose la codification et une dimension d'application qui nécessite une réinterprétation par la création de compétences utiles.	- Répétition d'expériences, mise en application dans des projets. Automatisation des pratiques. - Codification, procédures, indicateurs d'activité.	Apprentissage « en faisant ».

Tableau 18. Les 4 modes de conversion des connaissances d'après [Nonaka 97], et leur description d'après [Lopez02].

De même que les connaissances tacites et les connaissances explicites sont nécessairement en interaction, il en va de même en ce qui concerne les connaissances individuelles et les connaissances organisationnelles. Zhang & al. montrent, sur la base d'une enquête statistique, que le savoir organisationnel est fortement corrélé au savoir individuel des membres de l'organisation [Zhang 04]. Il précise que, stricto sensu, le savoir ne peut être créé que par des individus, le rôle de l'organisation étant de fournir le cadre contextuel et le support pour la création de connaissances. Pour Zhang & al., le savoir organisationnel est à la fois un processus, jouant le rôle d'amplificateur des savoirs individuels, mais aussi la structure qui cristallise les réseaux du savoir de l'organisation [Zhang 04].

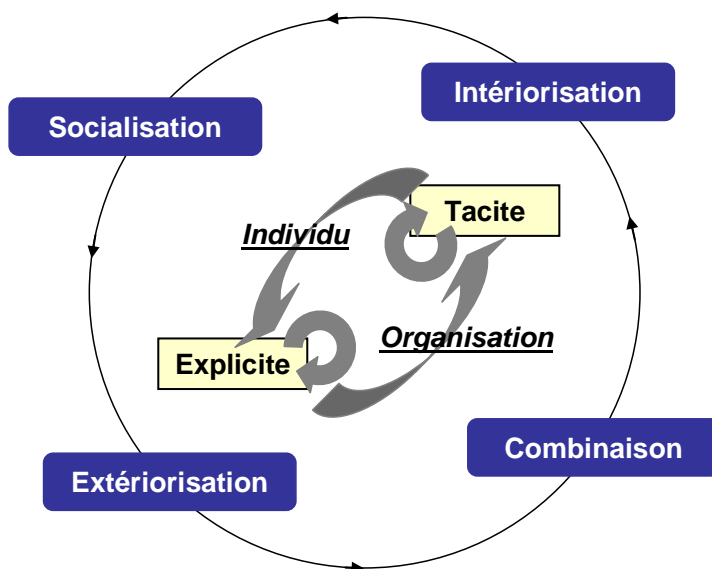


Figure 21. Le moteur de la création de connaissances, d'après [Nonaka 97].

La création des connaissances, tant au niveau individuel qu'au niveau organisationnel, est évidemment un processus dynamique, d'une part parce que les connaissances sont par nature contextuelles et que le contexte de l'organisation (ici l'entreprise) évolue perpétuellement, et d'autre part parce que la création de savoirs nouveaux repose notamment sur l'acquisition et l'accumulation de connaissances antérieures.

[Lopez 02] note que, dans le cadre d'une dynamique de la création de connaissances, c'est le mode d'intériorisation qui permet le passage à un niveau de savoir plus élevé. En effet, le mode d'intériorisation correspond, par une transformation d'une connaissance explicite en une connaissance tacite, à un état de savoir autorisant une utilisation automatique, presque inconsciente dans le sens où l'intériorisation dispense l'individu de se rappeler la règle, de connaissances de manière efficiente dans le cadre d'une activité de conception de l'entreprise. L'intériorisation s'obtient par répétition d'expériences, cette répétition conduisant in fine à un niveau de savoir supérieur. Ainsi, nous proposons, par le biais de la figure 22, une interprétation de l'évolution dynamique des connaissances dans l'organisation comme synthèse des analyses de [Nonaka 97 ; Lopez 02 ; Zhang 04].

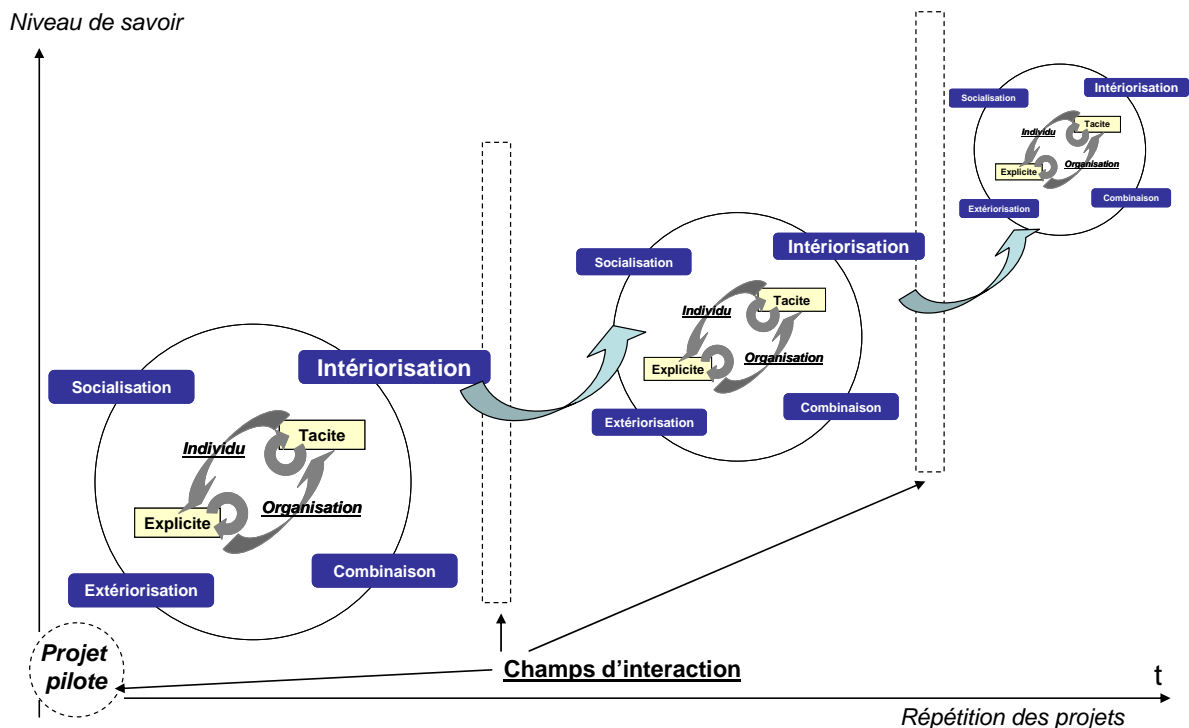


Figure 22. Représentation d'une évolution dynamique des connaissances dans l'organisation.

4.2.2. Pré-requis à la création de connaissances organisationnelles

Traitant en particulier des connaissances organisationnelles, [Grundstein 02], reprenant Tsuchiya⁶⁶, précise que la connaissance organisationnelle est créée au travers du dialogue. Selon lui, pour qu'il y ait création des connaissances organisationnelles, indispensables à la décision et l'action, il est nécessaire que les schémas d'interprétation de chacun des membres de l'organisation possèdent un minimum de représentation commune, qu'il appelle « *commensurabilité* ». Pour Tsuchiya, la commensurabilité est une condition nécessaire de l'interprétation contextuelle qui permet qu'une information devienne connaissance (cf. § 4.1.1 Les connaissances, p. 110).

Nous interprétons cette assertion en postulant que le dialogue (ou du moins la capacité au dialogue) au sein de l'organisation, ainsi que la commensurabilité, c'est-à-dire un langage minimum commun aux membres de l'organisation, sont des pré-requis à la création de connaissances organisationnelles.

4.3. L'apprentissage organisationnel

4.3.1. La notion d'apprentissage

Nous proposons, dans un premier temps, de préciser ce que recouvre la notion d'apprentissage, notamment l'apprentissage organisationnel, en particulier sous l'angle des connaissances et compétences et celui de la création de connaissances.

⁶⁶ Op. cit., note 26.

Pour [Nonaka 97], l'apprentissage est constitué par le développement des connaissances. Zhang & al. précisent cette assertion en affirmant que l'apprentissage est le développement de la création et de l'accumulation de connaissances à un niveau individuel et organisationnel [Zhang 04].

Pour Zhang & al., les connaissances sont à la fois en entrée (input) et en sortie (output) de l'apprentissage organisationnel [Zhang 04]. Ainsi, l'apprentissage organisationnel peut être vu comme un processus de transformation des connaissances visant à enrichir le savoir collectif.

[Le Boterf 04]⁶⁷ semble confirmer cette vision en affirmant que « *tout transfert [de compétences] est un apprentissage* ».

[Gray 01], quant à lui, affirme qu'une organisation a appris lorsqu'elle a expérimenté des changements dans ses pratiques.

La synthèse de ces trois points de vue, nous permet de proposer la vision suivante de l'apprentissage : l'apprentissage organisationnel est un processus de transformation et de transfert des connaissances (la transformation entre les connaissances tacites et explicites selon les modes définis par Nonaka & Takeushi étant nécessaire au transfert) réalisé lors de changements organisationnels effectués par l'entreprise.

La structure de l'apprentissage organisationnel peut être représentée d'après le modèle de Argyris & Schön [Argyris 00]. Ce modèle représente l'apprentissage organisationnel selon deux boucles distinctes d'apprentissage :

- La simple boucle, qui consiste à acquérir des savoirs et savoir-faire pour la résolution de problèmes spécifiques, dans un cadre contextuel déterminé par la vision de l'entreprise, l'adhésion à certains paradigmes, etc.
- La double boucle, qui consiste à acquérir et établir les bases d'un nouveau cadre contextuel (paradigmes, modèles, etc.).

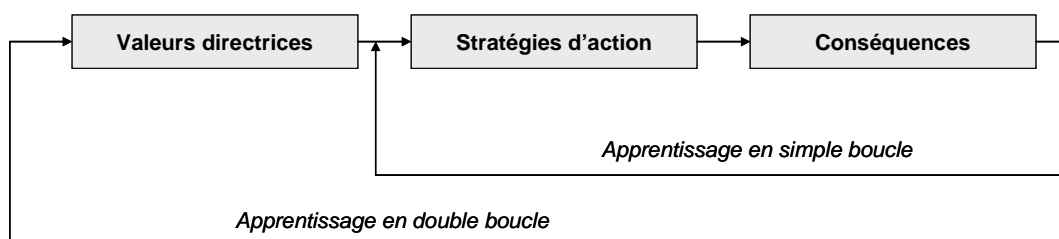


Figure 23. Les boucles de l'apprentissage organisationnel selon [Argyris 00]

Sur la base de cette représentation, [Argyris 00] affirme que modifier l'acte (les stratégies d'action) sans modifier les valeurs directrices (le « *programme maître* »), c'est aller à l'échec immédiat ou à court terme.

En effet, Argyris montre qu'il existe à tous les niveaux d'une organisation des « *routines défensives organisationnelles* » qu'il définit comme « *toute politique ou action qui évite aux individus, aux groupes, aux intergroupes et aux organisations de connaître l'embarras ou la menace et qui les empêche en même temps d'en identifier et d'en atténuer les causes* » [Argyris 00]. Pour lui, les routines défensives sont une des principales causes de l'inefficacité de l'apprentissage. Les routines défensives sont clairement une forme de résistance au changement.

C'est dans le but de lutter contre ces routines défensives, donc dans le but d'optimiser l'apprentissage, qu'Argyris préconise de modifier les valeurs directrices de l'organisation.

⁶⁷ Page 121.

Cela confirme, s'il en était besoin, que l'intégration de l'éco-conception, pouvant être assimilée à un apprentissage organisationnel, requiert un changement des valeurs directrices de l'entreprise, en conférant à la dimension « E » le statut de valeur.

4.3.2. Apprentissage et changement organisationnel

Nombre d'auteurs, parmi lesquels notamment [Legardeur 01 ; Jacqueson 02 ; Millet 03a ; Bassetti 02] établissent un lien entre, d'une part le processus d'intégration de nouvelles méthodes et le changement dans l'entreprise, et d'autre part le processus d'apprentissage.

Par ailleurs, [Crestani 05], réalisant une analyse bibliographique des travaux dans ce domaine abordés par les chercheurs en sciences humaines et sociales (SHS)⁶⁸, énonce que « *la notion d'apprentissage organisationnel [...] postule qu'en face d'une difficulté à laquelle une organisation ne sait pas faire face, soit une nouvelle procédure de traitement du problème est construite et mémorisée, soit la façon de travailler est revisitée, remise en cause et réorganisée. L'apprentissage organisationnel propose un modèle de compréhension du changement organisationnel qui repose sur l'intégration des apprentissages individuels dans le fonctionnement des organisations.* » Il ajoute que « *la notion d'apprentissage repose sur la combinatoire d'outils technologiques, financiers, stratégiques, mais avant tout sur le management des hommes dans l'organisation.* »

Cette rapide revue bibliographique établit sans ambiguïté le lien entre changement organisationnel et apprentissage organisationnel, ce qui va nous permettre de formuler la seconde problématique relative à l'intégration de l'éco-conception (cf. p. 120).

4.3.3. Le modèle intégré LAKC

Zhang & al. [Zhang 04], partant du constat qu'il existe, au sein de la communauté scientifique, deux courants distincts et néanmoins convergents, d'une part le courant de l'apprentissage organisationnel représenté, notamment, par la vision de Argyris & Schön [Argyris 00], et d'autre part le courant de la création et la gestion des connaissances représenté par les travaux de Nonaka & Takeushi [Nonaka 97], proposent un modèle intégrant ces deux courants en un.

Il s'agit d'un modèle d'apprentissage et de création de connaissances dans le cadre de la conception de nouveaux produits. Zhang & al. précisent que leur modèle LAKC⁶⁹ doit pouvoir servir à évaluer dans quelle mesure une organisation apprend et accumule des connaissances lors du développement de nouveaux produits [Zhang 04].

Sur la base des quatre modes du modèle de Nonaka & Takeushi [Nonaka 97], Zhang & al. définissent également quatre modes, mais, dans l'optique de pouvoir mesurer l'apprentissage, ils proposent des critères propres à chacun des modes dont ils montrent, par enquête statistique, qu'ils ont une importance corrélative certaine sur la réalisation de ces modes.

Leur modèle global est représenté par la figure 24, et les quatre modes avec leurs critères respectifs sont répertoriés dans le tableau 19.

⁶⁸ Il cite notamment :

- H. Simon (1982) « A behavioral model of rational choice », in Models of bounded rationality. Behavioral Economics and Business Organization, vol. 2, pp239-258, Cambridge, MIT Press.
- C. Argyris, D.A. Schön (1978) " Organizational learning : a theory of action perspective", Addison-Wesley Publishing Company.

⁶⁹ Learning And Knowledge Creation.

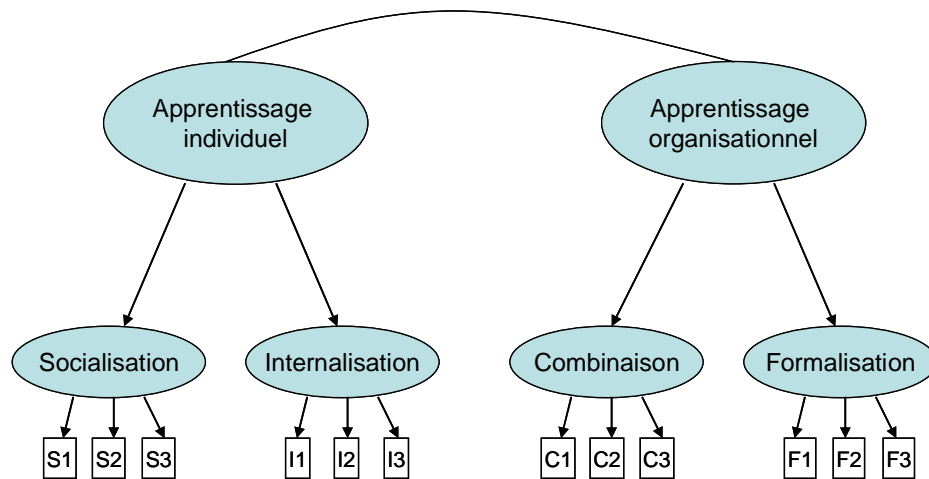


Figure 24. Modèle LAKC [Zhang 04] : un cadre pour mesurer l'apprentissage lors des projets de développement de produits.

Modèle LAKC		
Modes de conversion	Critères propres aux modes	
Socialisation	S1	Les membres de l'équipe apprennent les uns des autres par observation, imitation, pratique.
	S2	Les membres de l'équipe reçoivent une formation dans le cadre de leur travail au sein d'une équipe projet.
	S3	Réunions informelles pour approfondir des points spécifiques pour la résolution de problèmes particuliers.
Intériorisation	I1	Chaque membre de l'équipe apprend « en faisant » pour améliorer son savoir-faire.
	I2	Les membres de l'équipe apprennent à partir de documents, manuels, ou anecdotes orales pour enrichir leur savoir.
	I3	La plupart des solutions aux problèmes sont accessibles dans des documents, bases de données (en ligne) capitalisées d'après les projets précédents.
Combinaison	C1	Les équipes projet échangent et combinent leurs savoirs au travers de documents, réunions, et réseau informatique.
	C2	Les succès et échecs des expériences (innovantes) réalisées sont synthétisés dans le but de faire partager l'expérience.
	C3	Les expériences des différents projets sont intégrées dans une base de données.
Formalisation	F1	Des procédures écrites explicitent les séquences et les phases de développement des projets.
	F2	Les procédures et expériences sont écrites pour servir de support de formation.
	F3	Les documents de synthèse des expériences concernant les projets précédents sont consultés avant tout démarrage de nouveau projet.

Tableau 19. Modes et critères du modèle LAKC [Zhang 04].

4.4. Enoncé de la deuxième problématique

La discussion réalisée dans la partie 3⁷⁰ met en évidence que l'intégration de l'éco-conception implique nécessairement un changement organisationnel car elle touche l'ensemble des composantes et la structure même de l'organisation. D'autre part, l'analyse réalisée sur la notion de changement organisationnel et sur la problématique de la conduite du changement montre que le changement comporte des risques d'échecs inhérents, notamment, aux facteurs humains.

La problématique de l'intégration de l'éco-conception rejoint donc celle de l'évolution des organisations et de la gestion du changement. Afin d'optimiser ses chances de succès, la démarche d'intégration de l'éco-conception dans les PME doit donc intégrer la problématique du changement organisationnel et des risques qui en découlent.

Ainsi définissons nous, ci-dessous, la problématique 2. La problématique 1, concernant le problème de l'expertise requise pour l'utilisation des outils d'évaluation environnementale, s'intègre dans cette problématique 2, plus générale.

PROBLEMATIQUE 2 :

Les démarches d'intégration de l'éco-conception n'ont pas, jusqu'à présent, considéré les problèmes de gestion du changement dans l'entreprise inhérents à l'intégration d'une contrainte par nature complexe et transverse.

Or, l'intégration de l'éco-conception requiert un changement organisationnel de l'entreprise, et ce changement est soumis à des risques d'échec.

Toute démarche d'intégration de l'éco-conception doit donc s'inscrire dans une démarche de gestion du changement en considérant les aspects organisationnels impliqués par la conception environnementale des produits.

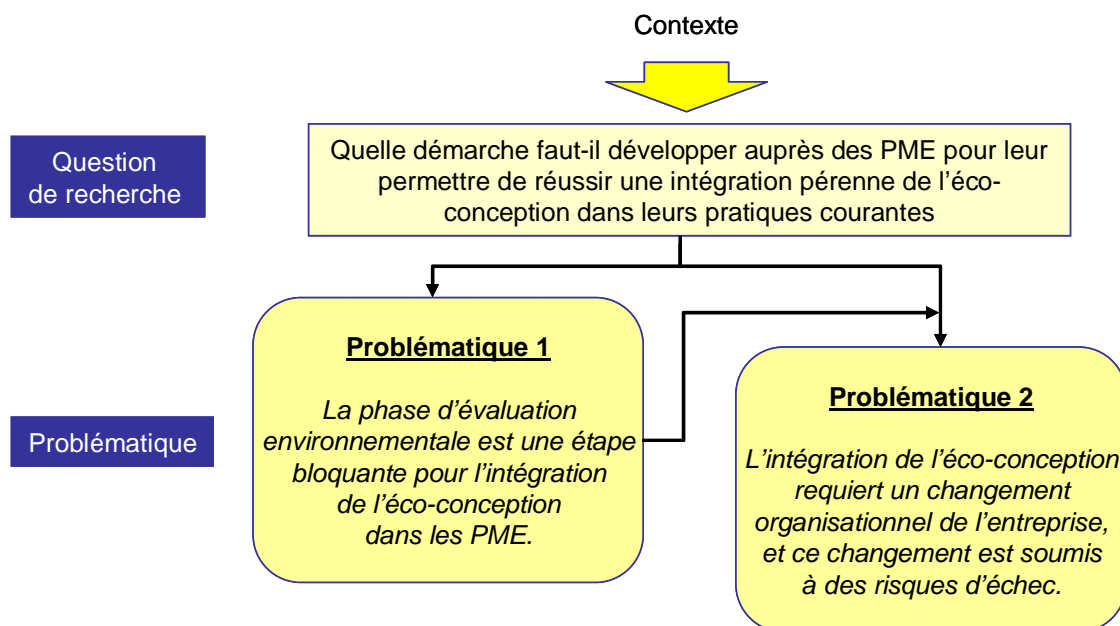


Figure 25. Synoptique de l'analyse de la question de recherche.

⁷⁰ Un nécessaire changement organisationnel, p. 96 et s.

CHAPITRE 3

Proposition d'une méthode d'intégration de l'éco-conception dans les PME

Le chapitre 2, en procédant à l'analyse de la question de recherche, à savoir quelle démarche développer auprès des PME pour leur permettre de réussir une intégration pérenne de l'éco-conception dans leurs pratiques courantes, a permis de mettre en évidence deux sous-problématiques distinctes, déclinées de la problématique générale :

- La problématique de l'expertise requise pour l'utilisation des outils d'éco-conception, et tout particulièrement les outils d'évaluation environnementale, indispensables pour la réalisation des projets.
- La problématique du processus d'intégration dans l'organisation qui, l'intégration pouvant être assimilée à un changement, requiert une approche sous l'angle du changement organisationnel. La prise en compte de la problématique du changement organisationnel dans le processus d'intégration de l'éco-conception doit ainsi permettre de minimiser les risques d'échec inhérents, d'autant plus importants qu'il s'agit de l'intégration d'une dimension nouvelle (la dimension « E »).

Dans cette partie, nous exposerons, dans un premier temps, les hypothèses que nous formulons en regard des problématiques 1 et 2. Dans un deuxième temps, nous exposerons les modèles que nous avons développés pour répondre à la problématique générale de l'intégration de l'éco-conception dans les PME, et ainsi proposer une solution à la question de recherche.

La figure 41 page 163 illustre, par un synoptique, la démarche de recherche que nous avons adoptée.

1. HYPOTHESES ET MODELES

1.1. La phase bloquante de l'évaluation environnementale

Notre analyse de la problématique globale nous a permis de mettre en évidence le fait que la phase d'évaluation environnementale des produits dans le processus d'éco-conception est une phase bloquante pour les PME, en raison de la nécessité de l'intervention d'un expert.

La problématique à laquelle nous sommes confrontés est de mettre à disposition de non experts en évaluation environnementale (les ingénieurs destinés à accompagner l'entreprise dans sa démarche d'intégration), un outil fiable qui puisse déterminer les voies d'amélioration environnementale pertinentes du produit sans procéder à une évaluation environnementale (au sens ACV) du cycle de vie du produit.

1.1.1. Proposition d'une approche différente

Nous pensons qu'il est possible de considérer l'approche de la conception environnementale des produits différemment, et qu'il n'est pas forcément nécessaire d'engager le processus par une évaluation environnementale du produit.

Dans le cadre d'une approche selon une vision « industrielle » guidée par des contraintes de temps et de moyens disponibles, et afin de limiter le champ d'investigation, nous pensons qu'il est plus judicieux de se focaliser d'emblée sur des axes prioritaires définis par défaut par le champ des contraintes du couple produit-entreprise, plutôt que de procéder à une analyse exhaustive de la qualité environnementale du produit dont le but est d'explorer ses potentialités d'amélioration sur l'ensemble de son cycle de vie.

Par expérience, nous savons que souvent une évaluation environnementale approfondie (ACV ou ACV simplifiée) requérant des moyens conséquents, tant pour l'entreprise, en terme de collecte de données environnementales, que pour l'expert en terme de moyens mis à disposition, conduit à des résultats qui peuvent remettre en cause l'intérêt même de l'évaluation environnementale réalisée car :

- soit les résultats sont « évidents » : l'expert sait, avant même d'avoir réalisé l'évaluation, quels sont les problèmes environnementaux posés par le produit. Parfois même, l'industriel lui-même « sait sans savoir »¹. Dans ce cas, l'ACV, en quantifiant des indicateurs d'impacts environnementaux, a néanmoins l'avantage de confirmer des résultats dont on sait qu'ils sont valables « en général » et de valider les connaissances de l'expert (donc de renforcer l'expertise) ;
- soit les résultats sont techniquement ou économiquement inexploitable par l'industriel.

¹ C'est-à-dire que l'industriel est « conscient » du problème mais ne l'avait jamais explicité en des termes environnementaux. Un autre problème se pose ici, celui du dilemme entre l'intérêt d'un outil (« à quoi sert d'investir dans une méthode coûteuse si c'est pour me donner des résultats que je connais déjà ? ») et la crédibilité scientifique apportée par cet outil. C'est ce que mettent notamment en évidence Charter & al [Charter 02] lorsqu'ils montrent que les industriels japonais « abusent » de l'usage de l'ACV uniquement par le jeu de la foi et de la confiance, parfois irraisonnée, qu'ils placent dans les méthodes quantitatives et logicielles. Pour notre problématique, cette question n'est pas forcément anodine, car se pose alors la question de la confiance que peut apporter un industriel à des résultats qui ne seraient pas issus d'une méthode quantitative logicielle, mais qui néanmoins peuvent être tout autant (si ce n'est plus) pertinents.

Ainsi, la démarche qui consiste, dans un premier temps à restreindre le champ d'analyse au périmètre défini par le champ des contraintes du couple produit-entreprise, puis dans un second temps à explorer les potentialités d'amélioration environnementale à l'intérieur de ce champ restreint, apparaît comme plus efficiente², car plus économe en terme de moyens requis.

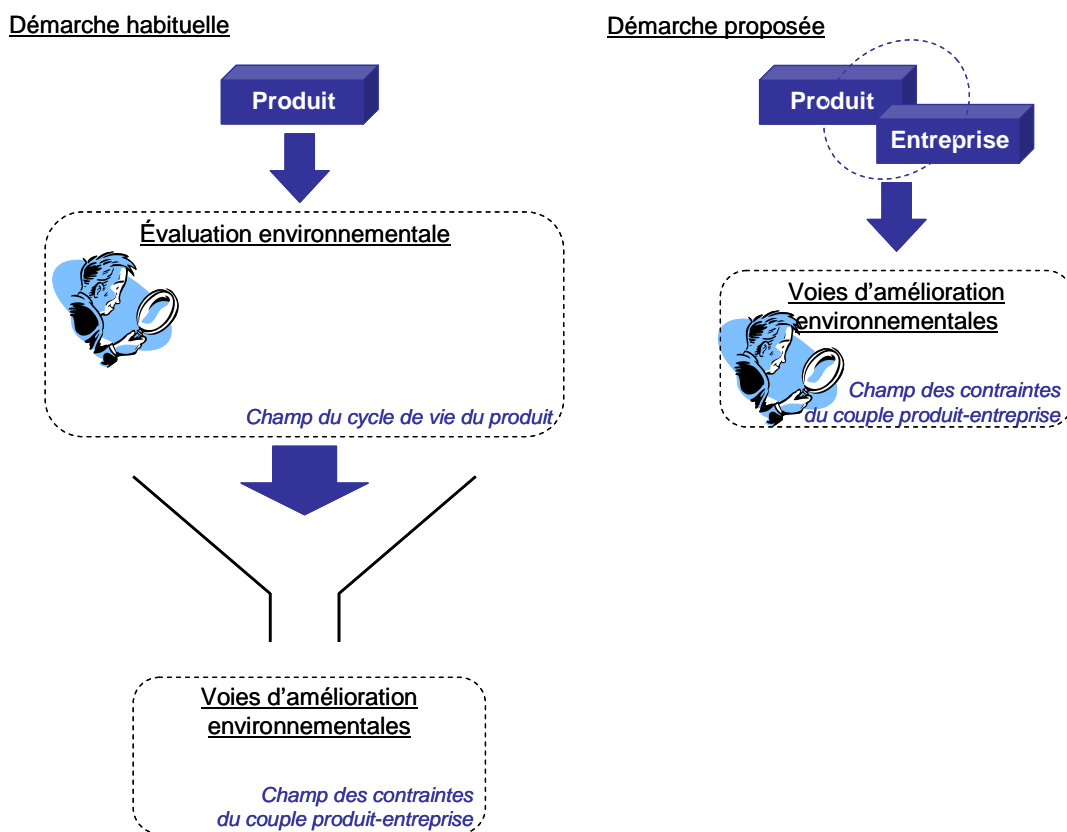


Figure 26. Approche simplifiée de la démarche d'éco-conception par restriction du champ d'investigation.

Le nouveau problème qui se pose, dans le cadre de cette approche, est celui de l'identification et de la hiérarchisation des voies d'amélioration environnementales directement au sein du champ des contraintes du couple produit-entreprise, sans réaliser d'évaluation environnementale globale du produit (au sens ACV).

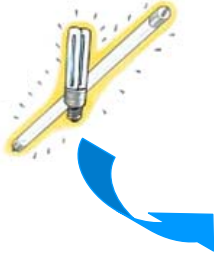

La réflexion à la solution de ce problème nous conduit « naturellement » à un raisonnement par analogie avec le développement des éco-labels européens³. La démarche pour le développement d'un éco-label suit un schéma invariant, quel que soit le produit considéré :

² Cette approche « pragmatique », du point de vue de l'entreprise, grève il est vrai les possibilités d'innovation pour le produit car elle restreint le champ d'exploration des solutions. Pour fâcheux que cela soit, il faut rappeler que nous positionnons résolument notre recherche dans un contexte industriel de diffusion massive de l'éco-conception dans les PME, et que l'innovation, au sens plein du terme, ne concerne qu'un faible pourcentage des produits et des PME.

³ Le schéma de développement des ecolabels étant identique au niveau français (marque « NF environnement ») et au niveau de l'UE (marque « UE eco-label »), nous prendrons comme référence à titre d'exemple les ecolabels européens.

- Un produit, jugé représentatif de l'ensemble du type des produits présents sur le marché, est modélisé.
- L'évaluation environnementale (généralement par la méthode ACV) de ce produit modèle est réalisée afin de déterminer :
 - d'une part, les impacts environnementaux prépondérants du cycle de vie du produit,
 - d'autre part, les aspects environnementaux et fonctions ou critères du produit responsables de ces impacts environnementaux.
- Une « cartographie », sous forme d'un profil des aspects environnementaux par phase du cycle de vie, relatifs aux critères du produit modèle, est alors réalisée.
- L'ensemble des produits appartenant au type du produit modèle peut alors être assimilé, a priori, d'un point de vue environnemental, à ce produit modèle.

La figure 27 donne, à titre d'illustration, le profil matriciel des aspects environnementaux pour deux types de produits, une ampoule électrique et du papier à copier. Du point de vue de l'éco-label, toutes les ampoules (et respectivement toutes les sortes de papier à copier) rentrent a priori dans le cadre de ces profils, et donc le profil environnemental de n'importe quelle ampoule (respectivement papier à copier) est alors connu a priori, sans recourir à l'exercice de l'évaluation environnementale, les critères environnementaux étant déterminés et les valeurs à respecter pour ces critères étant fixées⁴.

Phases du cycle de vie	Matériaux	Production	Utilisation	Fin de vie	Transport
Critères produit	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux recyclés (prod + emb) • Substances nocives 		<ul style="list-style-type: none"> • Économie d'énergie • Mode d'usage (info) 	<ul style="list-style-type: none"> • Substances dangereuses (Hg) • Durabilité 	

Phases du cycle de vie	Matériaux	Production	Utilisation	Fin de vie	Transport
Critères produit	<ul style="list-style-type: none"> • Origine des fibres 	<ul style="list-style-type: none"> • Économie d'énergie • Pollution eau et air • Substances dangereuses • Déchets 	<ul style="list-style-type: none"> • Mode d'usage (info) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mode d'élimination (info) 	

Figure 27. Exemples de critères produits fixés par les éco-labels UE pour les ampoules électriques et le papier à copier. Source : <http://europa.eu.int/ecolabel>

⁴ Même si se pose alors le problème (prévu) de l'actualisation des critères et valeurs des critères typologiques dans le temps.

1.1.2. L'hypothèse de l'analyse typologique

Pour notre problématique, le raisonnement par analogie avec celui développé pour les éco-labels semble séduisant. Selon ce raisonnement, il suffirait ainsi d'associer le produit étudié à son produit modèle pour obtenir immédiatement son profil des aspects environnementaux. Nous développons ainsi le raisonnement de ce que nous appelons l'analyse typologique qui repose sur le principe simple suivant (cf. figure 28) :

1 type de produit \Rightarrow 1 type de profil environnemental.

Nous formulons, sur la base de ce raisonnement, notre première hypothèse.

HYPOTHESE 1 :

Nous postulons qu'il est possible, sur la base du principe de l'analyse typologique des produits, de réaliser une analyse environnementale simplifiée conduisant néanmoins à des propositions d'améliorations fiables et pertinentes pour le produit.

1.2. ATEP, un « outil expert » d'analyse environnementale

Nous avons ainsi développé sur la base de ce postulat, et afin de répondre à la première problématique, un outil d'analyse typologique environnementale des produits, l'outil ATEP⁵ [Le Pochat 05a ; Le Pochat 05b]. ATEP est un algorithme reposant sur le principe d'une analyse typologique des produits et qui hiérarchise l'importance des aspects environnementaux en fonction des critères du produit.

1.2.1. Principe de l'analyse typologique

1.2.1.1. Définition et principe

Le dictionnaire Flammarion⁶ donne la définition suivante de la typologie : « *Toute étude tendant à constituer son objet en un ensemble de caractères distinctifs* ». Pour [Livian 01], la typologie est « *une classification en fonction de distinctions a priori* », par opposition à la taxonomie qui serait « *une classification résultant d'études empiriques* ». Le Grand Dictionnaire Terminologique⁷ précise que, dans le domaine de la géographie, la typologie est une « *méthode qui a pour objet de regrouper en types principaux les individus d'une population* », tandis que dans le domaine de la psychologie, c'est la « *classification systématique des individus selon certaines de leurs caractéristiques physiques ou comportementales* » supposant le « *regroupement d'individus ayant, sur un ensemble de critères, des attitudes, des comportements... aussi homogènes que possible* ».

⁵ Dans les publications en langue anglaise que nous avons faites, l'outil ATEP est référencé sous le nom de TEA (Typological Environmental Analysis).

⁶ Flammarion, Dictionnaire usuel illustré, Librairies Flammarion et Quillet, 1983.

⁷ www.granddictionnaire.com

Enfin, le Petit Robert⁸ précise que la typologie est « *la science de l'élaboration des types, facilitant l'analyse d'une réalité complexe et la classification* ».

De ces définitions, nous retiendrons que la typologie est à la fois un domaine (étude, science), une action (action de classer), et le résultat produit par cette action (la classification, le regroupement). Cette remarque, associée à la précision de [Livian 01] (*une classification en fonction de distinctions a priori*), montre qu'une typologie est un processus itératif reposant sur le principe de l'amélioration continue⁹.

Nous proposons donc une définition globale de la typologie appliquée à notre champ d'étude, en distinguant, d'une part la typologie de produits, et d'autre part l'analyse typologique :

- La typologie de produits est l'étude qui consiste à constituer des ensembles homogènes selon des caractéristiques et des critères propres aux produits, par le regroupement et le classement de ces produits.
- L'analyse typologique est l'utilisation de la typologie à des fins d'analyse (ici analyse environnementale).

Notre objectif est d'utiliser les typologies de produits pour asseoir l'analyse environnementale. Ce choix méthodologique s'inspire, notamment, de [Livian 01]¹⁰ pour qui les typologies correspondent à un objectif d'analyse. S'interrogeant sur les différentes façons dont on peut se servir des typologies, il précise que les typologies permettent, entre autres, de :

- s'intéresser aux critères qui ont fondé la typologie, et de tenter de les retrouver dans le cas concret à étudier,
- s'interroger sur les difficultés et limites de chaque configuration, et s'en servir comme pistes de diagnostic. Dans ce cas la typologie sert ici, comme en médecine, d'accélérateur de diagnostic, et donc de recherche de traitement possible.

Ainsi, le principe sur lequel nous construisons notre outil d'analyse est celui de l'analyse typologique. L'idée de l'analyse typologique environnementale des produits est de considérer qu'à un type de produit particulier correspond un profil d'impacts environnementaux particulier.

⁸ Le Petit Robert Grand Format, nouvelle édition 1996.

⁹ Cette remarque que nous faisons sur le processus d'amélioration continue, auquel est soumis par principe la typologie, sera reprise par la suite comme élément de justification.

¹⁰ Son champ d'étude particulier est celui des organisations. Toutefois, nous reprenons à notre compte certaines de ses remarques qui s'appliquent parfaitement dans le cadre de notre champ d'étude.

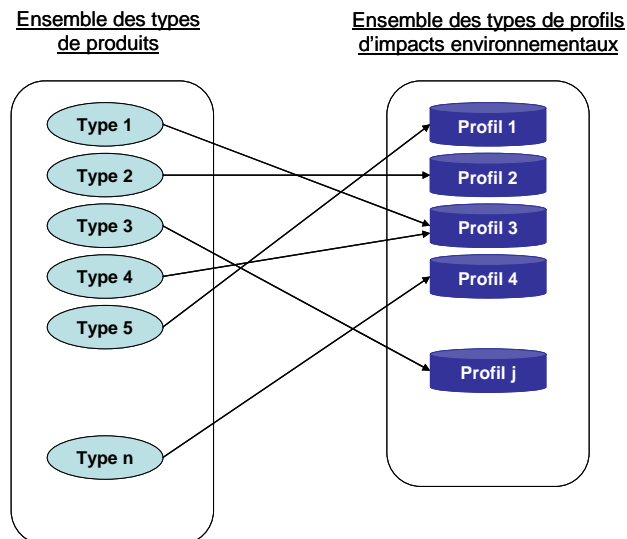


Figure 28. Principe de l'analyse typologique

1.2.1.2. Difficulté de l'analyse typologique

Mais cette approche, tout comme celle de la normalisation écologique des produits dont s'inspire notre raisonnement par analogie, est grevée par la lourdeur inhérente de la démarche, qui requiert en théorie la réalisation d'une ACV pour chaque produit modèle. Or, le nombre potentiel de produits modèles est extrêmement important, en raison du contexte dans lequel nous nous plaçons. En effet, dans les PME dont beaucoup sont sous-traitantes, les produits concernés peuvent être aussi bien des produits finis, que des pièces ou des composants.

A l'heure actuelle, les éco-labels européens couvrent 27 types de produits et services de grande consommation, répartis en sept catégories¹¹. Ils ne couvrent donc qu'une faible proportion des produits potentiels.

Kaebnick & Soriano proposent une approche « scientifique » intéressante pour établir une typologie des caractéristiques environnementales des produits, en utilisant la méthode des groupements hiérarchiques qui établit des dendrogrammes [Kaebnick 00]. Là encore la difficulté est que cette démarche suppose d'avoir procédé au préalable à une évaluation environnementale, même simplifiée, des produits.

La typologie des produits étant matériellement très difficile à établir¹², en tout état de cause dans le délai temporel imparti pour la thèse, nous retenons alors la suggestion de [Livian 01] de « *s'intéresser aux critères qui ont fondé la typologie, et de tenter de les retrouver dans le cas concret à étudier* ». Il s'agit, dans notre cas, des critères caractérisant les produits d'un point de vue environnemental, c'est-à-dire des paramètres et fonctionnalités du cycle de vie du produit qui, seuls ou combinés à d'autres, ont une incidence causale sur un ou plusieurs des impacts environnementaux. Ainsi, dans un premier temps, il ne s'agit plus à proprement parler de construire une typologie de produits, mais plutôt une typologie des critères de produits, critères ayant une relation cause-effet sur les impacts

¹¹ Produits de nettoyage, appareils et équipements des ménages, produits en papier, produits d'intérieur et de jardin, habillement, tourisme, et lubrifiants (<http://europa.eu.int/ecolabel>).

¹² A tel point que l'UE travaille, sur le sujet des ecolabels, à la recherche de méthodologies simplifiées permettant de généraliser la démarche à un nombre représentatif de produits.

environnementaux du cycle de vie du produit. L'analyse typologique repose alors sur l'analyse des combinaisons de critères de produits.

La démarche d'identification de critères de produits pertinents peut théoriquement faire appel à des méthodes d'analyse statistique, comme des méthodes de groupement (méthode CART – Classification and Regression Trees – utilisée notamment par [Rose 00] pour l'identification des critères relatifs à la fin de vie des produits) ou la méthode d'analyse en composantes principales (ACP) utilisée par [LopezOntiveros 04] pour l'identification des critères relatifs à la remanufacturabilité des produits. Ces études basées sur des raisonnements à partir de cas (RàPC) sont rendues possibles par la limitation du champ de l'étude à une partie restreinte du cycle de vie (fin de vie des produits pour [Rose 00], voire à aspect spécifique de la fin de vie (la remanufacturabilité pour [LopezOntiveros 04]).

L'approche globale que nous proposons concernant tout type de produit rend problématique l'identification des critères de produits, a priori non connus, par une méthode basée sur un raisonnement à partir de cas. L'analyse typologique, portant sur un nombre de produits, et plus encore un nombre de critères, difficilement commensurables, nous retenons le principe d'une identification des critères par une approche empirique et heuristique basée sur l'expertise (donc notamment sur des études de cas et sur des analyses bibliographiques). Ainsi, le cadre de l'analyse typologique que nous proposons ici ne prétend pas à l'exhaustivité ni à la complétude, mais il fournit les principes directeurs de l'analyse. L'analyse a pour vocation d'être continuellement enrichie, au fur et à mesure des retours d'expériences, selon le principe de l'amélioration continue.

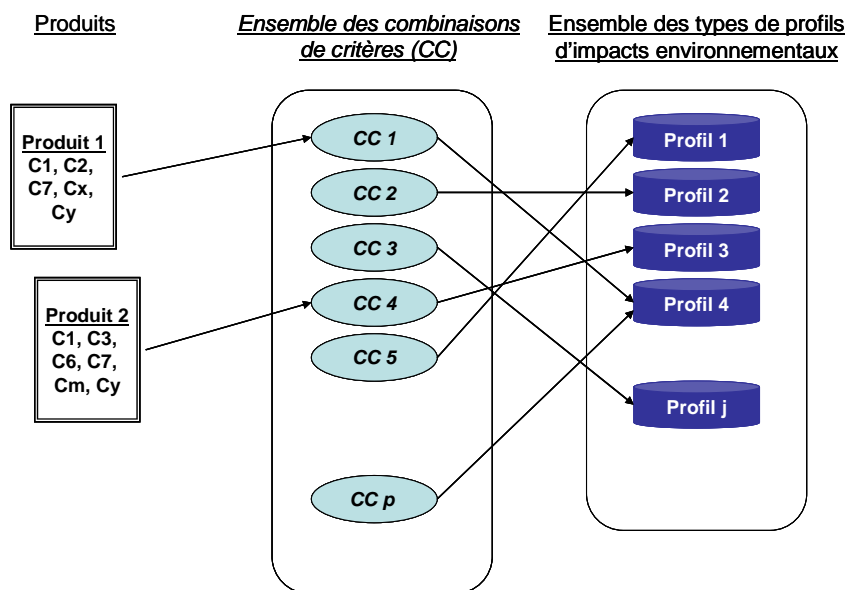


Figure 29. Analyse environnementale typologique basée sur les critères des produits.

1.2.2. Développement de l'outil ATEP

Nous décrivons dans cette partie les éléments et la structure de l'outil ATEP développé pour la réalisation des principes de l'analyse typologique énoncés précédemment.

1.2.2.1. Synthèse des éléments du « cahier des charges »

Les analyses respectives du contexte (chapitre 1) et de la problématique (chapitre 2) permettent de définir le « cahier des charges » de l'outil d'analyse environnementale simplifiée dont nous avons fait l'hypothèse. Ce « cahier des charges » correspond, au-delà des exigences évidentes de fiabilité et de pertinence, aux fonctionnalités minimales requises de l'outil d'évaluation, au regard des problèmes soulevés dans les chapitres 1 et 2.

Nous définissons le cahier des charges de notre outil de la manière suivante :

- **Rapidité** : le temps requis pour l'utilisation de l'outil doit être optimisé.
- **Accessibilité** : l'outil doit être à l'usage de non experts en analyse environnementale. Il doit, notamment, pouvoir être pris en main par des accompagnateurs potentiels, initiés aux méthodes environnementales dans un contexte industriel, sans être pour autant des experts.
- **Participation** : l'outil doit être participatif, c'est-à-dire basé sur le principe de la participation du groupe projet à la mise en œuvre de l'outil, car c'est la participation qui va engendrer l'apprentissage.

a) Rapidité de mise en œuvre

Le problème des moyens limités des PME, problème bien connu et discuté notamment dans le chapitre 1, est un problème crucial auquel nous devons répondre. Ce constat entraîne une exigence incontournable pour l'outil d'analyse, celle de sa rapidité de mise en œuvre. L'outil doit ainsi être le plus rapide possible à utiliser, que ce soit par une personne externe à l'entreprise ou par une personne interne. La rapidité de mise en œuvre porte sur les trois phases successives du processus d'utilisation de l'outil :

- La collecte des données en entrée, permettant de réaliser l'analyse environnementale. La recherche et la collecte de données en entrée est généralement la plus consommatrice de temps. L'exigence de rapidité impose donc de limiter, dans un premier temps, la recherche de données environnementales aux données facilement accessibles à l'entreprise ou celles dont elle dispose déjà.
- L'utilisation de l'outil proprement dite.
- L'interprétation des résultats en sortie.

b) Accompagnateur non expert

Nécessité de l'accompagnement

L'intégration de l'éco-conception dans les PME passe nécessairement par l'intervention d'une personne extérieure à l'entreprise qui réalise un accompagnement sur un projet pilote. Si évidente qu'elle puisse paraître, cette phase d'accompagnement se justifie aisément par les deux remarques suivantes, mises en avant dans le contexte :

- Les PME, en partant d'une situation de découverte de la problématique, ne peuvent pas disposer en interne des compétences requises pour mener à bien un projet d'éco-conception. Elles doivent nécessairement, dans un premier temps, faire appel à des ressources humaines extérieures.
- D'autre part, face aux lacunes culturelles environnementales existantes (mises en évidence dans le chapitre 2), il est nécessaire, dans une première approche du problème, de disposer de l'accompagnement qui va permettre, par un processus de formation, de combler le gap culturel.

□ **Expertise requise minimale**

L'outil d'analyse environnementale doit être un outil à usage de personnes non expertes. Si l'on se réfère à l'échelle de l'expertise définie par [Clermont 02]¹³ et aux attributions correspondantes en terme de compétences, l'objectif de l'outil d'analyse environnementale que nous proposons est d'être un outil à usage des spécialistes (niveau 1).

La première raison à cela s'inscrit tout simplement dans le contexte de la dissémination de l'éco-conception dans les PME. Face aux enjeux que représente l'éco-conception pour l'industrie, l'objectif est bien une dissémination de l'éco-conception la plus étendue possible dans le monde industriel. Or, cette dissémination devant se faire par le biais d'une phase d'accompagnement, il est évident que le degré de dissémination sera directement proportionnel au nombre potentiel de personnes compétentes pour mener à bien la phase d'accompagnement. Ce nombre, que l'on peut estimer au maximum à quelques dizaines en France, est actuellement insuffisant. L'objectif d'une dissémination massive passe par une capacité d'accompagnement des PME étendue, et donc par un accompagnement rendu possible par des non experts.

La seconde raison tient au fait que les personnes les mieux placées pour réaliser la phase d'accompagnement sur un projet pilote sont sans doute les ingénieurs des centres techniques spécialisés dans les métiers des entreprises qu'ils accompagnent. Or, même si cela peut arriver, il n'est pas dans les prérogatives de ces ingénieurs d'être des experts en éco-conception. Il suffit qu'ils possèdent les compétences du niveau 1 de l'échelle d'expertise de [Clermont 02] :

- Posséder une connaissance suffisante de l'éco-conception.
- Contribuer au développement de solutions techniques (d'où l'importance d'être avant tout un spécialiste métier).
- Etre capable de transmettre ses connaissances et son savoir-faire en éco-conception.

Enfin, la troisième et dernière raison est, qu'au terme du projet pilote, il faut envisager que l'entreprise puisse utiliser l'outil d'analyse de manière autonome. Pour cela, l'outil ne peut pas être un outil d'expert, car il n'est pas possible que l'entreprise acquière l'expertise nécessaire dans le temps imparti d'un projet pilote. Les compétences pour l'utilisation de l'outil doivent potentiellement pouvoir être acquises durant la phase d'accompagnement.

c) Participatif donc accessible

L'objectif de l'intégration est l'appropriation par l'entreprise de sa propre démarche d'éco-conception. Or, l'analyse que nous avons pu faire concernant les processus d'apprentissage et de création de connaissances montre que les processus d'apprentissage par transfert de connaissances sont basés sur l'expérimentation et la mise en application concrète.

Ainsi, l'outil doit reposer sur le principe d'un mode collectif d'utilisation en groupe de travail. Cette exigence suppose toutefois que l'outil soit accessible, au-delà de l'accompagnateur, à chacun des membres du groupe projet. Cette prise en main de l'outil par l'ensemble suppose que le vocabulaire et les principes utilisés soient accessibles à chacun. Le gap culturel ne doit pas être une barrière à l'utilisation de l'outil, il doit pouvoir être franchi avec l'aide de l'accompagnateur.

1.2.2.2. Champ de l'analyse environnementale

L'analyse réalisée par ATEP porte sur deux volets :

- L'analyse de la réglementation environnementale applicable au produit.

¹³ Cf. tableau 14 p. 92.

- L'analyse des impacts environnementaux du cycle de vie du produit (analyse environnementale stricte).

ATEP combine ces deux analyses en une analyse environnementale globale.

L'analyse des impacts environnementaux porte sur ce que nous avons appelé, par convention, les aspects environnementaux¹⁴. Ces aspects environnementaux sont au nombre de sept, et correspondent aux cinq phases du cycle de vie environnemental d'un produit :

- Matières premières (MP)
- Fabrication (F)
- Utilisation (U)
- Aspect recyclabilité de la fin de vie (FV-R)
- Aspect substances dangereuses de la fin de vie (FV-S)
- Transports (T)
- Emballages (Emb)

1.2.2.3. Hiérarchisation versus évaluation

L'analyse environnementale réalisée par ATEP propose une hiérarchisation de l'importance des sept aspects environnementaux que nous avons définis. En ce sens, les résultats expriment l'importance relative de chacun des aspects les uns par rapport aux autres, selon la relation d'ordre « est plus important que » et sa réciproque « est moins important que ». Ils n'expriment en aucun cas un résultat absolu, comme peut l'être le résultat d'une évaluation environnementale quantitative (ACV par exemple).

En effet, pour satisfaire à l'exigence du cahier des charges de la méthode portant sur la rapidité de mise en œuvre de l'outil, nous avons retenu le principe d'une analyse qui, ne pouvant être entièrement qualitative, est néanmoins semi-quantitative. Ce choix d'une analyse semi-quantitative est dicté par le constat que la phase la plus consommatrice de temps dans l'évaluation environnementale est la phase de recherche et d'acquisition de données quantifiées. La nécessité d'avoir un outil rapide à utiliser nous impose donc, de facto, de nous passer, dans la mesure du possible, de données quantifiées, et notamment des données dont l'entreprise ne dispose pas directement ou facilement.

Les résultats de la hiérarchisation des aspects environnementaux sont exprimés sous forme d'un graphique en barres, sur une échelle graduée de 0 à 4. La graduation de 0 à 4 est définie par convention.

Pour un produit A donné :

- La note 4 signifie que l'aspect environnemental considéré est prépondérant.
- La note 1 signifie que l'aspect environnemental a une importance relative moindre.
- La note 0 signifie que l'aspect environnemental n'est pas concerné¹⁵.

¹⁴ La définition des aspects environnementaux, tels qu'ils sont exprimés par les résultats de l'analyse environnementale, concorde avec la définition donnée par la norme ISO 14001 [AFNOR 04].

¹⁵ Par exemple :

Le produit ne contient aucune substance dangereuse (FV-S = 0) ou la phase d'utilisation du produit est « neutre » et ne génère pas d'impacts environnementaux (U = 0).

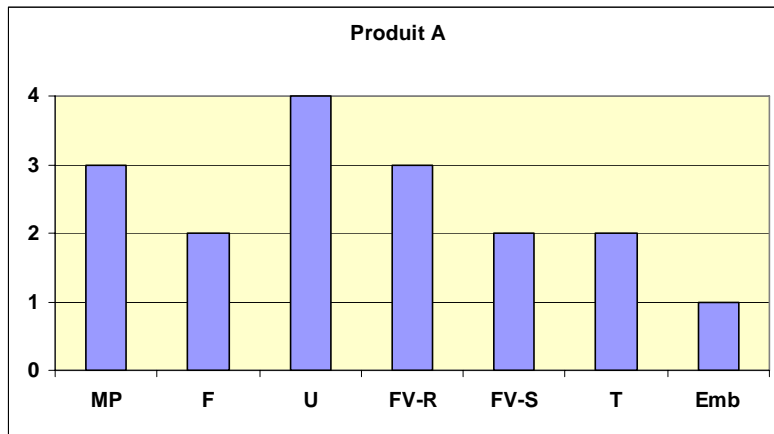


Figure 30. Expression des résultats de l'analyse typologique environnementale du produit A.

1.2.2.4. L'analyse typologique

Nous allons, dans ce paragraphe, expliciter la façon dont la typologie a été construite et structurée jusqu'à son état actuel, gardant en mémoire qu'elle est destinée à être continûment améliorée. Nous expliquerons ensuite la façon dont cette typologie est utilisée pour procéder à l'analyse environnementale.

a) La typologie des critères environnementaux de produit

Le processus de raisonnement qui a conduit à la construction de la typologie est représenté sur la figure 31.

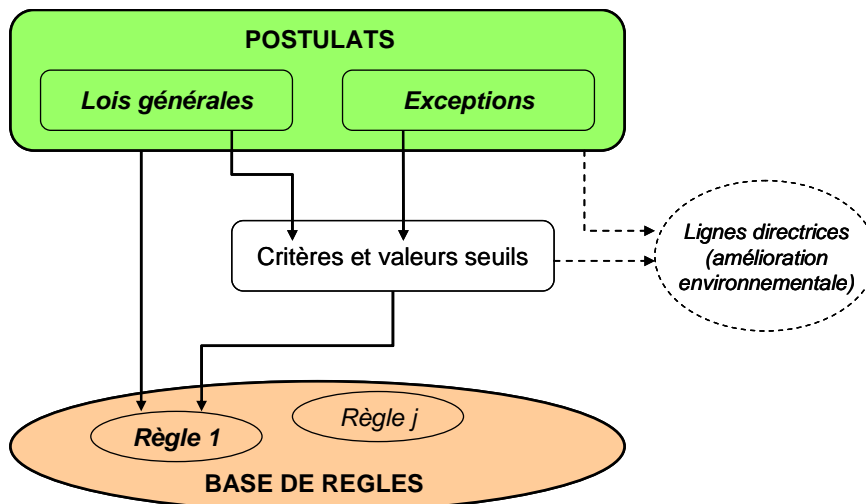


Figure 31. Processus de construction de la typologie des critères environnementaux de produit.

□ **Les postulats**

L'ensemble des postulats est la base sur laquelle repose la méthode d'analyse environnementale que nous proposons. La solidité des postulats constituant cette assise de notre modèle est donc primordiale. En effet :

- d'une part, c'est à partir de cet ensemble de postulats que les critères des produits constituant la typologie sont identifiés (cf. tableau 21 par la suite),
- d'autre part, c'est sur la base de règles issues de l'ensemble des postulats que repose l'algorithme d'analyse de l'outil ATEP.

L'ensemble des postulats que nous proposons est issu de notre expertise, ensemble de connaissances, savoir-faire, expérience, mais aussi d'une analyse bibliographique. Nous construisons cet ensemble en étayant, dans la mesure du possible, chacun des postulats énoncés par des références bibliographiques ou des références expérimentales. Toutefois, certains de ces postulats, étant d'ordre strictement logique et déterminés par des inférences d'ordre causal¹⁶, n'ont pas à être justifiés.

D'une manière générale, les impacts environnementaux du cycle de vie d'un produit sont relatifs à l'unité fonctionnelle¹⁷ définie pour ce produit. Ainsi les deux notions clés qui régissent les postulats environnementaux sont les notions de fonctionnalité et d'intensité matérielle¹⁸.

L'objectif premier de tout processus d'éco-conception doit être de diminuer l'intensité matérielle par unité fonctionnelle, soit en diminuant, à fonctions fournies identiques, la quantité de ressources nécessaires, soit en augmentant le nombre de fonctions utiles du produit pour une même quantité de ressources. L'objectif ultime est ainsi d'obtenir la « fonction idéale » (fournir une fonction sans apport de ressources non renouvelables), concept qui s'inscrit dans l'objectif global de la dématérialisation¹⁹.

Cette remarque nous oblige, par ailleurs, à préciser la notion d'utilité. La notion d'utilité du produit est une notion plus que pertinente en éco-conception. Elle est même, comme le fait remarquer [Ventère 95], la question la plus importante et, en tout état de cause, la première à se poser : le produit est-il utile²⁰ ? Toutefois, dans le cadre de nos travaux, nous n'aborderons pas ce problème de l'utilité des produits, pour deux raisons principales, au-delà du fait qu'il n'est pas nécessaire que nous répondions à cette question pour proposer un modèle efficace :

- D'une part, nous estimons que prendre en compte la notion d'utilité des produits nous ferait sortir de notre domaine de recherche en génie industriel dont l'objet est de mettre en oeuvre un

¹⁶ Exemple :

Si la durée de vie d'un produit A est deux fois plus courte que celle d'un produit B assurant exactement les mêmes fonctions pour une masse à peu près équivalente, alors, à fonctions assurées égales, il faut 2 produits A pour arriver à l'équivalent d'un produit B, c'est-à-dire plus de matériaux, plus de fabrication, plus de transports, plus de déchets, plus d'emballage, etc.

¹⁷ L'unité fonctionnelle (UF) est définie par l'ISO comme « *la performance quantifiée d'un système de produit destinée à être utilisée comme référence dans une ACV* » [AFNOR 97]. « *Une unité fonctionnelle sert principalement de référence à partir de laquelle sont mathématiquement normalisées les données d'entrée et de sortie.* » [AFNOR 98b]. L'UF est donc la référence à partir de laquelle est mesurée la performance des sortants fonctionnels du produit.

¹⁸ Par « matérielle », il faut comprendre quantité de ressources fossiles (énergétiques) et minérales.

¹⁹ Cf. chapitre 1, § 3. Quels niveaux d'éco-conception ?

²⁰ Nombre de produits de la société de consommation sont des produits inutiles en ce sens que la seule fonction à laquelle ils répondent sont des fonctions marketing (typiquement, les gadgets ...). Ces produits sont des petites « catastrophes écologiques ».

ensemble de techniques et de méthodes pour faciliter la conception, l'organisation et le management des systèmes socio-techniques.

- D'autre part, nous concevons qu'il soit difficile, voire impossible, pour un industriel de se prononcer sur l'utilité de son produit²¹, et il faut envisager la possibilité que ce questionnement, l'amenant dans une position schizophrénique, n'entraîne un rejet systématique de la démarche d'appropriation que nous proposons, ce qui serait contraire au but recherché.

Remarquons, pour finir, qu'en règle générale, la question de l'utilité ne se pose pas pour les produits industriels ou professionnels, qui constituent une part importante de notre champ d'étude.

Le tableau 20 recense l'ensemble des postulats sur lesquels nous appuyons notre démarche. Les postulats sont des « lois » qui ont valeur de généralité. Toutefois certains postulats possèdent des exceptions, ou des limites de validité (donc des seuils), au-delà desquelles ils ne sont plus vrais. Nous indiquons ces exceptions. Enfin, lorsque ces postulats ne sont pas issus de déductions purement logiques, nous indiquons, quand nous en avons, des références bibliographiques confortant le postulat dans son énoncé.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, cet ensemble de postulats ne prétend pas être exhaustif, il est destiné à être complété, enrichi et affiné.

²¹ Cf. note bas de page n° 60 p108.

Postulats environnementaux			Justification / Référence
N°	Enoncé	Cas particuliers / Exceptions / Limites	Postulats (P), Exceptions (E)
1	Plus le produit a une intensité massique ²² faible, moins il génère d'impacts environnementaux sur son cycle de vie. Ainsi, diminuer le poids et/ou le volume du produit, conduit à diminuer l'importance de l'ensemble des phases du cycle de vie (et des sept aspects environnementaux).	Il peut arriver que la diminution de la masse et/ou du volume du produit conduise à l'emploi de matériaux plus polluants, aggravant ainsi le bilan environnemental global. Des principes de dématérialisation appliqués peuvent être court-circuités par des phénomènes comportementaux (<i>ex : l'utilisation des moyens informatiques sensée diminuer l'usage du papier conduit au contraire à son augmentation</i>).	P: [Weizsäcker 97 ; Schmidt 94 ; Factor10 95 ; Hemel 98]
2	La durée de vie d'un produit a une conséquence directe sur l'impact environnemental absolu du cycle de vie du produit. Plus la durée de vie du produit est courte, plus son impact environnemental est important.	Il existe certaines exceptions et limites à ce postulat. Ainsi, lorsque la durée de vie d'un produit est supérieure à la période d'évolution technologique du système dans lequel s'inscrit le produit et que cette évolution apporte des améliorations environnementales conséquentes ²³ (<i>ex. : cas des voitures ou des installations industrielles</i>).	P: [Ventère 95 ; MINEFI 04]
3	Ajuster la durée de vie des produits ou composants (vus ici en tant que produits) à la durée de vie des systèmes (produits) dans lesquels ils sont incorporés tend à minimiser globalement les impacts environnementaux de ces produits ou composants.	? ²⁴	
4	Le type d'usage du produit (usage unique, fréquent, continu, intermittent, etc.) a une incidence sur l'importance relative des aspects environnementaux.	?	
5	Le nombre de pièces et de composants du produit a un impact direct sur l'aspect fabrication (F), et généralement, en raison des phénomènes de sous-traitance, sur les aspects transports (T) et emballages (Emb) : plus il y a de pièces et composants, plus il y a d'opérations de fabrication, plus il y a de transports et plus il y a aussi d'emballages.	Lorsque les pièces et composants sont peu ou pas sous-traités : l'incidence sur les aspects transports (T) et emballages (Emb) est alors moindre.	P: [EEA 04] pour l'aspect transport
6	Les produits électriques et électroniques (EE) posent un problème de gestion des déchets car ils sont difficilement recyclables et leur taux de recyclabilité est actuellement relativement faible. Les produits EE utilisent une quantité relativement importante de métaux rares, ce qui a un impact environnemental direct sur les ressources non renouvelables.		P: [JOUE 03b] [MINEFI 04]

²² L'intensité massique est la quantité massique de ressources par unité fonctionnelle (cf. chap. 1, § 1.3.1.2 Le facteur X).

²³ Ce n'est pas le cas des systèmes informatiques (ordinateurs, etc.) dont le taux de renouvellement extrêmement rapide ne correspond pas à des évolutions d'amélioration environnementale. On est ici dans le cas du postulat général.

²⁴ ? : des cas particuliers (ou exceptions, ou limites) existent a priori, mais nous ne les connaissons pas. Ils doivent être déterminés dans le cadre d'une amélioration continue.

Suite du tableau 20 ...

Postulats environnementaux			Justification / Référence
N°	Enoncé	Cas particuliers / Exceptions / Limites	Postulats (P), Exceptions (E)
7	Les produits électriques et électroniques contiennent des substances dangereuses (métaux lourds et retardateurs de flamme) qui posent un problème de toxicité (en fin de vie) pour l'homme et l'environnement.		P: [JOUE 03a]
8	Les véhicules en fin de vie (VHU) posent un problème de gestion des déchets en terme de quantité de déchets (recyclables pour l'instant au mieux à 75 %) et de toxicité de ces déchets (nombreuses substances dangereuses).		P: [JOUE 00]
9	Si un produit consomme de l'énergie durant sa phase d'utilisation, alors la phase d'utilisation est, dans la très grande majorité des cas, largement prépondérante ²⁵ (ordre de grandeur de l'importance : > 80 %). Dans la plupart des cas, la consommation d'énergie a une telle importance que les impacts environnementaux du cycle de vie du produit peuvent être directement corrélés à la consommation d'énergie.	Oui, en fonction du type d'usage, de la puissance consommée, etc. Pour certains produits dont la consommation électrique est faible (<i>quelques watts</i>), la phase MP, voire la phase FV pour les produits EE, peut être aussi impactante que la phase utilisation. Seuils de consommation non déterminés (<i>cas/cas</i>).	P: [Kaebernick 00 ; Sun 03 ; Zackrisson 05]
10	Pour tous les moyens de locomotion à moteur, la phase d'utilisation représente généralement plus de 95% des impacts environnementaux totaux. En ce qui concerne notamment les voitures, camions et avions, les impacts environnementaux sont directement corrélés à la masse du véhicule en déplacement.	?	P: [Haberbush 02]
11	Un produit ou un composant (vu ici en tant que produit) incorporé dans un système (produit) supérieur peut influencer sur, voire déterminer, l'importance de la phase d'utilisation (et dans une moindre mesure sur l'aspect recyclabilité en fin de vie) par l'intermédiaire de certains paramètres ou caractéristiques : poids, pertes de charges, rendement énergétique, frottements, etc.	?	
12	Si un produit utilise des consommables durant sa phase d'utilisation (ex : piles, huile, filtres, eau, détergents, etc.), cela a pour conséquence de rendre importante (indépendamment de toute consommation énergétique) la phase d'utilisation.	Oui, en fonction du type d'usage, et du type de consommable (<i>toxicité, déchets et/ou émissions générés</i>). Seuils de consommation non déterminés (<i>cas/cas</i>).	P: [Zackrisson 05; Wenzel 00]

²⁵ Les termes « important » et « prépondérant » se rapportent au niveau de gravité des impacts environnementaux d'une phase du cycle de vie ou d'un aspect environnemental. Un aspect prépondérant sera donc un aspect pour lequel les impacts environnementaux sont les plus importants. Un aspect important est un aspect pour lequel les impacts environnementaux sont importants et ne peuvent donc pas être ignorés.

Suite du tableau 20 ...

Postulats environnementaux			Justification / Référence
N°	Enoncé	Cas particuliers / Exceptions / Limites	Postulats (P), Exceptions (E)
13	<p>Il n'existe pas de corrélation directe entre les caractéristiques mécaniques des matériaux (densité, module d'Young, résistance, etc.) et les impacts environnementaux.</p> <p>En revanche, les matériaux peuvent être classés selon plusieurs critères :</p> <ul style="list-style-type: none"> • en fonction de leur contenu énergétique²⁶ • en fonction de leur toxicité • en fonction de leur rareté (réserves mondiales restantes estimées) <p>Les métaux lourds (Cr, Ni, Cd, Pb, ...), connus pour leur potentiel toxique élevé, sont aussi des métaux rares en terme de ressources (réserves mondiales prouvées inférieures à 50 ans).</p> <p>Nombre de métaux importants pour l'industrie, eu égard aux caractéristiques qu'ils confèrent aux matériaux (cuivre, nickel, zinc, etc.), sont des métaux que l'on peut qualifier de rares au regard de l'état des réserves mondiales prouvées.</p> <p>Le cuivre (Cu) et le nickel (Ni) sont deux métaux particulièrement impactants en terme d'impacts environnementaux.</p>		<p>P: [Sun 03]</p> <p>[Sun 03 ; Kaebernick 00 ; Wenzel 00]</p>
14	<p>Le poids environnemental des matériaux constitutifs du produit est toujours très important. Lorsque les impacts environnementaux du produit ne sont pas dominés par la consommation énergétique en phase d'utilisation, la phase matériaux (MP) est la phase prépondérante (plus importante notamment que les phases fabrication et/ou transports)</p>	<p>Des exceptions peuvent exister lorsque les produits sont constitués de matériaux peu impactants (<i>par ex. : matériaux renouvelables</i>) et que dans le même temps les procédés de fabrication sont extrêmement polluants (<i>ex. : fabrication du papier</i>).</p>	<p>P: [Sun 03 ; Kaebernick 00 ; Zackrisson 05]</p>
15	<p>Les emballages posent un problème de gestion des déchets en fin de vie, tant en terme de volume de déchets que de toxicité des déchets.</p>		<p>P: [JOCE 94 ; MINEFI 04]</p>

²⁶ Le contenu énergétique d'un matériau est la quantité totale d'énergie primaire contenue dans le matériau (feedstock energy) et nécessaire aux processus de fabrication du matériau, depuis l'extraction de la matière première jusqu'à sa mise en forme, prête à être utilisée dans l'industrie.

Suite du tableau 20 ...

Postulats environnementaux			Justification / Référence
N°	Enoncé	Cas particuliers / Exceptions / Limites	Postulats (P), Exceptions (E)
16	L'importance de la phase de fabrication sur le cycle de vie d'un produit dépend : <ul style="list-style-type: none"> • du nombre de pièces et de composants du produit (plus il y a de pièces et composants, plus il y a de procédés de fabrication), • des types de procédés employés : certains procédés, employant des substances dangereuses (solvants, métaux lourds, huiles chlorées, etc.) ou consommant beaucoup d'énergie, sont plus polluants que d'autres (par exemple : procédés de traitement – TS ou TTh – certains procédés des industries EE, etc.). 		
17	L'importance de la phase de transport (T) est généralement du même ordre de grandeur que celle de la phase de fabrication (F), toutes deux considérées comme relativement moins importantes que les phases d'utilisation (U) et de matières premières (MP).	La phase de transport devient prépondérante lorsque le produit est à usage unique, ou a une durée de vie très courte. D'autre part, les impacts environnementaux liés aux transports sont sans aucun doute sous-estimés ²⁷ .	P: [Zackrisson 05 ; Wenzel 00] E: [MINEFI 04 ; EEA 04]
18	Les modes de transport sont plus ou moins polluants. Les modes de transport peuvent être classés dans l'ordre suivant, du plus polluant au moins polluant : <ul style="list-style-type: none"> • avion • camion • train • bateau 		P: [BIOIS 03]

²⁷ Nous affirmons que l'importance des impacts environnementaux générés par les transports est généralement sous-estimée dans les études ACV (ou les évaluations environnementales), notamment pour les raisons suivantes :

- la difficulté objective de modélisation de la phase de transport et de ses impacts ;
- le lien de causalité entre le produit et le transport n'est pas pris en compte à sa juste mesure, un produit particulier étant « noyé » dans le volume des produits transportés (voir par exemple les affirmations de Schlich & Fleissner sur les « économies d'échelle écologiques » [Schlich 05]).

Toutefois, il existe des indicateurs concordants qui prouvent l'importance des impacts environnementaux générés par les transports. Ainsi, parmi les conclusions du rapport [EEA 04], peut-on lire :

- *Le volume du transport de marchandises est directement corrélé aux volumes de productions (cf. postulat 5), et dans l'UE, la croissance du volume de transport est supérieure à la croissance du PIB.*
- *Les quantités de polluants émises dans l'air sont en diminution malgré l'augmentation du trafic, mais, sur les 100 000 personnes mortes prématurément chaque année (dans l'UE) du fait de l'exposition aux polluants dans l'air, plusieurs dizaines de milliers sont dues à la pollution atmosphérique générée par les transports (auxquelles il faut ajouter 58 000 morts / an dans les accidents).*
- *La quantité de gaz à effet de serre générés par les transports sont en constante augmentation (depuis 1990 : + 20 % dans l'UE et + 25 % en France).*

Suite du tableau 20 ...

Postulats environnementaux			Justification / Référence
N°	Enoncé	Cas particuliers / Exceptions / Limites	Postulats (P), Exceptions (E)
19	Les métaux ont tous un taux de recyclabilité réel très bon, supérieur à 90 % et jusqu'à 98 % pour l'acier. Toutefois, ce taux de recyclabilité ne résout pas, même s'il le diminue, le problème de la consommation des ressources. Ainsi, un produit constitué majoritairement de métaux aura un aspect recyclabilité en fin de vie (FV-R) relativement peu important, mais un aspect matières premières (MP) tout aussi important (en première approximation) que l'ensemble des produits.	Pour les produits majoritairement métalliques contenant des EE, l'aspect fin de vie est important.	
20	Bien que les plastiques soient en théorie presque tous parfaitement recyclables, la recyclabilité réelle des plastiques est d'une manière générale très faible, presque nulle (parce que les filières de recyclage n'existent pas). Les produits constitués majoritairement de plastique ont un taux de recyclabilité réel très faible, d'autant plus faible que différents plastiques sont associés dans un même produit.	Les exceptions existent lorsque des filières spécialisées existent (emballages plastiques, films PE d'emballages pour la palettisation ou films PE agricoles, etc.).	
21	Le nombre des substances dangereuses est extrêmement important. Les problèmes de toxicité liés aux substances dangereuses concernent toutes les phases du cycle de vie. Toutefois, certaines molécules contenues dans la masse des matériaux posent des problèmes d'élimination de ces substances en fin de vie, et rendent prépondérant l'aspect toxicité des substances. Ce sont : <ul style="list-style-type: none"> • les métaux lourds, et plus particulièrement Cd, Cr₆, Pb, et Hg • les molécules « halogénées », contenant des atomes de Br, F, Cl, et plus particulièrement les retardateurs de flamme PBDE et PBB 		

Tableau 20. Postulats environnementaux.

□ **Les critères et leurs valeurs**

L'énoncé des postulats permet, par simple identification de mots clés dans l'énoncé, de déterminer les critères de produits ayant une incidence sur les impacts environnementaux (tableau 21). Sont ainsi mises en évidence des corrélations entre critères de produit et impacts environnementaux (« tels types d'impacts environnementaux sont fonction de tels critères de produits »), sans pour autant être en mesure de quantifier cette corrélation. Toute la difficulté du développement de l'analyse typologique environnementale réside d'ailleurs dans ce problème de quantification des corrélations.

Chaque critère peut prendre un ensemble de valeurs, au sein d'un intervalle de valeurs qui lui est propre²⁸. Nous avons vu que les postulats comportent souvent des exceptions. Ces exceptions correspondent à des phénomènes différents qui sont :

- Des effets de seuils, qui font qu'au-delà de ces seuils la loi générale (postulat) n'est plus valable.
- La combinaison de plusieurs postulats, liée à la coexistence de plusieurs critères dans un même produit, dont la loi résultante sera déterminée par la prédominance d'une ou de plusieurs lois sur les autres.
- Des phénomènes de fréquence d'apparition liés à des occurrences de certains critères.

Ces phénomènes correspondent à des valeurs particulières, au sein des intervalles de valeurs des critères. La difficulté réside alors dans la définition, sur la base de notre seule expertise, de ces valeurs particulières que nous appelons valeurs seuils.

Concrètement, cela revient à résoudre les questions suivantes, sachant que chaque produit correspond à une situation particulière donc différente : « *A partir de quel moment (seuil) la règle que j'énonce change-t-elle de comportement ? Je sais, par expérience, que ma loi est modifiée par moment, mais je ne sais pas donner de paramètre quantifié m'indiquant à partir de quand la loi change.* »²⁹

Ainsi, les seuils des valeurs de critères ont-ils été fixés, lorsque nous ne disposons pas de références ni bibliographiques ni réglementaires, sur la base de principes empiriques et/ou heuristiques (c'est-à-dire fixés arbitrairement et destinés à être modifiés et affinés par retour d'expérience) :

- Exemple de seuil basé sur la réglementation : taux de recyclabilité de 80 %, issu de la directive VHU [JOUE 00].
- Exemple de seuil empirique : durée de vie 0-2 ans, valable pour les produits technologiques de grande consommation (téléphones portables, ordinateurs, etc.) dimensionnés, en raison d'un rythme de renouvellement très rapide, pour une durée de vie inférieure à 2 ans (généralement 18 mois).
- Exemple de seuil heuristique : taux du nombre de procédés polluants dans la phase de fabrication (> 1/3, > 2/3).

²⁸ Par exemple : Le critère « durée de vie » peut prendre toutes les valeurs au sein de l'intervalle [0 – 30] ans.

²⁹ Exemples :

- Entre une machine-outil, dont la puissance s'exprime en kW et qui fonctionne 16 h/jour, et un téléphone portable de quelques W de puissance, la loi générale concernant la prépondérance de la phase d'utilisation due à la consommation d'énergie reste valable. Il existe cependant des nuances objectives dans l'importance environnementale relative de la phase d'utilisation par rapport aux autres phases, due à la différence dans la quantité d'énergie consommée par chacun des produits. Mais à partir de quelle puissance et/ou de quelle consommation la loi est-elle notablement influencée, nous ne sommes pas en mesure de le dire.
- Entre une voiture de plusieurs milliers de pièces, un vérin hydraulique d'une centaine de pièces et un clapet de non retour de moins de 10 pièces, on imagine aisément que l'importance environnementale relative de la phase de transport ne sera pas la même entre les trois produits. Mais à partir de quel nombre de pièces peut-on constater une variation, nous ne savons pas le dire.

Postulats environnementaux		Aspects environnementaux en jeu	Critères	Prise en compte du critère pour la hiérarchisation des aspects environnementaux		Valeurs des critères (seuils)	Justification des seuils (empirique, heuristique, réglementaire, réf. biblio)
N°	Intitulé			Oui	Non ³⁰		
1	Intensité matérielle (poids / volume)	Tous (7 AE)	Masse totale du produit		X	Décomposition massique du produit / matériau	Empirique Heuristique
2	Durée de vie	Tous (7 AE)	Durée de vie	X		<ul style="list-style-type: none"> • Très courte : 0-2 ans • Courte : 2-5 ans • Moyenne : 5-10 ans • Longue : > 10 ans 	Empirique Heuristique
3	Durée de vie / système supérieur	Tous (7 AE)	Durée de vie / système supérieur		X	<ul style="list-style-type: none"> • Inclus / Non inclus • ddv sup. / ddv inf. 	Logique
4	Type d'usage du produit	Tous (7 AE)	Type d'usage	X		<ul style="list-style-type: none"> • Usage unique • Usage occasionnel • Usage fréquent <ul style="list-style-type: none"> ▪ Intensif ▪ Intermittent ▪ Continu 	Empirique Heuristique
5	Nombre de pièces et de composants du produit.	F, T, Emb	Nombre de pièces et composants				
6, 7	Produits électriques et électroniques	FV-R, FV-S	Visé par DEEE/LUSD				
			Contient des composants EE				
8	Véhicules en fin de vie (VHU)						



TABLEAU CLASSE CONFIDENTIEL PAR LE CETIM

(début donné à titre illustratif)

³⁰ Les critères qui ne servent pas directement à la hiérarchisation des lignes directrices sont utilisés par l'algorithme pour l'édition des lignes directrices (cf. fig. 32 p. 146 et § 1.4.2.2-b p. 153).

Suite du tableau 21...

Postulats environnementaux		Aspects environnementaux en jeu	Critères	Prise en compte du critère pour la hiérarchisation des aspects environnementaux		Valeurs des critères (seuils)	Justification des seuils (empirique, heuristique, réglementaire, réf. biblio)
N°	Intitulé			Oui	Non		
11							
12							
13, 14							



TABLEAU CLASSE CONFIDENTIEL PAR LE CETIM

(début donné à titre illustratif)

Suite du tableau 21...

Postulats environnementaux		Aspects environnementaux en jeu	Critères	Prise en compte du critère pour la hiérarchisation des aspects environnementaux		Valeurs des critères (seuils)	Justification des seuils (empirique, heuristique, réglementaire, réf. biblio)
N°	Intitulé			Oui	Non		
15							
16							
17, 18							



TABLEAU CLASSE CONFIDENTIEL PAR LE CETIM

(début donné à titre illustratif)

Suite du tableau 21...

Postulats environnementaux		Aspects environnementaux en jeu	Critères	Prise en compte du critère pour la hiérarchisation des aspects environnementaux		Valeurs des critères (seuils)	Justification des seuils (empirique, heuristique, réglementaire, réf. biblio)
N°	Intitulé			Oui	Non		
19, 20							
21							

Tableau 21. Postulats, critères et valeurs des critères.

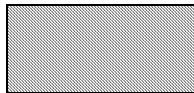


TABLEAU CLASSE CONFIDENTIEL PAR LE CETIM

(début donné à titre illustratif)

□ **La base de règles**

La base de règles environnementales comprend deux types de règles :

- Les règles relatives à la réglementation environnementale sur les produits (il s'agit concrètement des directives européennes existant pour certains types de produits).
- Les règles relatives à l'analyse environnementale du produit, indépendamment de toute considération réglementaire.

Analyse réglementaire

Afin de marquer le caractère incontournable des critères réglementaires, et sans préjuger de la pertinence environnementale des directives produit³¹, nous avons fait le choix, anticipant ainsi le positionnement stratégique de l'entreprise³², d'affecter du poids maximal, le cas échéant, les aspects environnementaux « recyclabilité » et « substances » liés aux imposés des directives.

Ainsi, si un produit est visé par le champ d'application d'une des directives en vigueur (VHU, DEEE et LUSD, emballages), les aspects environnementaux « FV-R » et « FV-S » ont la note 4 sur l'échelle de hiérarchisation.

Analyse environnementale

La base de règles environnementales est la base sur laquelle repose l'analyse environnementale proprement dite.

Les règles sont les lois de comportement établies par la combinaison des différents postulats. Cette combinaison est rendue nécessaire par la concomitance, au sein d'un même produit, de plusieurs critères. Les combinaisons sont fonction :

- d'une part, de la nature des critères associés,
- d'autre part, des seuils respectifs de ces critères.

Chaque règle de la base de règles associe à une combinaison particulière de critères une valeur relative des aspects environnementaux les uns par rapport aux autres, c'est-à-dire une hiérarchisation particulière des aspects environnementaux.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, la base de règles ne peut d'emblée prétendre à l'exhaustivité, mais est destinée à être enrichie et affinée par amélioration continue. En effet, le domaine de l'évaluation environnementale des produits est nécessairement empirique et heuristique, car en raison de sa complexité, il ne peut être modélisé mathématiquement qu'au cas par cas et non dans son ensemble.

La difficulté d'un tel exercice (établir la base des règles environnementales du cycle de vie des produits) réside dans le fait que chaque règle possède ses exceptions, ses cas particuliers, qu'il est difficile :

³¹ Les directives environnementales sur les produits ont pour objectifs de s'attaquer à des problèmes représentant des impacts environnementaux réels, qui constituent généralement des problèmes de société suffisamment graves pour que la communauté politique intervienne, et dont la gravité ne peut être mise en question. Toutefois, si l'on considère la hiérarchisation de l'importance des impacts environnementaux, approche nécessaire pour identifier les plus gros potentiels d'amélioration des produits, les critères retenus pour établir les directives ne sont pas forcément les plus pertinents du point de vue de la gravité environnementale.

Ainsi à titre d'exemple, sans nier l'importance du problème de la gestion des déchets dans l'UE, le problème environnemental majeur des véhicules est celui lié à la consommation en phase d'utilisation, bien plus important que le problème de recyclage. Or, la directive VHU par exemple, en contraignant les industriels à atteindre un taux élevé de recyclabilité, peut aboutir d'un point de vue environnemental à un résultat défavorable (par exemple en empêchant l'emploi d'un matériau composite plus léger mais non recyclable). Les directives (ne) sont (que) des compromis résultant de jeu de négociations avec et entre les secteurs industriels ...

³² Cf. partie 1.4.2, p. 152, La méthode MAIECO.

- d'une part, de recenser exhaustivement, sur la base de notre seule expertise,
- d'autre part, de quantifier en déterminant les occurrences, ou les seuils, ou les fréquences d'apparition, là encore sur la base de notre seule expertise.

Les règles environnementales prennent la forme, par combinaison des postulats environnementaux, de relations logico-déductives :

Si proposition_{critèreXi} et/ou si proposition_{critèreYj} ..., alors proposition_{AEk}

Avec

- proposition_{critèreXi}* : association du critère X et de la valeur j de l'intervalle des valeurs du critère X
- proposition_{AE1}* : association de l'aspect environnemental k, $k \in [1, 7]$, à une valeur de l'échelle de hiérarchisation [0, 4]

Par exemple,

« Si le produit consomme de l'énergie en phase d'utilisation, et si le produit a une durée de vie courte (2-5 ans) et si le produit est à usage occasionnel, alors l'aspect environnemental matériaux est prépondérant (MP = 4) ».

Sur cet exemple, la note attribuée (MP = 4) est le résultat de l'analyse pour l'aspect environnemental MP, permettant ainsi la hiérarchisation de l'aspect MP par rapport aux autres aspects sur un graphique en barres (cf. figure 30 p. 132).

L'ensemble des règles constituant la base de règles est donné dans l'annexe 2. La base de règles peut être représentée par un arbre de décision pour chacun des sept aspects environnementaux (cf. annexe 2), dont un exemple pour l'aspect environnemental transport (T) est donné pour illustration par la figure 32.

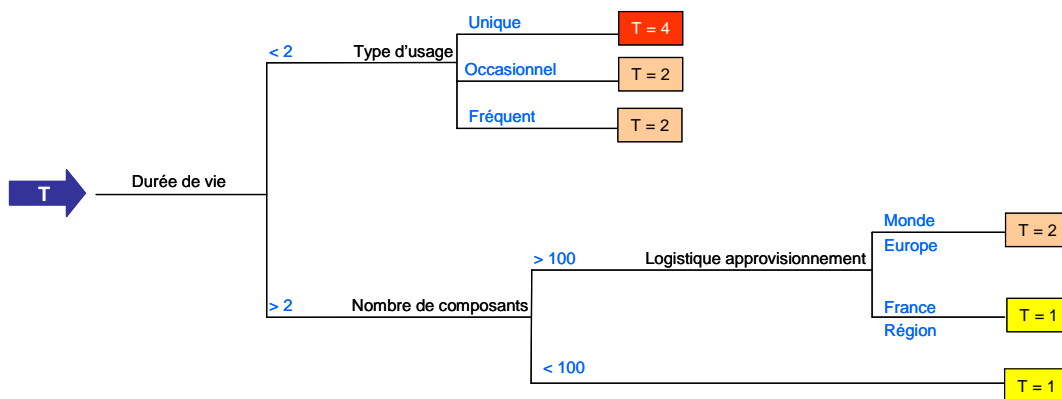


Figure 32. Arbre de décision pour l'aspect environnemental transport (T).

La typologie environnementale des critères de produit est ainsi construite. Elle détermine des valeurs d'importance relative des sept aspects environnementaux, en fonction de combinaisons de critères (ou caractéristiques) de produit.

b) L'analyse typologique

La typologie ainsi construite peut être utilisée pour l'analyse environnementale typologique des produits. L'analyse consiste alors, pour un produit donné, à identifier à quelle combinaison de critères de la typologie se réfère le produit, en :

- identifiant quels sont ses caractéristiques (ou critères) particulières ;
- attribuant une valeur à chacun de ses critères.

□ Le questionnaire

L'ensemble des critères a été recensé (tableau 21), et les valeurs seuils que peuvent prendre chacun de ces critères ont été fixées.

L'identification des critères pertinents et des valeurs seuils associées, pour un produit particulier, se fait par l'intermédiaire d'un questionnaire :

- à chaque critère correspond une question et,
- l'ensemble des réponses possibles à la question est constitué par l'ensemble des valeurs seuils relatives au critère identifié.

Le questionnaire est présenté en annexe 1.

□ L'algorithme

L'algorithme est le processus qui va permettre l'analyse typologique environnementale du produit à partir du questionnaire. L'algorithme génère deux types de résultats :

- La hiérarchisation des sept aspects environnementaux, correspondant à « l'évaluation » environnementale du produit.
- L'édition des lignes directrices pertinentes pour l'amélioration environnementale du produit³³.

Les séquences du processus de l'algorithme sont les suivantes :

- Prendre en compte les réponses au questionnaire attribuant une valeur seuil à chaque critère.
- Identifier les combinaisons de critères pertinentes, déterminées par les réponses.
- Etablir la correspondance, grâce à la base de règles de la typologie, entre, d'une part chacune des combinaisons de critères, et d'autre part les valeurs des aspects environnementaux sur l'échelle de hiérarchisation.
- Générer, sur la base à la fois des postulats et de la base de règles, les lignes directrices pertinentes pour l'amélioration environnementale du produit et leur affecter une pondération propre en fonction de la hiérarchisation des aspects environnementaux.

La description de l'algorithme est donnée en annexe 2.

³³ Voir par ailleurs § 1.4.2.2-b, p. 153. L'ensemble des lignes directrices pour la conception environnementale des produits est donné en annexes 3A et 3B.

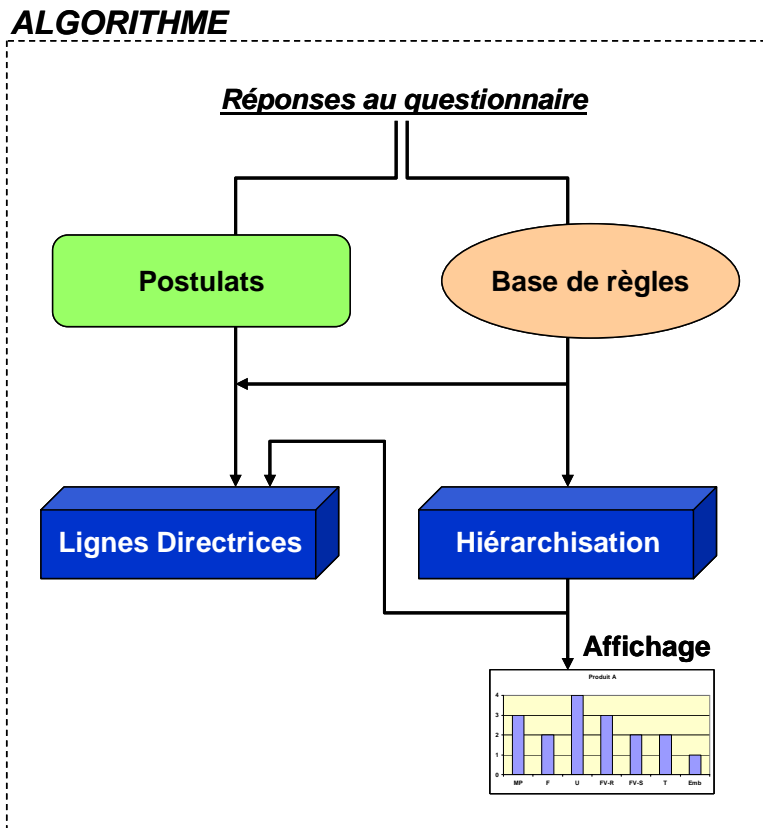


Figure 33. Séquences de l'algorithme d'analyse typologique environnementale.

ATEP permet donc de réaliser l'analyse typologique environnementale des produits, en proposant une hiérarchisation des sept aspects environnementaux et, par la suite, une hiérarchisation environnementale des lignes directrices pour la reconception. La partie suivante va montrer la façon dont l'outil ATEP est utilisé dans le processus d'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise.

1.3. L'objectif du changement organisationnel

1.3.1. Gestion du changement et processus d'apprentissage

La problématique 2 que nous avons définie met en évidence que l'intégration de l'éco-conception requiert un changement organisationnel de l'entreprise. Or, ce changement est soumis, comme tout changement organisationnel, à des risques d'échec.

La réussite de l'intégration de l'éco-conception dépend de la réussite du changement organisationnel requis. L'objectif est donc de maîtriser les risques d'échec, par une approche de gestion du changement.

Ainsi, nous proposons une approche pour guider le changement³⁴ de l'entreprise, par des interventions (modifications) sur des points précis de l'organisation, dans l'objectif d'obtenir les

³⁴ Nous faisons ainsi nôtre l'expression de A.L. Bassetti [Bassetti 02] qui parle de « *guider le changement* », que nous préférons au terme de conduite du changement.

changements organisationnels nécessaires à l'intégration de l'éco-conception (mis en évidence dans la partie 3 du chap. 2, p. 96).

Nous proposons de réaliser les modifications de l'organisation par l'intermédiaire d'un processus d'apprentissage organisationnel, facilitant notamment le développement d'une vision directrice partagée de la dimension « E », condition sine qua non, non pas de la réussite du changement, mais de son non échec assuré. Cela permet, si ce n'est une totale maîtrise des risques d'échec du changement par ailleurs impossible à assurer, du moins d'en minimiser les risques en s'assurant qu'une des conditions sine qua non de réussite est remplie.

1.3.2. L'hypothèse de la gestion du changement par des processus d'apprentissage

Compte tenu de l'analyse de la problématique, qui nous a conduit à mettre en évidence la relation entre, d'une part les quatre composantes structurelles de l'entreprise vue comme une organisation [Livian 01], et d'autre part les types de modifications de l'organisation induites par l'intégration de l'éco-conception, nous postulons que le changement organisationnel nécessaire à l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise doit s'appuyer sur la réalisation de trois objectifs :

- Conduire l'entreprise à définir sa stratégie en matière d'éco-conception.
- Modifier les processus de conception pour permettre la prise en compte des contraintes environnementales. Cette modification repose notamment sur :
 - l'utilisation d'outils d'aide à l'éco-conception ;
 - la définition d'indicateurs spécifiques à l'éco-conception ;
 - la gestion de données environnementales liées au cycle de vie du produit.
- La création de connaissances environnementales et l'acquisition de compétences pour l'éco-conception.

Nous formulons ainsi l'hypothèse que la réalisation de ces trois objectifs par un processus d'apprentissage suffit à entraîner et réaliser le changement organisationnel pour parvenir à l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise.

La seconde hypothèse que nous formulons est donc la suivante :

HYPOTHESE 2 :

Pour parvenir au changement organisationnel nécessaire à l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise, les 3 objectifs suivants de modification de l'organisation doivent être réalisés :

- La définition, par l'entreprise, de sa propre stratégie d'éco-conception.***
- La modification du processus de conception.***
- La création de connaissances environnementales et l'acquisition de compétences.***

Ces modifications de l'organisation, entraînant et aboutissant au changement organisationnel, sont réalisées par un processus global d'apprentissage organisationnel permettant de développer une vision directrice partagée de la dimension « E ».

1.4. MAIECO, une méthode d'intégration basée sur l'apprentissage organisationnel

Nous avons ainsi développé, sur la base de ce postulat, et afin de répondre à la problématique, la méthode MAIECO, spécifiquement adaptée à la problématique des PME. MAIECO est une méthode pour l'intégration de l'éco-conception, basée sur des processus d'apprentissage³⁵.

La méthode MAIECO est destinée à être mise sous forme logicielle (cf. § 2.3.4 p. 200). Elle a donc été développée en fonction des potentialités offertes par les logiciels (rapidité de l'analyse, interactivité avec l'utilisateur, stockage d'informations potentiellement important, recherche de données facilitée par des liens, etc.).

1.4.1. Les principes de la méthode MAIECO

Nous avons formulé l'hypothèse que l'intégration de l'éco-conception reposait sur le développement d'un processus d'apprentissage organisationnel devant conduire, en terme d'objectif, à un changement organisationnel.

Par ailleurs, l'analyse de la problématique a permis de mettre en évidence que l'information est au centre de notre problématique. En effet, ce qui rend la pratique de l'éco-conception difficilement opérationnelle dans l'entreprise peut se réduire, in fine, à l'information, considérée dans le cadre de la relation « données → informations → connaissances » :

- Difficulté d'acquisition des données environnementales, donc des informations environnementales.
- Gap culturel, et niveau de connaissances du sujet environnemental inexistant ou insuffisant, donc incapacité à identifier et à interpréter les informations environnementales dans le contexte de l'entreprise.

L'idée du modèle que nous proposons est donc de mettre à disposition de l'organisation l'ensemble des sources d'informations disponibles, et autant que possible, l'ensemble de l'information disponible, concernant le domaine de l'éco-conception :

- Modules de sensibilisation, définitions, lexiques.
- Réglementations et normes.
- Bases de données.
- Exemples, illustration.
- Outils support BE, lignes directrices pour la recherche de solutions, indicateurs.

³⁵ MAIECO est l'acronyme pour Méthode d'Apprentissage organisationnel pour l'Intégration de l'Eco-Conception. Dans les publications de langue anglaise que nous avons réalisées, la méthode MAIECO est référencée sous l'acronyme EDIMS (pour EcoDesign Integration Method for SMEs).

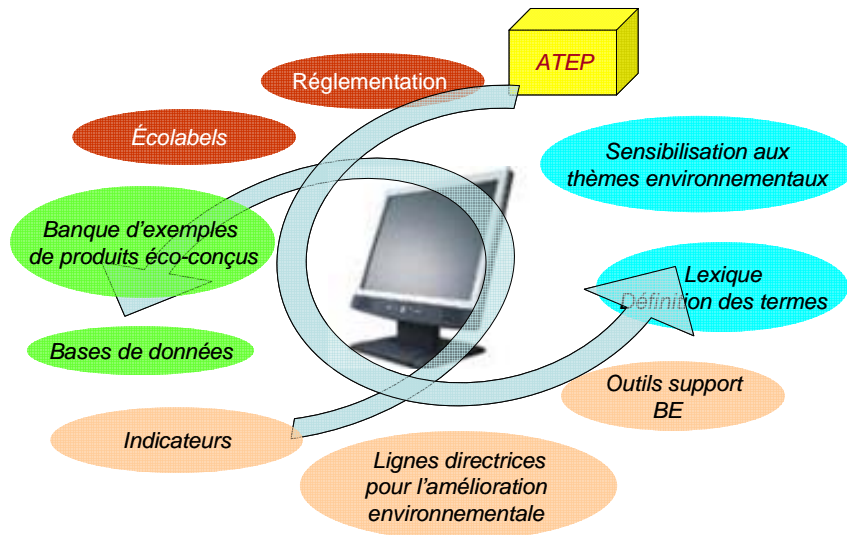


Figure 34. Illustration du principe de mise à disposition de l'information de la méthode MAIECO.

Il est évident que pour un type de produit et un projet donnés, l'entreprise n'a pas besoin de l'ensemble de ces informations. Les informations dont elle a besoin sont fonction, d'une part du produit qu'elle souhaite éco-concevoir, et d'autre part de son contexte, voire de son organisation. L'objectif de la méthode MAIECO que nous proposons est donc d'être capable de sélectionner, parmi l'ensemble des informations, les informations pertinentes pour le couple produit-entreprise considéré, afin de les relier au cadre contextuel de l'entreprise et créer ainsi des connaissances.

La sélection des informations pertinentes est donc directement fonction des résultats de l'analyse typologique donnée par ATEP. Il s'agit de sélectionner, en fonction de l'analyse, les outils et les indicateurs pertinents, les données nécessaires dans les bases de données, les exemples illustratifs adaptés au produit, etc.

La méthode MAIECO, par la sélection de l'information pertinente adaptée au couple produit-entreprise, favorise ainsi l'appropriation de l'éco-conception par l'entreprise.

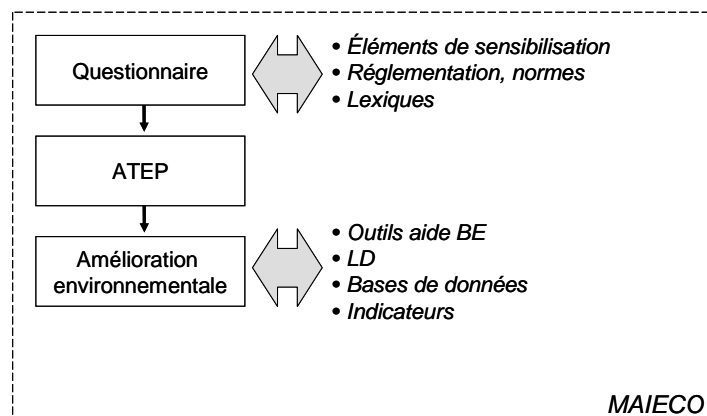


Figure 35. Principe de sélection de l'information pertinente par la méthode MAIECO.

1.4.2. La méthode MAIECO

Le modèle de la méthode MAIECO est décrit ci-dessous. La description concerne d'abord le déroulement général de la méthode sur un projet pilote d'éco-conception, en exposant le séquençage des différentes phases de la méthode, et en précisant les liens entre chaque phase. Puis, chacune des phases est décrite plus en détail.

1.4.2.1. Le cadre général

MAIECO est une méthode d'accompagnement de groupes projet sur des projets pilotes. MAIECO se veut un processus d'apprentissage, et nécessite donc la participation, si ce n'est d'un maximum de personnes, au minimum des personnes représentant chacune une des fonctions de l'entreprise ayant un rôle dans le processus d'éco-conception (cf. figure 17). Le groupe projet peut donc, idéalement, être élargi pour accueillir des représentants des parties prenantes aval et amont de l'entreprise. Par ailleurs, selon l'importance de l'entreprise, ce groupe peut se trouver relativement restreint en nombre de personnes, un même individu pouvant remplir différentes fonctions.

Les personnes, ou entités, protagonistes de la démarche d'accompagnement du projet pilote sont les suivantes :

- L'expert : c'est la personne qui dirige l'accompagnement du projet. Nous avons vu que le terme d'expert, d'après l'échelle d'expertise de [Clermont 02], pouvait recouvrir des réalités différentes. Ainsi, bien qu'il puisse prêter à confusion, nous retenons ce terme d'expert pour évoquer la personne ressource externe à l'entreprise, car il nous semble être le plus évocateur. Il est cependant entendu que l'expert sera, dans la plupart des cas, plutôt qu'un véritable expert, un spécialiste métier³⁶ ayant assimilé les concepts de l'éco-conception et étant capable de les transmettre.
- L'entreprise : c'est l'ensemble de l'organisation telle que définie par [Livian 01].
- Le groupe projet : c'est le groupe ad hoc, formé spécialement pour réaliser le projet pilote d'éco-conception accompagné par l'expert. Ce groupe constitue la pierre angulaire de l'intégration de la démarche dans l'entreprise, car ce sont ses membres qui seront le relais et les garants de la continuation du processus d'apprentissage initié durant le projet pilote, en déployant la démarche à l'ensemble des projets suivants et à l'ensemble de l'entreprise.

1.4.2.2. La démarche d'accompagnement avec MAIECO

a) *Synoptique du projet pilote*

Le synoptique de la démarche est présenté sur la figure 36. Il montre les différentes phases de la méthode MAIECO ainsi que leur enchaînement, et les protagonistes concernés par ces phases.

Le synoptique représente également le lien entre les différentes phases de la méthode MAIECO et les trois objectifs que celle-ci se propose d'atteindre concernant la stratégie, le processus de conception et les connaissances.

³⁶ C'est même un des objectifs de MAIECO que de pouvoir être utilisée par des non experts, au sens strict du terme (niveaux 2, 3 et 4 de l'échelle de [Clermont 02]). Cette situation, comme nous l'avons vu par ailleurs, est même souhaitable, pour favoriser une diffusion élargie de l'éco-conception dans les PME.

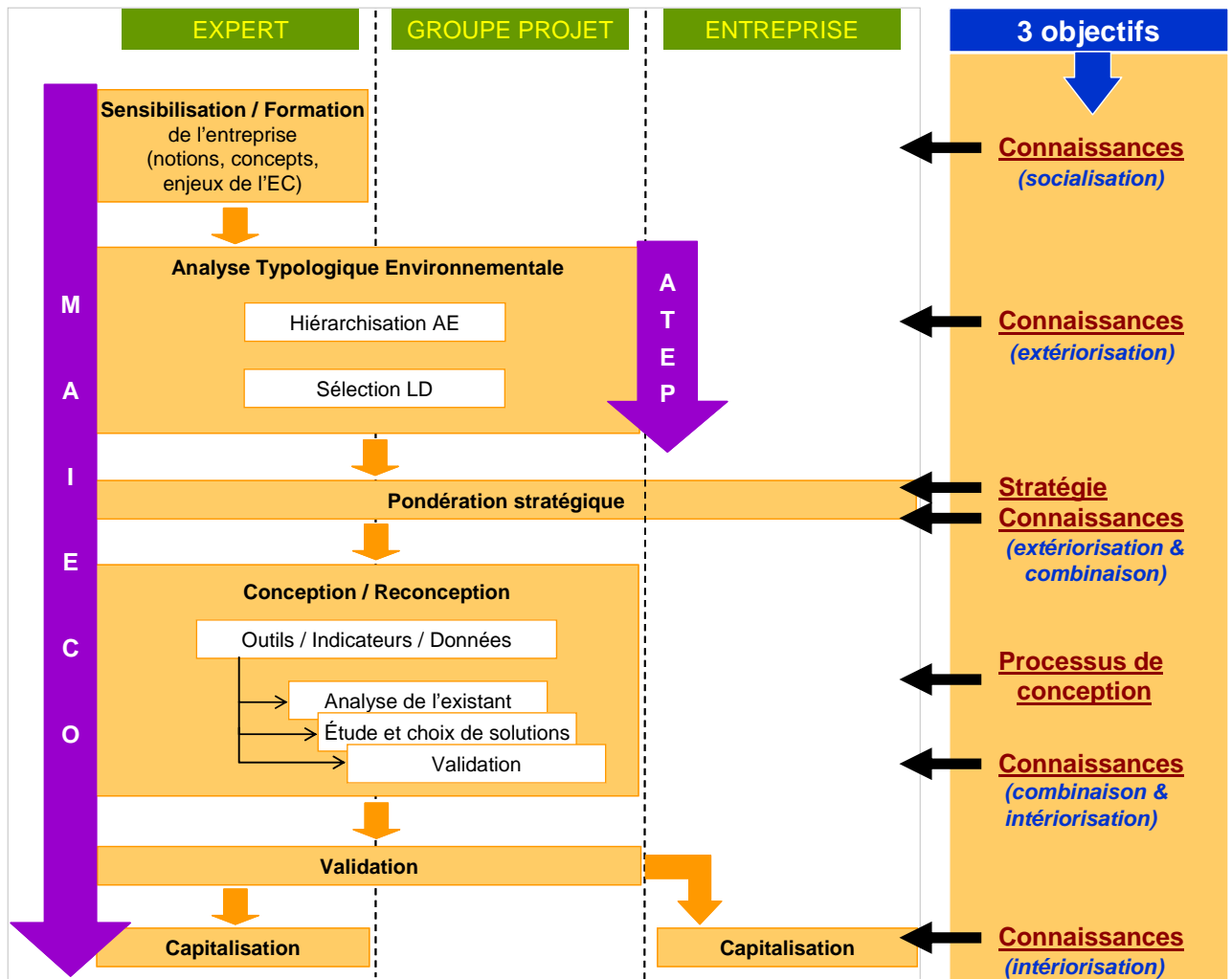


Figure 36. Synoptique de la démarche d'accompagnement d'un projet pilote d'éco-conception avec MAIECO.

b) Description des différentes phases

□ Session de sensibilisation / formation

La session de sensibilisation et de formation, réalisée par l'expert, marque le départ du projet pilote. Cette session doit concerner le public le plus large possible au sein de l'entreprise, voire de l'entreprise élargie aux parties prenantes³⁷ (supply chain, clients, ...).

L'implication de l'ensemble de l'entreprise est souhaitable, mais, en tout état de cause, cette session requiert la participation d'au moins un représentant de la direction générale pour marquer symboliquement la volonté de l'entreprise d'engager une démarche d'intégration des contraintes environnementales.

L'objectif de cette session est de sensibiliser le personnel aux enjeux de l'éco-conception :

- pour l'entreprise : les enjeux réglementaires, les enjeux concurrentiels (compétitivité, innovation, etc.).

³⁷ Grundstein parle « d'entreprise étendue » [Grundstein 02].

- pour la protection de l'environnement : cet aspect n'est pas à négliger, car faire ainsi appel à la « fibre citoyenne » des personnes de l'entreprise peut permettre d'accélérer l'adhésion de ces personnes au projet de changement et de renforcer le sentiment d'appartenance aux valeurs de l'entreprise.

La session doit permettre de créer un début de culture environnementale, en précisant et développant les notions et concepts liés aux impacts environnementaux et à l'éco-conception : les impacts environnementaux, les causes de ces impacts, le cycle de vie des produits, le recyclage des produits, la disponibilité des ressources, etc.

La session de formation a donc plusieurs fonctions :

- Initier le processus d'apprentissage par un début de transfert de connaissances environnementales de l'expert vers le groupe projet.
- Légitimer, auprès du personnel de l'entreprise, la nécessité d'un changement. La présence d'un représentant de la direction générale doit ainsi marquer la volonté et la détermination de l'entreprise auprès de tous.
- L'adoption et le partage d'une nouvelle vision. La dimension « E » est définie comme une valeur de l'entreprise.

□ **Analyse typologique environnementale**

L'analyse typologique environnementale est réalisée avec l'outil ATEP. Les séquences de l'analyse sont représentées sur la figure 37. L'analyse typologique conduit à la sélection et à la pondération environnementale des lignes directrices pour la reconception. L'analyse peut être réalisée au cours d'une unique séance de travail du groupe projet.

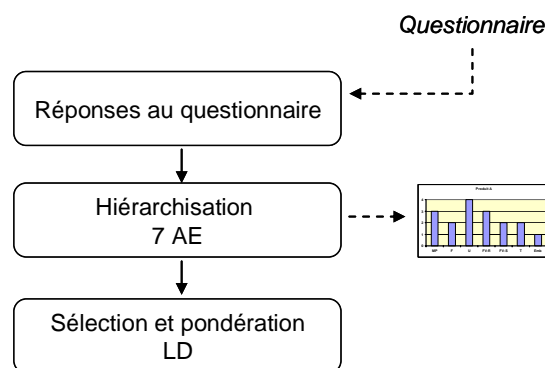


Figure 37. Détail des séquences de l'analyse environnementale.

□ **Réponses au questionnaire**

Le travail de réponse au questionnaire (cf. annexe 1) est un travail de groupe, réalisé entre le groupe projet et l'expert. Le questionnaire a été rempli préalablement par le groupe projet, dans le délai entre la session de sensibilisation et la réunion de travail de l'analyse environnementale (le questionnaire a donc été remis au groupe projet au terme de la session de sensibilisation). La revue des réponses, en groupe avec l'expert, permet en fait de « valider » ces réponses, en arbitrant les doutes inhérents à des ambiguïtés, des divergences d'interprétations entre les différents membres du groupe, toujours

possibles à ce niveau du projet, le « gap culturel », encore existant, participant d'un défaut de maîtrise du vocabulaire et des concepts.

Cette phase, constituée d'abord d'un travail en groupe réalisé de manière autonome par rapport à l'aide extérieure, suivie d'une séance de « correction » des erreurs par encadrement de l'expert, participe de l'apprentissage collectif³⁸.

❑ **Hierarchisation des aspects environnementaux**

Les réponses au questionnaire sont analysées automatiquement par l'outil ATEP. Le résultat est la hiérarchisation des sept aspects environnementaux sous forme d'un graphique en barres.

❑ **Sélection et pondération environnementale des lignes directrices**

Une ligne directrice (LD) est une règle pour l'amélioration d'un aspect environnemental particulier du cycle de vie du produit (cf. annexes 3A et 3B). L'ensemble des lignes directrices constitue ainsi l'état de l'art des pistes à développer pour une (re)conception environnementale des produits. Le classement que nous proposons de ces lignes directrices, représenté par l'arborescence de la figure 38 d'après une synthèse réalisée sur la base des travaux de Van Hemel et Wimmer & Züst [Hemel 98 ; Wimmer 01], est destiné à faciliter la recherche et la sélection de lignes directrices pertinentes parmi l'ensemble des lignes directrices.

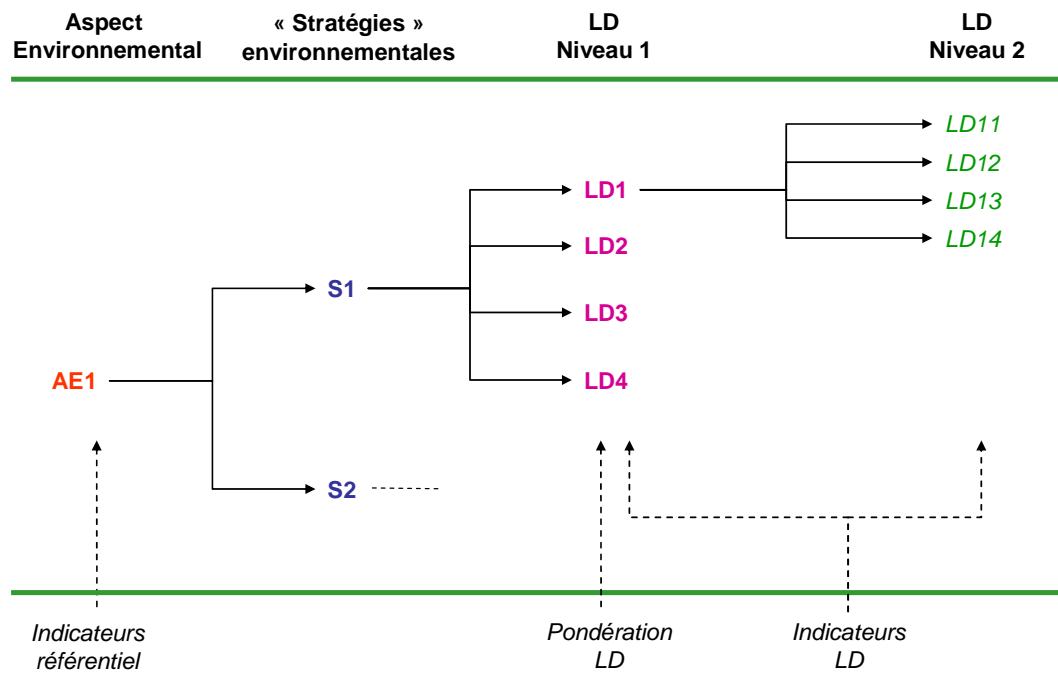


Figure 38. Structure de l'arborescence proposée pour le classement des lignes directrices, depuis les aspects environnementaux jusqu'aux lignes directrices.

³⁸ Argyris affirme que « nous apprenons quand nous détectons une erreur et que nous la corrigeons. [...] Nous apprenons également quand nous obtenons pour la première fois une concordance entre l'intention et le résultat. » [Argyris 00], p. 17.

Le détail des « stratégies » environnementales et des lignes directrices, ainsi que l'arborescence complète depuis les aspects environnementaux jusqu'aux lignes directrices de niveau 2, sont fournis en annexe 3.

ATEP sélectionne les lignes directrices de niveau 1 pertinentes pour la conception, en fonction des résultats de l'analyse environnementale du produit. Les lignes directrices sont affectées automatiquement de la pondération relative à l'aspect environnemental (AE) auquel elles sont rattachées.

Au cours d'une séance de travail en groupe, l'expert reprend une par une, en les explicitant au groupe projet, les lignes directrices sélectionnées. L'objectif de ce travail est de permettre à chacun des participants, grâce à un travail d'explicitation et de questionnement, de commencer à établir les liens cognitifs entre, d'une part l'expression des contraintes environnementales et, d'autre part les contraintes propres à son métier ou sa spécialité (BE, logistique, industrialisation, marketing, etc.).

❑ **Pondération stratégique**

À ce stade, les participants du groupe projet ont pris connaissance des lignes directrices pertinentes pour la conception environnementale de leur produit, ainsi que de leur pondération environnementale respective. Ces lignes directrices doivent maintenant être évaluées au regard des autres contraintes de l'entreprise, et notamment :

- Les contraintes de la stratégie générale de l'entreprise : dans quelle mesure chacune des lignes directrices correspond-elle aux divers axes stratégiques de l'entreprise (positionnement marché, stratégie marketing, stratégie d'approvisionnement, stratégie d'innovation, etc.) ? Vient-elle renforcer certains de ces axes, s'y oppose-t-elle, ou est-elle sans incidence ?
- Les aspects technico-économiques : ces lignes directrices peuvent-elles être mises en œuvre de manière réaliste, sont-elles réalisables techniquement, et si oui à quel coût et à quelle échéance (court terme, moyen terme, long terme) ?

Cette pondération stratégique est réalisée de manière autonome par le groupe projet. L'explicitation de chacune des lignes directrices a normalement permis à chacun des membres du groupe de saisir leurs tenants et aboutissants respectifs pour son métier et son activité. Chacun est donc en mesure d'estimer l'importance stratégique de chacune des lignes directrices, en rapport avec son propre métier.

Concrètement, les métiers techniques évaluent la faisabilité technico-économique des lignes directrices. La pondération stratégique, qui va sanctionner la pondération finale de chacune des lignes directrices, est réalisée par les membres de la direction générale en charge des activités stratégiques³⁹, les éléments de pondération environnementale et technico-économique constituant alors des éléments d'aide à la décision.

Le principe de la pondération stratégique est illustré par la figure 39.

³⁹ La direction générale (DG) pour la stratégie générale (vision de l'entreprise), la direction marketing, la direction des achats, etc. Il est fort probable que, dans les PME, ces fonctions soient concentrées dans un nombre restreint de représentants, voire dans la personne unique du dirigeant de la PME. Ceci ne remet toutefois pas en cause le principe de la pondération stratégique.

Lignes directrices		Pondération Environnement [0, 4]	Faisabilité technico-économique [0, 4]	Pondération stratégique [0, 2]	Note finale
LD 1	LD11 LD12 LD13 ...	2	2	2	8
LD2	LD21 LD22 ...	4	1	1	5
LD3	LD31 LD32 ...	3	4	0	0

= (4 + 1) x 1

Figure 39. Principe de la pondération stratégique (exemple).

L'expert apporte son avis sur la pondération définitive des lignes directrices, de manière à éviter d'éventuelles confusions et pour arbitrer, par son apport de connaissances, entre des points de vue divergents au sein de l'entreprise.

❑ Indicateurs, outils et données

La conception environnementale du produit va consister à mettre en œuvre les lignes directrices sélectionnées par le groupe projet suite à la phase de pondération.

L'exemple détaillé dans l'encadré page 159 fournit une illustration des propos généraux suivants.

Afin de réaliser la conception environnementale, le groupe projet a besoin :

- d'indicateurs pour mesurer l'existant et valider les choix de conception.
- d'outils support pour l'aide au choix des décisions de conception.
- de données environnementales concernant le cycle de vie du produit, pour alimenter les outils et les indicateurs.

La méthode MAIECO fournit, pour chacune des lignes directrices, une liste d'indicateurs (cf. le tableau en annexe 3A). Le groupe projet, assisté de l'expert, sélectionne dans la liste les indicateurs qui lui semblent être les mieux adaptés à son cas. Deux types d'indicateurs sont sélectionnés :

- Les indicateurs du référentiel environnemental produit. Chacun des sept aspects environnementaux est représenté par un ou plusieurs indicateurs, l'ensemble des indicateurs pour chacun des sept aspects formant le référentiel environnemental du produit (figure 40). L'objectif de ce référentiel est de pouvoir conserver une vision multicritère de la qualité environnementale du produit dans son évolution, et ceci même si les axes de reconception sélectionnés ne portent pas sur l'ensemble des sept aspects. La nécessité de définir un référentiel environnemental produit est justifiée par le problème des transferts entre impacts environnementaux. Grâce à ce référentiel, l'entreprise garde une vision globale de son produit et peut s'inscrire dans une démarche

temporelle d'amélioration continue. Le référentiel permet, dans le processus de conception, de mesurer la qualité environnementale du produit avant et après la reconception afin de mesurer les évolutions.

- Les indicateurs de suivi, propres à chacune des lignes directrices, permettant de valider les choix de conception des solutions techniques.

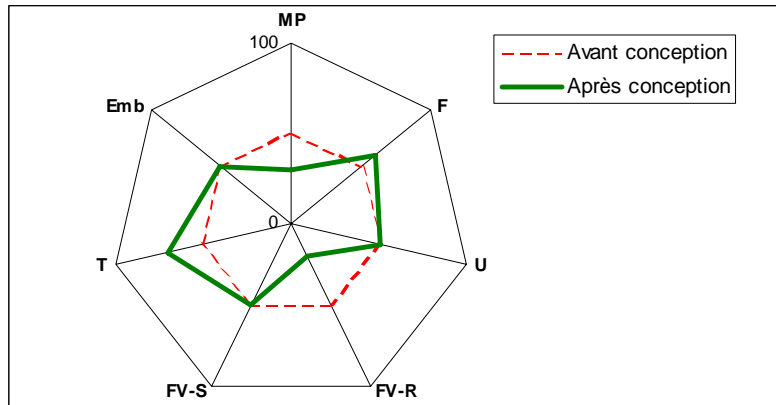


Figure 40. Référentiel environnemental produit (exemple).

En fonction des lignes directrices retenues par le groupe projet, l'expert sélectionne dans la base de données de MAIECO les outils support BE à mettre à disposition de l'équipe projet. A titre d'exemple, ces outils peuvent être des bases de données matériaux focalisées sur des critères environnementaux (recyclabilité, contenu énergétique, etc.), une matrice de compatibilité chimique des plastique, ou encore un outil d'aide au choix de procédés. La liste complète des outils support BE que nous proposons dans la méthode MAIECO est fournie en annexe 4.

Le groupe projet apprend à manipuler ces outils avec l'expert sur le projet pilote, lors de la mise en oeuvre des lignes directrices sélectionnées.

L'expert, par son expérience, identifie rapidement les données nécessaires à la réalisation du processus de conception environnemental. Les données requises sont fonction des lignes directrices et des indicateurs sélectionnés. L'expert détermine et communique au groupe projet :

- les circuits d'informations environnementales, et
- le type de données à acquérir (quelles sont les données nécessaires, où se trouvent les données, et quels moyens faut-il mettre en oeuvre pour les acquérir).

Le travail de collecte des données est ensuite réalisé par le groupe projet, sur la base des éléments fournis par l'expert.

L'expert fournit également aux concepteurs du groupe projet des références (sites internet, ouvrages, adresses, etc.) de bases de données d'exemples de réalisations de produits éco-conçus, des « matériauthèques », et tout type de support pouvant permettre l'illustration et la génération d'idées à « bénéfice environnemental » lors du processus de conception.

EXEMPLE

L'entreprise a choisi de mettre en œuvre les deux lignes directrices suivantes (attachées à l'aspect environnemental MP) :

LD1 : Réduire le poids du produit

LD2 : Accroître le contenu du produit en matériaux recyclés

Le groupe projet sélectionne les deux indicateurs de suivi respectifs :

LD1 : masse totale du produit (y compris emballages) en kg

LD2 : % massique de matériaux recyclés

L'indicateur global pour le référentiel environnemental du produit (aspect MP) est construit de la manière suivante par le groupe projet :

$$I_{(MP)\text{référentiel}} = M_{\text{totale}} - M_{\text{part recyclée des matériaux}} \text{ (kg)}$$

L'outil support requis pour la LD2 est la table indiquant le contenu moyen en matériau recyclé de chaque grande famille de matériaux.

Toutefois, des données plus précises et plus complètes concernant le contenu en matière recyclée peuvent éventuellement être obtenues directement chez les fournisseurs de matières premières. Cette collecte d'information est alors du ressort du service achats de l'entreprise.

□ Capitalisation

Le travail de capitalisation du retour d'expérience du projet pilote recouvre deux réalités différentes selon qu'il est réalisé par l'expert ou par l'entreprise, même si dans les deux cas il répond à un impératif d'amélioration continue.

Capitalisation par l'expert

La méthode MAIECO nécessite une mise à jour régulière reposant sur la capitalisation des retours d'expérience. Ces mises à jours sont réalisées par l'exploitant de la méthode, représenté par l'expert. Pour l'expert, il s'agit donc dans le cadre de la nécessaire amélioration continue de la typologie environnementale, de capitaliser le retour d'expérience dans le but :

- d'améliorer la typologie, pour affiner l'analyse environnementale avec ATEP, en particulier les valeurs seuils heuristiques : nouveau(x) critère(s) produit, seuils des valeurs, règles par combinaison des critères, exceptions aux postulats, etc. Cela nécessite, si besoin, de venir modifier à la fois l'algorithme et le questionnaire ;
- d'enrichir la base de données de MAIECO : acquisition de nouvelles données environnementales (matériaux, procédés, consommations, etc.), enrichissement de la liste d'indicateurs, etc.
- D'enrichir sa propre expertise, donc d'accroître son niveau d'expertise.

Pour l'outil d'analyse environnementale ATEP, ainsi que pour l'enrichissement de sa propre expertise, le retour d'expérience par l'expert est fait par confrontation des résultats obtenus sur les projets pilotes avec des résultats « de référence » publiés par la communauté des experts de l'ACV et de l'éco-conception.

Afin de vérifier la validité et d'affiner peu à peu l'outil ATEP, l'expert peut, de sa propre initiative, procéder au cas par cas à la réalisation d'ACV ou d'ACV simplifiées avec des logiciels.

Capitalisation par l'entreprise

La capitalisation du retour d'expérience par l'entreprise rentre dans le cadre du processus d'apprentissage, qui doit conduire à une intégration pérenne. La phase de capitalisation doit permettre à l'entreprise de gérer les connaissances acquises lors du projet pilote, afin de réutiliser ces connaissances et compétences dans le cadre de nouveaux projets devant conduire, in fine, à l'acquisition de pratiques « routinières » lors du processus de conception. C'est donc une étape clé de l'intégration de l'éco-conception. Bien que préconisée par la méthode MAIECO, et éventuellement structurée par l'expert dans le cadre de son accompagnement, cette étape reste nécessairement du ressort et de la responsabilité de l'entreprise.

c) Séquençage des différentes phases

Le tableau 22 explicite, pour chacune des phases détaillées précédemment, les actions correspondantes, les responsables et les protagonistes, les objectifs, et les liaisons entre les phases successives.

Phase		Actions	Qui ?	Objectifs et/ou Résultats	Actions consécutives	Qui ?	Echéance	
N°	Intitulé							
1	1.1	Sensibilisation	Session de sensibilisation et formation de l'entreprise aux sujets environnementaux et aux enjeux pour l'entreprise	Expert	- Transfert de connaissances - Adhésion du personnel de l'entreprise - Création d'une vision commune - Permettre aux éléments du groupe projet qui sera constitué de pouvoir répondre de manière autonome au questionnaire d'analyse environnementale.			
	1.2		Entretien / questionnaire « généraliste » sur l'entreprise (activité, marché, concurrents, etc.)	Expert et dirigeant de l'entreprise (ou responsable présumé du projet pilote)	Obtenir les éléments d'information qui vont permettre à l'expert de déterminer les intérêts stratégiques de l'entreprise / l'éco-conception	Validation de la pondération stratégique des LD par l'entreprise	Expert et DG	Phase 3.2
	1.3					Remise du questionnaire d'analyse environnementale à l'entreprise	Expert	Phase 2
	1.4					Constitution d'un groupe projet	Entreprise	Phase 2
	1.5					Choix d'un produit représentatif	Entreprise et expert	Phase 2
2	2.0	Analyse Typologique Environnementale	Réunion de travail : - Réponses au questionnaire - Analyse / ATEP	- Expert - Groupe projet	- Hiérarchisation des 7 AE - Sélection et pondération environnementale des LD	Pondération stratégique	Entreprise	Phase 3
3	3.1	Pondération stratégique	Pondération des LD / faisabilité technico-économique	Groupe projet (métiers)	Pondération technico-économique des LD	Pondération stratégique	Entreprise (DG)	Phase 3.2
	3.2		Pondération des LD / stratégie générale de l'entreprise	- Entreprise (direction générale) - Expert (« validation »)	Pondération finale des LD	Sélection des LD pour la (re)conception environnementale du produit	Groupe projet	Phase 4

Suite du tableau 22 ...

Phase		Actions	Qui ?	Objectifs et/ou Résultats	Actions consécutives	Qui ?	Echéance		
N°	Intitulé								
4	4.1	Conception / Reconception	Choix des indicateurs	- Groupe projet - Expert	Permettre la conception environnementale : - Analyse de l'existant - Etude et choix de solutions - Validation	Utilisation des indicateurs : pour calculer les référentiel environnemental produit, comme indicateurs de suivi des LD	- Groupe projet - Expert	Echéance de fin de projet pilote	
	4.2		Sélection des outils d'aide BE	Expert					Utiliser les outils
	4.3		Identifications des données environnementales produit						Collecter les données
5	5.1	Capitalisation	Capitaliser le retour d'expérience du projet pilote	Expert	- Améliorer ATEP (affiner l'analyse typologique environnementale) - Enrichir la base de données de MAIECO - Accroître son niveau d'expertise				
	5.2		Capitaliser le retour d'expérience du projet pilote	- Groupe projet - Entreprise	Processus d'apprentissage (combinaison des savoirs et internaliser les connaissances)	Déployer la démarche d'éco-conception à l'ensemble des produits de l'entreprise	- Entreprise - Groupe Projet	A déterminer par l'entreprise (stratégie d'amélioration continue)	

Tableau 22. Explication et séquençage des différentes phases de la méthode MAIECO.

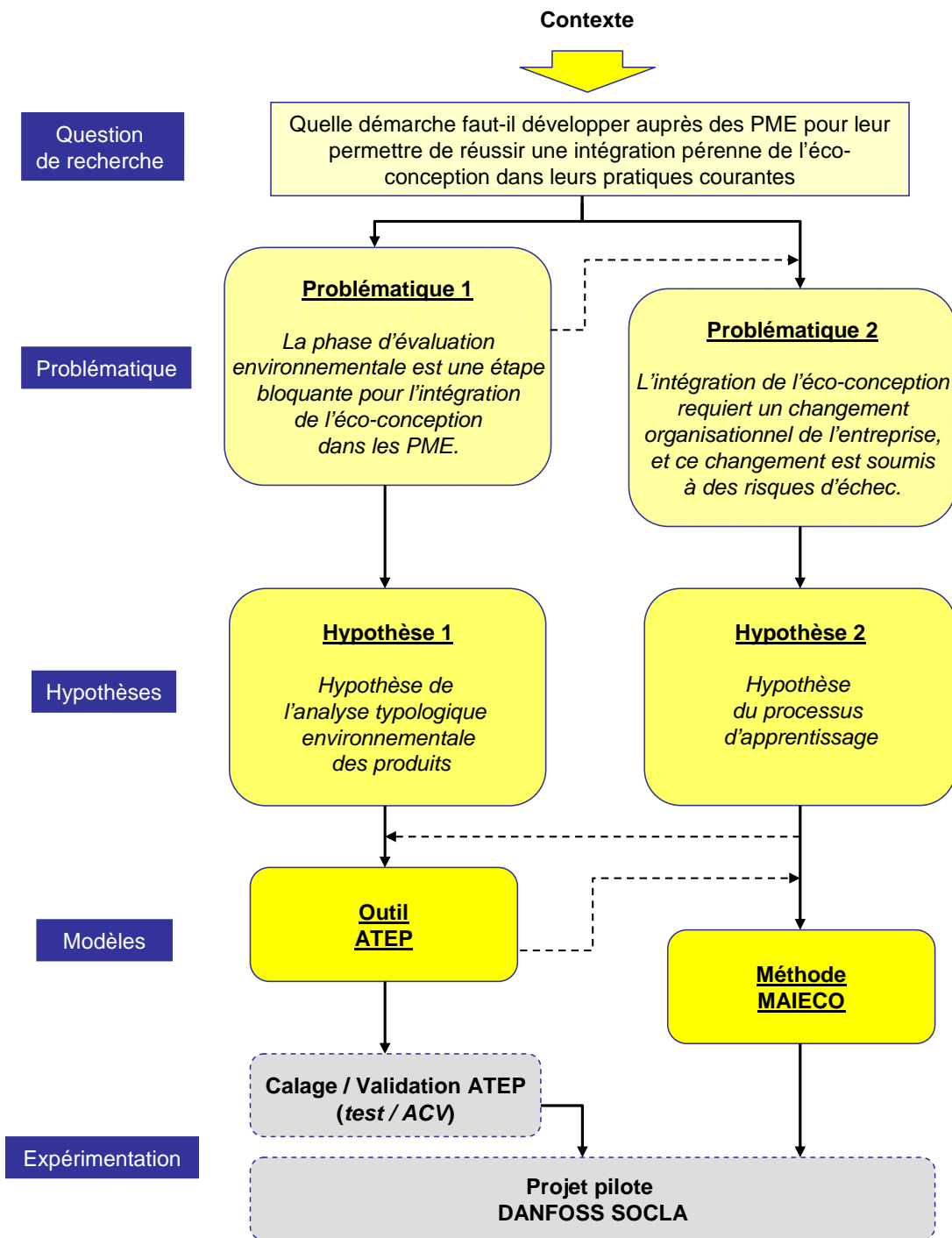


Figure 41. Synoptique général de notre démarche de recherche.

2. EXPERIMENTATIONS

La phase expérimentale de notre travail de thèse a pour objectif d'éprouver les deux modèles, ATEP et MAIECO, que nous proposons, et de valider les hypothèses que nous avons formulées (cf. figure 41).

La phase d'expérimentation se divise en deux étapes distinctes :

- Une validation initiale de l'outil ATEP, par la mise en œuvre d'un protocole de tests de comparaison par rapport à une méthode ACV de référence.
- Un projet pilote d'accompagnement à l'intégration de l'éco-conception avec la société DANFOSS SOCLA.

2.1. Calage et validation initiale de l'outil ATEP

La phase expérimentale concernant l'outil ATEP a pour objectif une validation initiale de l'outil. En effet, nous rappelons que l'outil ATEP s'inscrit, par principe, dans un processus d'amélioration continue. En conséquence, il est destiné à être régulièrement validé.

Dans le cadre de cette phase expérimentale, la validation initiale consiste à juger, à l'aune des résultats expérimentaux, de la solidité de l'hypothèse de l'analyse typologique, afin de vérifier que le modèle que nous proposons peut servir de base pour l'outil ATEP destiné à être continûment amélioré.

Dans le but de réaliser cette validation initiale, nous avons établi un protocole expérimental de comparaison entre les résultats fournis, d'une part par l'outil d'analyse typologique environnementale ATEP, et d'autre part par une méthode ACV, prise comme outil d'évaluation environnementale de référence.

L'objectif de ce travail est de tester la pertinence et la fiabilité des résultats d'analyse donnés par ATEP.

Le protocole expérimental est celui illustré par la figure 42. Il est basé sur la comparaison des résultats de dix cas d'étude représentant dix produits différents.

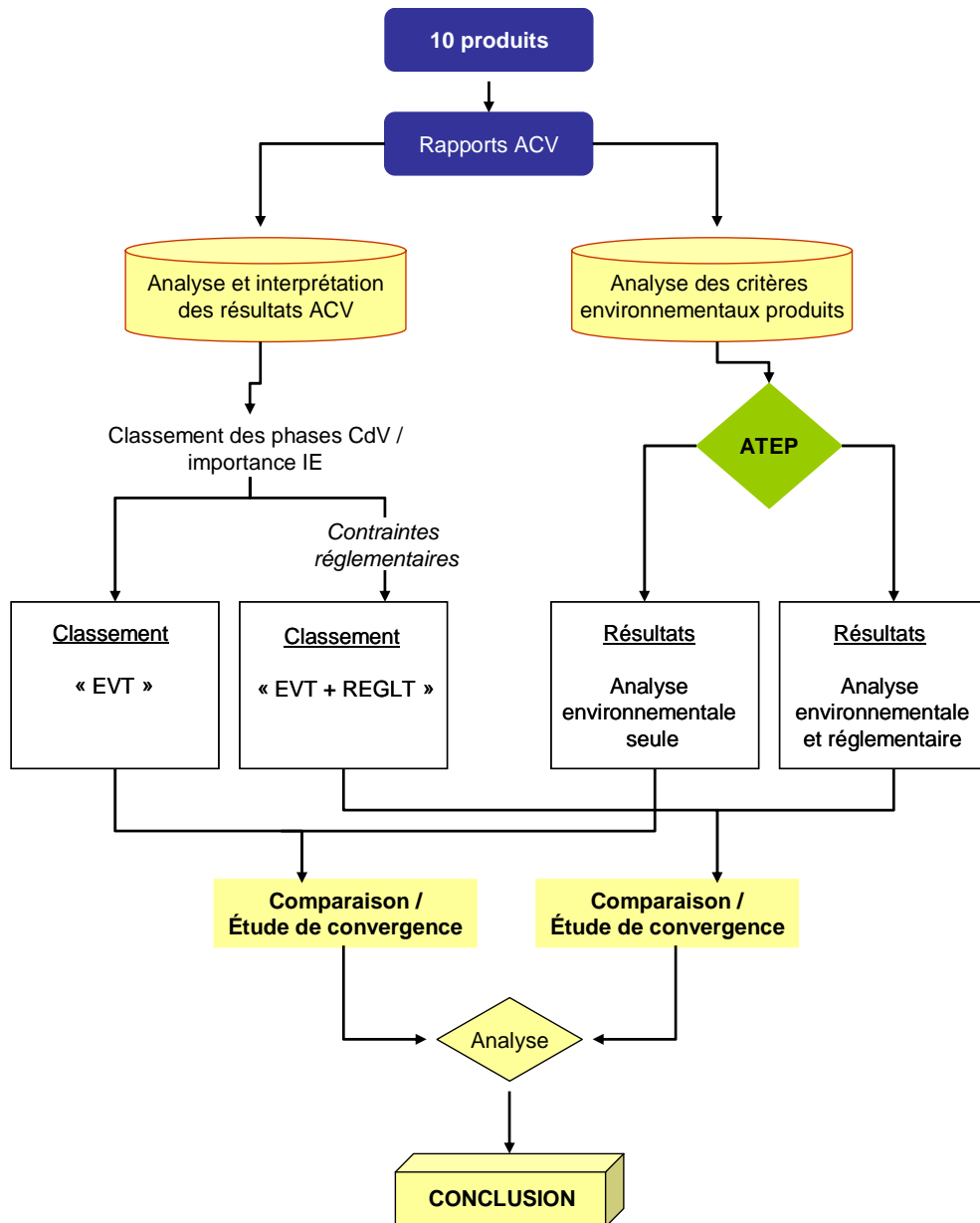


Figure 42. Synoptique de la démarche expérimentale de comparaison des résultats.

2.1.1. Choix des cas d'études

Le choix des dix produits étudiés, parmi l'ensemble des cas d'études potentiels disponibles dans la littérature et dans notre propre base de cas d'étude, a été déterminé par la prise en considération des trois contraintes suivantes :

- La nécessité de disposer d'un maximum de cas d'étude pour la comparaison, la solidité des résultats comparatifs étant lié au nombre de cas d'étude sur lesquels s'appuie la comparaison.
- La disponibilité, pour chacun des cas d'étude, d'un rapport d'étude ACV un minimum détaillé. De nombreux résultats d'études ACV sont disponibles dans la littérature sous formes d'articles, par le

biais notamment de la revue *IJLCA*⁴⁰. Toutefois, ces articles, forcément synthétiques, ne donnent que peu de renseignements sur les hypothèses de l'étude. Or, l'accès au rapport détaillé de l'étude ACV nous est nécessaire pour permettre de prendre connaissance des hypothèses retenues pour le champ de l'étude, et ainsi:

- de pouvoir interpréter correctement les résultats de l'ACV, qui sont fonction de ces hypothèses [AFNOR 00a];
 - de pouvoir identifier les critères environnementaux respectifs des différents produits, pour pouvoir procéder à l'analyse typologique avec ATEP.
- Choix d'une méthode ACV identique pour les études de cas retenues. Les résultats d'une ACV sont relativement sensibles à la méthode d'évaluation utilisée. L'ACV étant ici utilisée comme une méthode de référence dans l'optique d'un travail de comparaison, il est important que la méthode d'ACV soit la même pour tous les cas d'étude.

La prise en compte de ces trois contraintes conjuguées nous a conduit au choix des dix cas d'étude répertoriés dans le tableau 23. Parmi ces dix cas d'étude, sept sont issus de la littérature et trois sont des cas d'étude que nous avons réalisés ou auxquels nous avons pris part dans le cadre de projets industriels.

La méthode ACV utilisée pour ces cas d'étude, et que nous retenons comme méthode de référence dans notre expérimentation, est la méthode EDIP [Wenzel 00 ; Hauschild 98].

	Produit	Société	Source	Méthode ACV
1	Siège de bureau	STEELCASE	[Bey 03] ⁴¹	EDIP
2	Canette aluminium	<i>Non précisé (cas générique)</i>	[DEPA 98]	EDIP
3	Réfrigérateur	GRAM	[Wenzel 00]	EDIP
4	Pompe de relevage	GRUNDFOS	[Wenzel 00]	EDIP
5	Téléviseur	BANG & OLUFSEN	[Wenzel 00]	EDIP
6	Nettoyeur HP	KEW INDUSTRI	[Wenzel 00]	EDIP
7	Vanne électro-hydraulique	DANFOSS	[Wenzel 00]	EDIP
8	Vérin hydraulique	BOSCH REXROTH	[Le Pochat] ⁴²	EDIP
9	Clapet de non retour	DANFOSS SOCLA	[Le Pochat] ⁴³	EDIP
10	Cafetière électrique	<i>Non précisé (produit générique)</i>	[PRé Consultants] ⁴⁴	EDIP

Tableau 23. Dix cas d'études utilisés pour la comparaison expérimentale des résultats obtenus avec ATEP.

2.1.2. Champ de la comparaison

La comparaison des résultats obtenus pour chacun des dix produits, respectivement avec EDIP et avec ATEP, porte sur deux champs d'analyse distincts :

⁴⁰ International Journal of LCA.

⁴¹ Bey, N. LCA of the task chair PLEASE, Report, IPU-TU Denmark, 2003.

⁴² Le Pochat, S. Analyse du cycle de vie d'un vérin H 160 SBU. Rapport, ENSAM Chambéry & CETIM, septembre 2003.

⁴³ Cas d'étude réalisé dans le cadre du projet pilote d'accompagnement à l'éco-conception dans la société DANFOSS SOCLA (cf. § 2.2 p. 173).

⁴⁴ Cas d'étude, fourni à titre de démonstration dans le logiciel SimaPro, PRé Consultants.

- D'une part, les résultats de l'analyse environnementale, strictement : ne sont prises en compte que les considérations environnementales. L'objectif de la comparaison des résultats d'analyse environnementale stricte est de tester la pertinence et la fiabilité des résultats environnementaux donnés par ATEP. C'est ainsi la base de règles environnementales qui est testée.
- D'autre part, les résultats de l'analyse globale, combinant l'analyse environnementale stricte et l'analyse réglementaire du produit. L'objectif de cette comparaison est de tester la pertinence et la fiabilité des résultats de l'analyse globale donnés par ATEP, c'est-à-dire la fiabilité de l'algorithme.

2.1.3. Résultats obtenus avec la méthode ACV EDIP

Pour pouvoir être comparés, les résultats obtenus avec chacune des deux méthodes doivent être exprimés sous la même forme. Cela nécessite que les résultats ACV soient préalablement analysés et interprétés.

L'analyse et l'interprétation des résultats sont rendues nécessaires du fait que, dans l'absolu, les résultats obtenus respectivement avec EDIP et avec ATEP ne sont pas comparables. En effet, EDIP, en tant que méthode ACV, donne une évaluation quantitative « absolue » exprimée sous la forme de catégories d'impacts environnementaux⁴⁵. ATEP, au contraire, exprime les résultats d'une analyse semi-quantitative sous la forme d'une hiérarchisation de l'importance relative des phases du cycle de vie les unes par rapport aux autres. De plus, pour l'ACV, les résultats, bien que relatifs aux mêmes catégories d'impacts, peuvent être exprimés de manières différentes, qui sont fonction de choix propres à l'auteur de l'étude⁴⁶.

Le travail préalable d'analyse et d'interprétation a donc consisté à exprimer les résultats ACV donnés dans les différentes études sous la forme de résultats comparables aux résultats donnés par ATEP. Concrètement, cela a consisté à établir un classement des cinq phases du cycle de vie du produit. Ce classement est rendu possible, car l'ACV permet d'attribuer une valeur quantifiée unique à chacune des cinq phases.

L'analyse et l'interprétation des résultats du rapport ACV permettent ainsi d'établir un classement des phases du cycle de vie du produit, basé uniquement sur des considérations environnementales. Dans un deuxième temps, nous combinons ces résultats environnementaux d'ACV à une analyse de la réglementation applicable, le cas échéant, au produit. Sur la base du principe, établi par convention pour la construction de notre base de règles, que les contraintes réglementaires sont prioritaires, nous modifions, si nécessaire, le classement établi, relatif aux seules considérations environnementales. Un exemple du principe de classement d'après des résultats ACV est donné dans le tableau 24, et une synthèse des résultats pour chacun des dix produits est donnée en annexe 5.

⁴⁵ Exemples de catégories d'impact environnementaux utilisés par la méthode EDIP : effet de serre, diminution de la couche d'ozone, toxicité chronique dans l'eau, toxicité humaine dans l'air, ressources (différenciées en 25 types différents de ressources fossiles et minérales), etc....

⁴⁶ Par exemple, certains auteurs incluent les matériaux d'emballage dans l'analyse du produit pour la phase MP, d'autres non, ou certains expriment les résultats pour le cycle de vie global du produit tandis que d'autres détaillent les résultats phase par phase, voire composant par composant. Ces différences dans l'expression des résultats nous obligent à rechercher et à retravailler l'analyse à partir des résultats intermédiaires donnés par les auteurs, voire à partir des données d'entrée, pour obtenir in fine des formes d'expressions comparables.

Nettoyeur HP. Source [Wenzel 00]				
Classement des phases du cycle de vie d'après les résultats ACV issus du rapport d'étude. Source [Wenzel 00]			Classement des phases du cycle de vie après prise en compte des contraintes réglementaires	
Phase du cycle de vie	Note environnementale (mPET)	Rang	Phases du cycle de vie	Rang
U	5,2	1	U, FV	1
MP	0,4	2	MP	3
F	0,25	3	F	4
FV	< 0,1	4	T	5
T	# 0	5		

Tableau 24. Exemple de classement des phases du cycle de vie, respectivement avec et sans prise en compte des contraintes réglementaires.

2.1.4. Résultats obtenus avec l'outil ATEP

ATEP, dans son usage prévu, ne fournit que les résultats de l'analyse globale, correspondant à la combinaison de l'analyse environnementale et de l'analyse réglementaire. Toutefois, pour les besoins du travail expérimental dans l'optique de la comparaison, nous avons exprimé, d'une part les résultats de l'analyse environnementale seule, et d'autre part les résultats de l'analyse environnementale combinés aux résultats de l'analyse réglementaire. Les résultats, dont un exemple apparaît dans le tableau 25, sont donnés pour les dix produits en annexe 6.

Nettoyeur HP. Source [Wenzel 00]			
Classement des aspects environnementaux obtenu par l'analyse environnementale, d'après ATEP.		Classement des aspects environnementaux obtenu par combinaison de l'analyse environnementale et de l'analyse réglementaire avec ATEP.	
Aspects environnementaux	Rang	Aspects environnementaux	Rang
MP, U	1	MP, U, FV-R, FV-S	1
FV-R, FV-S	3	F, Emb	5
F, Emb	5	T	7
T	7		

Tableau 25. Exemple de classement des aspects environnementaux par ATEP, respectivement avec et sans prise en compte des contraintes réglementaires.

2.1.5. Comparaison des résultats

2.1.5.1. Notion de convergence

Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus, d'une part avec la méthode ACV EDIP, et d'autre part avec ATEP, nous avons défini la notion de convergence.

La convergence est une notion qualitative exprimant la mesure dans laquelle les résultats fournis par chacune des deux méthodes conduisent aux mêmes conclusions, c'est-à-dire dans quelle mesure les résultats respectifs fournissent les mêmes indications pour l'aide à la prise de décision concernant les voies d'amélioration environnementale à traiter pour le produit analysé. En effet, et bien que les résultats d'une ACV et ceux de l'analyse typologique environnementale soient exprimés sous une forme différente, les conclusions que l'on peut tirer de ces résultats s'expriment in fine sous la forme identique des lignes directrices. Ainsi, les classements auxquels aboutit l'analyse des résultats fournis par chacune des deux méthodes permettent de comparer les conclusions auxquelles elles conduisent respectivement.

Afin d'évaluer le degré de convergence entre les résultats, nous avons défini trois niveaux de convergence. Les niveaux de convergence sont définis sur la base des trois premiers items⁴⁷ donnés par les classements respectifs des résultats de l'ACV et d'ATEP (tels qu'ils apparaissent, par exemple, dans les tableaux 24 et 25) :

- Convergence bonne (B) : les trois premiers items (rangs 1 à 3) des deux classements respectifs sont les mêmes et les items du premier rang sont les mêmes.
- Convergence assez bonne (AB) :
 - les trois premiers items des deux classements respectifs sont les mêmes mais les items du premier rang sont différents, ou
 - les deux premiers items des deux classements respectifs sont les mêmes et dans le même ordre.
- Convergence mauvaise (M) :
 - deux des trois premiers items sont les mêmes et le premier est différent, ou
 - deux des trois premiers items des deux classements respectifs sont différents.

Nous proposons de limiter la comparaison aux trois premiers items, car nous savons par expérience que les entreprises, dans une approche pragmatique relative à un produit en particulier, travaillent rarement sur plus de trois aspects en même temps.

2.1.5.2. Résultats des comparaisons pour les dix produits

Le test de convergence a été réalisé pour chacun des dix produits, sur les deux types de résultats d'analyse possible :

- L'analyse environnementale stricte (sans la réglementation – SR).
- L'analyse globale, combinant l'analyse environnementale et l'analyse réglementaire (avec la réglementation – AR), pour les six produits visés par une des directives produit.

Le tableau 26 récapitule les résultats des tests de convergence pour les dix produits et pour chacun des deux types d'analyse.

⁴⁷ Les items sont en fait les phases du cycle de vie du produit.

	Siège bureau		Canette		Réfrigérateur		Pompe		Téléviseur		Nettoyeur HP		Vanne EH		Cafetière		Vérin Hydraulique		Clapet non retour	
Convergence	SR	AR	SR	AR	SR	AR	SR	AR	SR	AR	SR	AR	SR	AR	SR	AR	SR	AR	SR	AR
B			X	X			X	X	X	X		X			X					
AB	X					X					X		X		X		X		X	
M					X															

Tableau 26. Tests de convergence des dix produits du protocole expérimental.

2.1.6. Analyse et conclusion

2.1.6.1. Résultats des tests de convergence

Le tableau 27 propose une analyse quantifiée des résultats des tests de convergence.

Niveau de convergence	B	AB	M	Nbre total de tests	% B	% (B + AB)
Type d'analyse						
SR	3	6	1	10	30	90
AR	5	1	0	6	83	100
% cas / nbre total cas	44	50	6			

Tableau 27. Analyse quantifiée des résultats de la série de tests de convergence.

L'analyse globale des tests de convergence sur les dix produits indique les résultats suivants :

☐ **Pour l'analyse environnementale stricte**

Dans 30 % des cas (3 cas sur 10), la convergence entre les résultats ACV et les résultats donnés par ATEP est bonne, et dans 90 % des cas (9 cas sur 10), la convergence est bonne ou assez bonne. Cela signifie que dans 90 % des cas, au minimum :

- soit les trois premiers items obtenus par classement avec chacune des deux méthodes EDIP et ATEP sont les mêmes,
- soit seuls les deux premiers items sont les mêmes, mais dans le même ordre (le premier item du classement est identique).

☐ **Pour l'analyse globale, combinant analyse environnementale et analyse réglementaire**

Dans 67 % des cas (4 cas sur 6), la convergence entre les résultats ACV et les résultats donnés par ATEP est bonne, et dans 100 % des cas (6 cas sur 6), la convergence est bonne ou assez bonne.

2.1.6.2. Discussion des résultats

Au préalable, il faut relativiser la portée des conclusions qu'il est possible de tirer de l'analyse des résultats de test. En effet, le nombre relativement faible de cas sur lesquels les tests ont été réalisés ne permettent pas de généraliser une approche statistique, et doit donc inciter à la réserve quant aux conclusions.

Toutefois, plusieurs remarques et arguments peuvent être avancés pour expliquer les divergences, ou au contraire les convergences, constatées entre les résultats obtenus respectivement avec les deux méthodes EDIP et ATEP.

a) **Concernant l'analyse environnementale stricte**

□ Le taux de bonne convergence relativement faible (30 %) s'explique principalement par la différence d'analyse portant sur la phase de fin de vie.

ATEP a tendance à noter défavorablement les produits sur leur aspect fin de vie⁴⁸ (recyclabilité et substances), contribuant donc à faire de cette phase du cycle de vie une phase prioritaire dans le classement d'importance finale. Au contraire, les problèmes techniques posés par la modélisation de la phase de fin de vie en ACV font que cette phase du cycle de vie est souvent, à l'instar de la phase de transport⁴⁹, si ce n'est « ignorée » par la modélisation, du moins sous-estimée par simplification excessive. Cette divergence d'approche, qui voit la phase de fin de vie être, d'un côté presque systématiquement incluse dans les priorités (ATEP), et d'un autre côté être presque systématiquement sous-évaluée (ACV), explique le faible taux de bonne convergence. Ainsi, lorsque l'exigence du test de convergence ne porte plus que sur deux items au lieu de trois (excluant de fait l'item fin de vie des critères de convergence), le taux de bonne convergence est de 90 %.

□ Les tests de convergence concernant l'analyse environnementale stricte ont pour objectif d'évaluer la fiabilité scientifique de la base de règles environnementales sur laquelle repose l'algorithme. Or, il nous paraît douteux qu'à cette fin l'ACV puisse servir de méthode de référence pour l'étalonnage des résultats donnés par ATEP, non pas en raison de la méthodologie de l'ACV qui est scientifiquement non contestable, mais en raison des biais introduits par les difficultés techniques de mises en œuvre qui grèvent la fiabilité scientifique des résultats⁵⁰. Ainsi, concernant notre outil d'analyse typologique, l'ACV ne doit pas être vue comme un outil de référence, mais comme un outil permettant, par interprétations correctives des résultats d'ACV, d'étalonner les règles environnementales d'ATEP dans le cadre d'une amélioration continue par retour d'expérience.

b) **Concernant l'analyse globale**

□ La première remarque à faire est que, d'un point de vue strictement probabiliste, il est mathématiquement logique que les résultats soient meilleurs pour l'analyse globale que pour l'analyse environnementale stricte. En effet, la combinaison avec l'analyse réglementaire a pour effet de déterminer, de facto, le rang d'un des items (concrètement la phase de fin de vie) dans le classement, ce qui réduit le test de convergence à la comparaison, non plus de trois items, mais de deux.

⁴⁸ Par exemple, en dessous d'un taux de recyclabilité de 80 %, qui se révèle être un taux exigeant que peu de produits atteignent (cf. tableau récapitulatif de l'annexe 5), le produit est noté défavorablement pour cet aspect qui prend donc un niveau minimum de 3 sur l'échelle de hiérarchisation des aspects environnementaux (cf. annexe 2).

⁴⁹ Cf note 27 p. 138.

⁵⁰ C'est la raison pour laquelle, comme nous l'avons déjà noté, les résultats de l'ACV ne peuvent être considérés, dans l'absolu comme des vérités scientifiques concernant la réalité des impacts environnementaux, et que la juste interprétation de ces résultats requiert un haut niveau d'expertise.

- Toutefois, cette remarque n'enlève rien à la pertinence des résultats car, dans une démarche d'éco-conception, c'est sur la base de cette analyse globale que vont se porter les choix concernant les voies d'amélioration, c'est-à-dire la sélection des lignes directrices pour la reconception du produit. Les résultats, donnant entre 67 % et 100 % de bonne convergence selon le degré d'exigence de la comparaison (B ou B + AB), apparaissent donc tout à fait satisfaisants dans l'évaluation de la fiabilité des résultats de l'analyse typologique environnementale. Cela signifie, en effet, que dans 100 % des cas testés, au moins les deux premiers items sont les mêmes que ceux obtenus avec la méthode ACV de référence.

2.1.6.3. Positionnement de l'outil ATEP par rapport à l'ACV

Notre propos n'est pas, dans cette thèse, d'affirmer qu'ATEP fournit une meilleure analyse que l'ACV. L'ACV reste l'outil d'analyse environnementale le plus performant, pour qui sait s'en servir.

Toutefois, notre propos est d'affirmer que l'ACV, en raison de sa complexité et des coûts de mise en œuvre qu'elle engendre n'est pas adaptée au contexte des PME dans lequel nous nous inscrivons. C'est un outil inutilisable dans les PME en raison du niveau d'expertise requis (cf. § 2.2.2, p. 83 et s.). L'ACV doit être un outil pour la recherche et le développement (R&D), utilisé au niveau des très grandes entreprises, des centres de recherche, des organismes d'Etats, etc., pour déterminer des choix technologiques et orienter des politiques.

La prise en compte des contraintes environnementales dans l'industrie ne peut être réalisée que de manière pragmatique.

ATEP et l'ACV ne se positionnent pas sur le même créneau et ne sont donc pas, à notre sens, en concurrence, mais sont au contraire complémentaires. ATEP permet de déterminer de manière pragmatique, rapide et simple des voies d'amélioration pour la conception environnementale des produits. Il ouvre un champ d'investigation pour l'amélioration environnementale. L'ACV permet, à un niveau « supérieur » (recherche), de déterminer les meilleurs choix environnementaux de solutions technologiques dont les experts prennent connaissance pour réaliser l'accompagnement des entreprises, et pour guider à leur tour les choix de conception environnementale.

Comme nous l'avons indiqué précédemment⁵¹, l'ACV doit servir d'outil d'étalonnage pour l'outil ATEP, dans le cadre de son amélioration continue.

2.1.6.4. Conclusion sur l'outil ATEP

L'objectif de cette phase expérimentale était d'éprouver l'outil ATEP, afin de valider l'hypothèse que nous avons formulée concernant l'analyse typologique environnementale.

Les tests de convergence, réalisés sur un échantillon de dix produits, permettent de mettre en évidence que l'outil d'analyse typologique environnementale que nous proposons fournit des résultats d'analyse pertinents et fiables dans le cadre d'une démarche d'éco-conception.

Ainsi, ces résultats expérimentaux constituent une validation initiale de l'outil ATEP. Nous pouvons donc également valider l'hypothèse 1 et affirmer que le principe de l'analyse typologique environnementale des produits est réalisable, et fournit potentiellement des résultats pertinents dans le cadre d'une démarche d'éco-conception.

⁵¹ Chap. 3, § 1.4.2.2-b Capitalisation, p. 159.

La prise en compte des contraintes réglementaires dans l'analyse renforce la fiabilité des résultats dans une démarche d'identification des priorités pour la reconception environnementale des produits en entreprise.

Comme nous l'avons déjà noté, ATEP doit être, par principe même de sa construction, soumis à un processus d'amélioration continue permettant de valider et d'affiner les règles environnementales sur lesquelles repose l'analyse. L'ACV doit, dans la mesure du possible, contribuer fort utilement à ce processus.

La discussion des résultats issus de ces tests de convergence met encore un peu plus en évidence que l'évaluation environnementale est un travail d'expert. Et, s'il est certain que tout expert peut réaliser une analyse environnementale pertinente des produits sur la base de sa seule expertise, c'est-à-dire sans l'aide d'outils dédiés à cette phase du processus d'éco-conception, nous avançons qu'un avantage supplémentaire d'ATEP est de fournir une analyse dont les résultats, grâce à l'algorithme, sont reproductibles, indépendamment de la personne réalisant l'analyse (si toutefois les réponses apportées au questionnaire d'analyse sont les mêmes quelle que soit cette personne). C'est cette indépendance vis-à-vis de la source d'expertise qui permet de mettre l'analyse environnementale à disposition des non experts et donc :

- d'une part de s'inscrire dans un processus d'apprentissage du groupe,
- d'autre part de diffuser plus largement l'éco-conception dans les PME.

2.2. Mise en œuvre de la méthode MAIECO dans la société DANFOSS SOCLA

Afin d'éprouver le modèle d'intégration de l'éco-conception par apprentissage que nous proposons, nous avons réalisé un projet pilote expérimental de déploiement de la démarche d'intégration de l'éco-conception, en collaboration avec une entreprise mécanicienne, la société DANFOSS SOCLA.

L'objectif de ce travail expérimental est de pouvoir mettre en évidence que le déploiement de la méthode MAIECO conduit effectivement aux changements nécessaires permettant à l'entreprise d'intégrer l'éco-conception.

Le protocole expérimental est schématisé sur la figure 43. Il comprend les phases suivantes :

- Déploiement de la méthode MAIECO dans l'entreprise, lors d'un accompagnement de projet s'appuyant sur deux produits de la gamme.
- Evaluation des changements organisationnels entraînés par la démarche d'intégration.
- Analyse et discussion des résultats.
- Conclusions et éventuelles propositions d'amélioration de la méthode (perspectives).

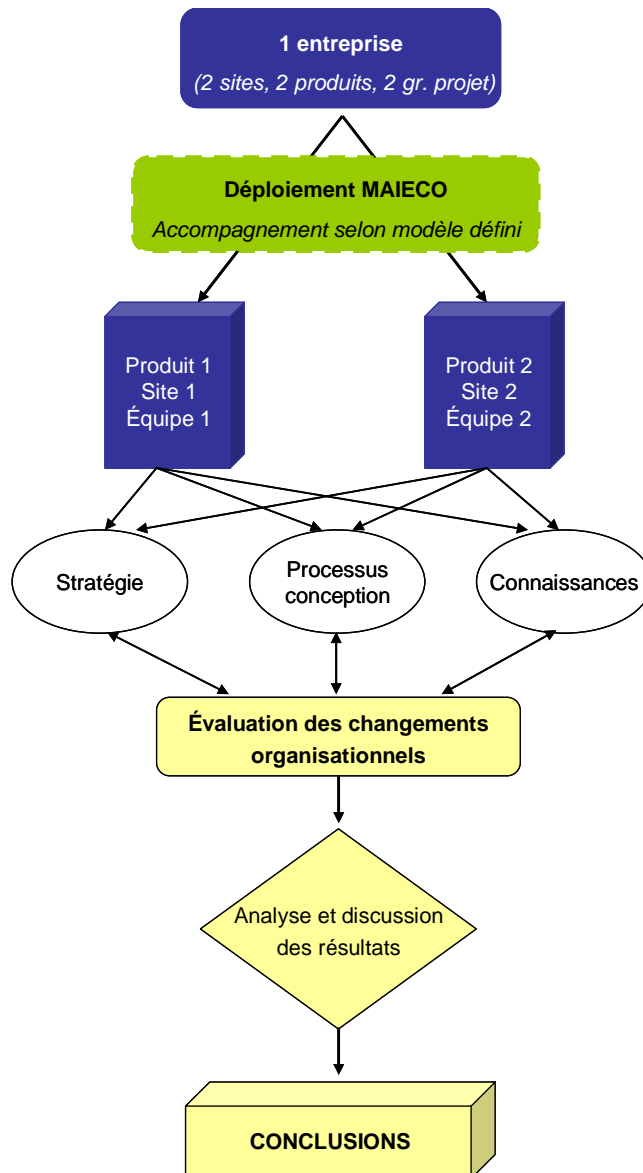


Figure 43. Protocole expérimental pour la mise en œuvre de MAIECO sur un projet pilote.

2.2.1. Démarche d'accompagnement mise en œuvre

Nous décrivons, dans cette partie, le déroulement des phases d'accompagnement que nous avons menées avec l'entreprise, dans le cadre du protocole expérimental défini. Cette partie spécifie les éléments de la phase expérimentale : l'entreprise, l'organisation du projet, les différentes séquences.

2.2.1.1. L'entreprise DANFOSS SOCLA

L'entreprise avec laquelle nous avons mené à bien cette expérimentation est la société DANFOSS SOCLA⁵². L'activité de DANFOSS SOCLA est la robinetterie industrielle. Cette société, dont le siège social se trouve à Virey-le-Grand (71) est une filiale française du groupe danois DANFOSS⁵³. Elle

⁵² www.danfoss-socla.fr/

⁵³ www.danfoss.com

représente l'unité principale de l'activité « Danfoss Water Control » du groupe. DANFOSS SOCLA compte environ 380 employés répartis dans deux usines en France, à Virey-le-Grand (71), et à Méry (73).

Les gammes de produits de DANFOSS SOCLA, conçus pour la conduite et le contrôle des fluides, se répartissent en quatre groupes selon leur fonction principale :

- Protection : disconnecteurs et systèmes de protection des réseaux, ...
- Non retour : clapets de non retour, ...
- Obturation : divers systèmes de vannes, ...
- Régulation : vannes de régulation, réducteurs de pression, ...

2.2.1.2. Le projet pilote

a) Objectifs et champ du projet

Les frontières du projet pilote ont été définies par le responsable du bureau d'études techniques (BET).

L'objectif de ce projet pilote est l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise, c'est-à-dire la prise en compte des contraintes environnementales dans les pratiques routinières de conception. L'objectif de l'entreprise, affiché dès le départ du projet, est d'obtenir la certification ISO 14001 pour l'activité de conception du BE⁵⁴.

Il ne s'agit pas, dans le cadre de ce projet pilote, de procéder à la reconception environnementale d'un produit, comme cela peut se faire habituellement pour servir de support de démonstration à l'intégration. L'objectif est la modification de l'organisation de l'entreprise. Toutefois, deux produits représentatifs des deux gammes de produits de DANFOSS SOCLA, seront analysés et serviront de support à la réflexion et à la démarche d'intégration.

In fine, l'objectif de l'entreprise est bien l'amélioration environnementale de ses produits, mais l'objectif premier de ce projet pilote est le déploiement direct d'une démarche d'éco-conception au niveau du BET. Il s'agit donc de modifier l'organisation de l'entreprise pour permettre par la suite l'amélioration environnementale des produits.

Le projet s'est appuyé sur l'analyse de deux produits test différents, chacun représentatif d'une gamme :

- une vanne papillon (équipée d'un moteur) ;
- un clapet de non retour.

⁵⁴ L'entreprise est par ailleurs certifiée ISO 14001 pour ses deux usines.

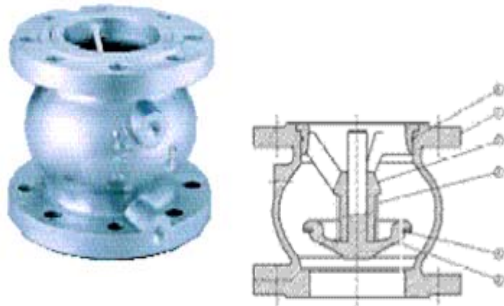


Figure 44a. Clapet de non retour.



Figure 44b. Vanne ENODIA motorisée.

Chaque produit est respectivement conçu et fabriqué dans une des deux usines de la société. Bien que le bureau d'études techniques soit commun aux deux sites⁵⁵, le projet a été articulé autour des deux pôles constitués par chacun des deux produits test. Les concepteurs étant dédiés aux types de produits qu'ils conçoivent, deux groupes projets ont été définis, pour chacun des deux produits test.

b) Les protagonistes

Les fonctions de pilotage du projet global, et notamment l'articulation entre les deux groupes projets, ont été assumées par le responsable BET.

Les groupes projet ont été constitués de telle sorte que chaque groupe comprenne, ou soit au minimum fonctionnellement représenté par une personne de chacun des métiers touchés par l'intégration de l'éco-conception : BET (concepteurs et méthodes), achats, marketing, logistique. D'autre part, le responsable du système de management de l'environnement (SME) et le responsable qualité sont intervenus dans les deux groupes en tant que fonction support. Enfin, diverses personnes de la direction générale, notamment le PDG, sont intervenus sur le projet lorsque leurs décisions s'avéraient nécessaires.

Notre rôle dans ce projet a naturellement été celui de l'accompagnateur du projet pilote.

⁵⁵ Le BET de DANFOSS SOCLA est une entité dont les moyens sont communs aux deux sites, bien que les ressources affectées soient fonction du type de produits conçus et fabriqués sur chacun des deux sites. Concrètement, il existe un seul BET à DANFOSS SOCLA, commun aux deux sites, mais les concepteurs sont dédiés à des gammes de produits spécifiques. Certaines fonctions transverses, et notamment l'encadrement du BET par le responsable, sont communes aux deux sites.

2.2.1.3. Les séquences de l'accompagnement et du déploiement dans l'entreprise

Le déroulement global du projet est présenté en figure 46. Le projet s'est déroulé sur 12 mois, depuis la session de sensibilisation jusqu'à la certification officielle ISO 41001 pour l'activité de conception⁵⁶. Le projet a comporté des phases d'interventions directes dans l'entreprise, sous forme de réunions de travail en groupe, et des phases intermédiaires de travail, internes à l'entreprise, c'est-à-dire sans accompagnement direct de notre part.

Les principales phases du projet d'intégration et actions dans l'entreprise sont décrites plus en détail par la suite.

a) Session de sensibilisation

La session de sensibilisation a été réalisée sur une journée pleine et a regroupé l'ensemble des personnes susceptibles d'être concernées par l'intégration de l'éco-conception : ensemble des métiers, fonctions transverses, responsables. Cette journée, dont l'introduction a été réalisée par le PDG, s'est déroulée en deux étapes :

- Une session de sensibilisation aux thèmes environnementaux, et plus particulièrement aux thèmes et notions propres à l'éco-conception : cycle de vie du produit, problématique des ressources, fin de vie des produits, etc. Les enjeux pour l'entreprise, qu'ils soient réglementaires ou relatifs à une stratégie marketing, ont par ailleurs été mis en avant.
- Une session de réflexion par groupes (« brainstorming »), sur le thème de l'éco-conception des produits de l'entreprise, devant mener, par le jeu d'une libre expression, à une confrontation et un échange d'idées.

b) Analyse environnementale

□ Questionnaire et analyse typologique environnementale

Suite à la session de sensibilisation, les deux produits test ayant été choisis et les deux groupes projet constitués, le questionnaire de l'analyse typologique environnementale a été remis à chacun des deux groupes. Ceux-ci ont travaillé de manière autonome en interne pour préparer les réponses au questionnaire.

Lors de la réunion de travail d'accompagnement suivante (1 réunion par groupe projet), nous avons repris les questions une par une et, ainsi, complété le questionnaire. Sur la base des réponses aux questionnaires, l'analyse globale (environnementale stricte et réglementaire) des deux produits a été réalisée avec ATEP.

Lors d'une réunion de travail suivante, les résultats de l'analyse typologique ont été présentés à chaque groupe projet. Chacune des lignes directrices sélectionnées, suite à l'analyse avec ATEP, a été commentée et discutée avec les membres du groupe projet.

⁵⁶ Il est important de noter que le processus de certification ne fait pas partie intégrante de la méthode MAIECO. Toutefois, nous utilisons cette démarche de certification, planifiée par l'entreprise, comme une opportunité, notamment en ce qui concerne l'exploitation des résultats (cf. § 2.2.2), la certification officielle par un organisme tiers pouvant être vue comme une reconnaissance d'une intégration réussie.

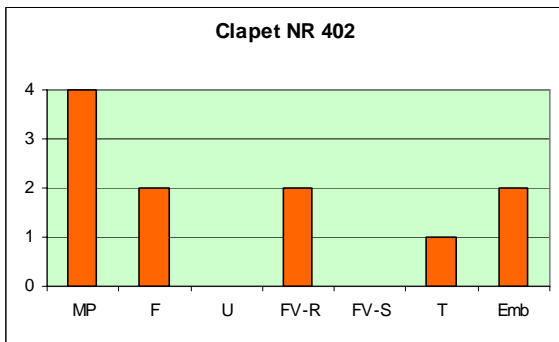


Figure 45a. Résultat de l'analyse du clapet NR 462 avec ATEP.

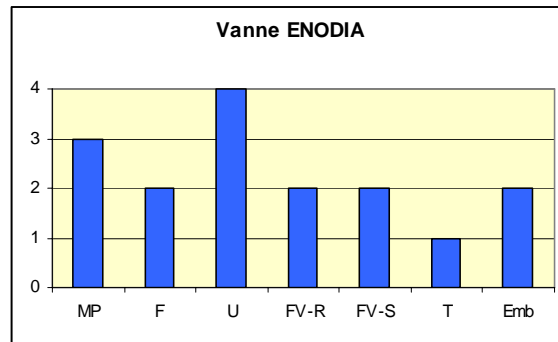


Figure 45b. Résultat de l'analyse de la vanne ENODIA motorisée avec ATEP.

□ **Stratégie**

Suite à ces réunions, l'objectif fixé a été de déterminer la stratégie d'éco-conception pour les produits et pour l'entreprise en général. Cet objectif a donné lieu à un travail interne d'évaluation de la faisabilité technico-économique des lignes directrices, ainsi qu'à une pondération stratégique. Ce travail de groupe à différents niveaux de l'entreprise a consisté :

- D'une part, à repérer les lignes directrices déjà mises en œuvre, indépendamment de l'éco-conception, notamment pour des raisons de coûts (par exemple l'approche « substances dangereuses » dans le cadre de l'ISO 14001, la réduction des étapes de fabrication pour des raisons de coûts, etc.) ;
- D'autre part, à identifier les aspects marketing potentiellement intéressants de chacune des lignes directrices ;
- Enfin, à établir le niveau d'urgence de mise en œuvre des lignes directrices (voir le résultat de ce travail en annexe 8A).

Suite à une première évaluation par les membres des groupes projet, les lignes directrices ont été présentées aux membres de la direction générale pour qu'ils statuent sur la stratégie à adopter et, conséquemment, sur les lignes directrices à retenir à court et moyen termes.

c) **Déploiement de la démarche par le BET**

Les deux produits test n'étant pas destinés à être reconçus dans l'immédiat, du moins dans le temps imparti pour le projet pilote, la décision a été prise par le responsable BET, suite à la validation des axes stratégiques par la direction générale, de déployer directement la démarche de prise en compte des contraintes environnementales dans la conception à l'ensemble des produits qui seront (re)conçus à partir de ce moment.

□ **Procédures**

Un travail interne au BET a conduit à modifier les procédures du dossier d'étude. Le dossier d'étude est le document sur lequel s'appuient les chefs de projet de développement de produit pour définir le cadre de l'étude, et notamment le cahier des charges du produit. Les nouvelles procédures « éco-conception » éditées contraignent les acteurs projet à intégrer les contraintes environnementales, définies par la stratégie d'entreprise (cf. § 2.2.2.1-b p. 182 et annexe 8A), dans la conception du produit.

En début de projet, le chef de projet du nouveau produit doit définir le cahier des charges, sous forme d'une checklist dans laquelle apparaît un renvoi obligatoire à « l'onglet éco-conception » du dossier d'étude.

Cet onglet éco-conception comprend la liste des lignes directrices sélectionnées par l'entreprise, ainsi que leur niveau d'importance stratégique. Chaque ligne directrice doit faire l'objet d'une réponse et sa non prise en compte doit être justifiée. Certaines sont obligatoires (soumises à réglementation ou définies comme stratégiques prioritaires par l'entreprise) et doivent alors être renseignées par le pilote du service responsable (par exemple BET, qualité, achats, etc.) indiqué dans l'onglet. Des lignes directrices supplémentaires peuvent éventuellement être renseignées, à la discrétion du chef de projet, selon qu'elles lui semblent pertinentes pour le produit en développement. Chacune des lignes directrices retenues pour le projet doit être renseignée par un indicateur de manière à pouvoir mesurer les évolutions environnementales de la conception du nouveau produit par rapport au produit remplacé.

En fin de projet, une phase de validation de l'étude, consistant à renseigner un onglet du dossier d'étude sous la forme d'une checklist, permet de s'assurer que les aspects environnementaux ont bien été pris en compte dans la conception du nouveau produit.

Un extrait de l'onglet éco-conception du dossier d'étude est fourni pour illustration en annexe 8B.

□ **Données**

La définition, avec les membres des groupes projet, des lignes directrices pour la conception environnementale des produits nous a permis de définir :

- Les outils d'aide pour la recherche de solutions d'amélioration environnementale pour le BET.
- Les données nécessaires au BET pour la réalisation des lignes directrices (par exemple, obtenir auprès des fournisseurs le contenu en matière recyclée des matériaux utilisés pour le produit).

Les outils et données dont nous disposions dans cette version initiale de la méthode MAIECO ont été intégrés au réseau intranet de l'entreprise pour permettre un accès facilité. Les données et outils encore manquants, ont été ciblés et définis comme action à réaliser dans un futur proche.

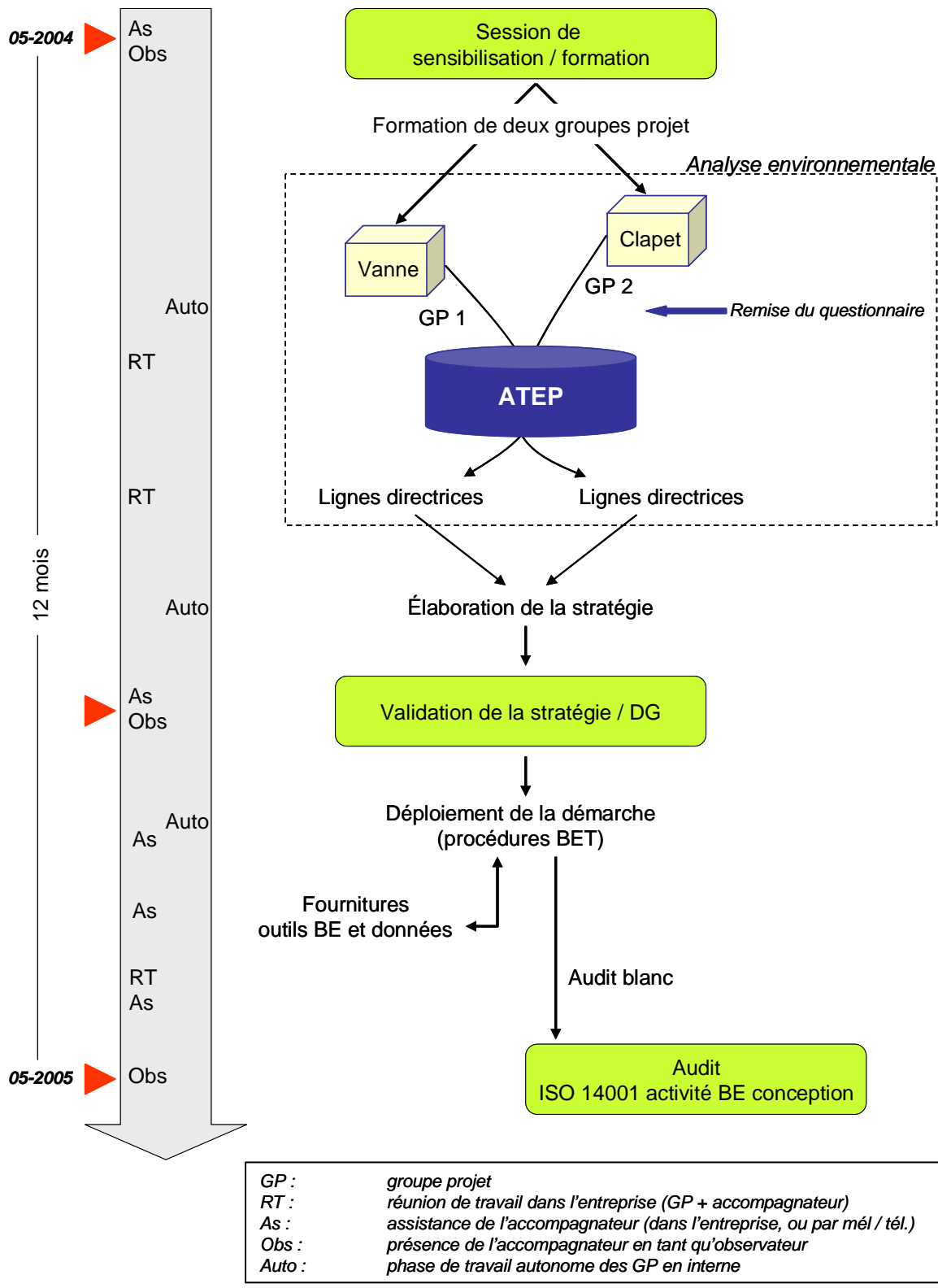


Figure 46. Déroulement de la démarche d'accompagnement réalisée pour l'intégration de l'éco-conception dans la société DANFOSS SOCLA.

2.2.2. Résultats mesurables de la démarche d'accompagnement

L'objectif de la démarche d'accompagnement que nous avons menée à DANFOSS SOCLA était de parvenir à l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise par un processus d'apprentissage et de conduite du changement.

Les résultats d'évaluation du changement organisationnel que nous mettons en avant doivent nous permettre de vérifier qu'il y a bien eu l'initiation d'un processus d'intégration dans l'entreprise.

Nous avons formulé l'hypothèse que pour faire évoluer l'entreprise, c'est-à-dire pour l'amener à réaliser le changement organisationnel nécessaire à l'intégration de l'éco-conception, il est nécessaire que l'entreprise :

- définisse sa stratégie « éco-conception »,
- modifie son processus de conception,
- acquière les connaissances et compétences, tant au niveau des individus que de l'organisation.

L'exploitation des résultats de cette phase expérimentale en entreprise doit donc nous permettre de vérifier que :

- d'une part, les objectifs concernant la stratégie, le processus de conception, et les connaissances et compétences, ont été réalisés,
- d'autre part, l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise est accomplie, et que cette phase est bien l'initiation d'un processus évolutif d'apprentissage organisationnel devant conduire l'entreprise à une amélioration continue de son niveau d'intégration et des performances d'éco-conception de ses produits.

Pour cela, nous allons donc, tour à tour, évaluer les changements réalisés au niveau de la stratégie, du processus de conception, et des connaissances et compétences. Puis nous évaluerons dans quelle mesure l'entreprise s'est appropriée une démarche d'éco-conception, preuve de l'intégration.

L'évaluation des changements organisationnels nous impose de définir préalablement pour chaque domaine analysé (stratégie, processus de conception et connaissances / compétences), des critères d'évaluation.

Ainsi, pour chaque domaine, nous proposons des critères et nous évaluons le changement sur la base de ces critères.

2.2.2.1. Stratégie

L'entreprise a modifié sa stratégie :

- en positionnant l'éco-conception dans sa politique générale, et
- en définissant une stratégie opérationnelle pour la conception de ses produits.

a) Politique de l'entreprise

Le groupe DANFOSS est signataire du « Global Compact »⁵⁷. DANFOSS SOCLA, en tant que société du groupe, adhère de facto à cet engagement. Suite au travail en interne sur la stratégie de

⁵⁷ Le Global Compact est un engagement volontaire signé par les entreprises, sous l'égide de l'ONU, regroupant un ensemble de principes de bonnes conduites relatives à la RSE – droits humains, droits du travail et environnement. <http://www.unglobalcompact.org>

l'entreprise, la direction générale de DANFOSS SOCLA a donc inscrit la conception environnementale des produits dans le périmètre de sa politique environnementale.

Par ailleurs, en interne, DANFOSS SOCLA a intégré l'éco-conception dans son système de management environnemental (couvrant les deux sites de production) en modifiant, lors du déploiement de la démarche au BET, une procédure du système ISO 14001 couvrant le champ d'application du SME. Ainsi, le SME étant l'émanation de la volonté d'engagement de la direction générale, l'éco-conception est-elle reconnue, aux yeux de l'ensemble du personnel de l'entreprise, comme un axe stratégique de la société.

b) Stratégie opérationnelle

Comme toute stratégie s'inscrivant dans un cycle Plan-Do-Check-Act⁵⁸, les stratégies définies dans la politique générale de l'entreprise doivent être déclinées en stratégies opérationnelles, reposant notamment sur la définition d'objectifs cibles et d'une planification. DANFOSS SOCLA a défini ses objectifs d'éco-conception jusqu'en 2007.

Suite à l'analyse typologique environnementale, les lignes directrices pertinentes pour l'entreprise ont été pondérées, du point de vue de leur importance stratégique globale, et au regard de leur faisabilité technico-économique.

La stratégie opérationnelle de l'entreprise a été déclinée sous le nom de « *stratégie globale de développement durable* ». Le tableau détaillant cette stratégie globale de développement durable pour l'ensemble des lignes directrices est reproduit en annexe 8A. Cette stratégie, revue régulièrement (une fois par an), fixe les priorités pour la conception environnementale des produits. Elle est déclinée dans le volet éco-conception du dossier d'étude au niveau du BET.

Les lignes directrices ont été classées selon une échelle d'importance, relative au niveau d'urgence de leur mise en œuvre. A chaque ligne directrice stratégique, c'est-à-dire devant donner lieu à une action, correspondent un moyen, un pilote, un objectif, un indicateur, et une échéance. Le tableau 29 illustre, sur la base de deux exemples, le déploiement des lignes directrices dans l'entreprise.

⁵⁸ Cycle PDCA de la roue de Deming, figurant le principe de l'amélioration continue sur lequel repose, notamment, les systèmes de management de la qualité et de l'environnement [AFNOR 04].

Ligne directrice	Quoi	Comment	Qui	Stratégique			Indicateur	Objectif
	Action	Moyen	Pilotes	Oui	Non	A partir de		
Inciter les sous-traitants à engager un SME	Classement des fournisseurs en 3 catégories : 1- indifférents à l'environnement 2- sensibilisés et ayant mis en place des actions (tri déchets, etc.) 3- certifiés ISO 14001	Evaluer les fournisseurs par rapport à ces 3 catégories. Objectif : état des lieux et les faire évoluer de cat. 1 vers cat. 3.	• Achats • Qualité	X		2005	% de fournisseurs évalués	40 % fin 05 80 % fin 06 100 % fin 07
Emballages en matériaux recyclables	Dans un premier temps, constituer et enrichir la BDD matériaux d'emballage.	Collecte des données environnementales matériaux	Méthodes Commercial Achats		X	2006	-	-

Tableau 29. Exemple de déclinaison des lignes directrices en actions stratégiques.

Les résultats mesurables concernant les modifications de la stratégie de l'entreprise, obtenus suite à la démarche d'accompagnement, sont exprimés dans le tableau 30. Ils montrent que l'entreprise a défini clairement sa stratégie relative à l'éco-conception, tant au niveau de sa politique générale qu'au niveau opérationnel. L'engagement de la direction générale y apparaît sans ambiguïté (l'environnement étant défini comme une valeur), et les moyens opérationnels sont clairement établis.

STRATEGIE				
	Critères	Valeurs		Remarques
		Oui	Non	
Stratégie Politique Générale	L'éco-conception apparaît dans politique générale	X		Adossée à la politique du groupe
	L'éco-conception est inscrite dans le SME validé par la Direction Générale	X		
Stratégie opérationnelle	Actions et moyens définis	X		Objectifs définis uniquement pour les lignes directrices jugées stratégiques
	Objectifs définis	X		
	Responsables désignés	X		
	Planification établie	X		

Tableau 30. Résultats mesurables obtenus concernant la modification de la stratégie de l'entreprise DANFOSS SOCLA.

2.2.2.2. Processus de conception

Les résultats mesurables concernant les modifications du processus de conception, selon ses deux dimensions « technique » et « management », sont récapitulés dans le tableau 31.

a) Aspect management

Les modifications concernant la partie « management » du processus de conception ont porté sur des procédures du manuel QSE⁵⁹, qui établissent notamment les procédures de développement d'un projet de conception. Ces procédures, référencées sous le numéro BET 001, concernent le « dossier d'étude » (cf. annexe 8B). Ces modifications ont pour conséquences directes de :

- rendre obligatoire la prise en compte des contraintes environnementales définies comme stratégiques dans le cahier des charges du produit, dès le début du projet ;
- valider, en fin de processus de conception, que les contraintes environnementales ont été prises en compte, et que la conception répond aux objectifs environnementaux définis par la stratégie.

b) Aspect technique

Les aspects techniques du processus de conception concernent :

- les outils d'aide BE pour la conception environnementale (cf. liste en annexe 4), lors de la mise en application des lignes directrices,
- les indicateurs de suivi de la conception environnementale,
- l'acquisition des données nécessaires au renseignement des indicateurs.

Les outils d'aide BE nécessaires ont été identifiés. Nous avons fourni à l'entreprise les outils lorsque nous les avons à disposition⁶⁰, et l'entreprise s'en est procurée certains dont nous lui avons indiqué les références⁶¹. Enfin, l'acquisition de certains outils manquants, car non disponibles, telles certaines bases de données matériaux, a été inscrite dans les voies d'amélioration. Les outils ont été mis en réseau sur service intranet de l'entreprise, à disposition des membres BET des groupes projet :

- Norme ISO 14062 [AFNOR 03].
- Tableau de compatibilité chimique des plastiques et tableau de tri densimétrique des plastiques [AFNOR 96].
- Abaques « contenu énergétique » des matériaux [Ashby 00 ; Holloway 98 ; Bey 00].
- Base de données des caractéristiques environnementales des matériaux (incomplète).
- Liste des métaux dont les réserves prouvées sont inférieures à 50 années.
- Liste des substances dangereuses (« negative list » de DANFOSS).

La liste des indicateurs propres à chacune des lignes directrices (cf. annexe 3A) a été fournie à l'entreprise, qui s'y réfère le cas échéant, en fonction des lignes directrices qu'elle sélectionne pour chaque projet particulier.

Les données à acquérir sont fonction des lignes directrices sélectionnées : données sur les matériaux, données sur les transports, données sur les emballages, données sur les composants, etc.

Nous avons identifié les réseaux d'informations permettant d'accéder aux données, ce qui a permis à l'entreprise de définir :

- où doit être collectée la donnée,

⁵⁹ Qualité-Sécurité-Environnement

⁶⁰ Exemple : Contenu énergétique des matériaux, d'après la méthode OPM [Bey 00].

⁶¹ Exemple : Norme ISO XP R 10-402 [AFNOR 96], pour les tableaux de compatibilité chimique des plastiques et de tri densimétrique.

- qui dans l'entreprise est responsable de sa collecte⁶².

Toutefois, et bien que les réseaux d'informations soient identifiés, les données peuvent s'avérer difficiles à collecter, pour les raisons déjà énoncées⁶³ comme la confidentialité ou la dispersion des données. Devant la difficulté de collecte de toutes ces données, l'entreprise a décidé de se focaliser, dans un premier temps, sur les données environnementales des matériaux qu'elle utilise. L'objectif, à court terme, est donc de constituer une base de données des caractéristiques environnementales de ces matériaux. Un extrait de la base de données environnementale matériaux en cours de constitution est donné en annexe 8C pour illustration.

Nous avons également fourni à l'entreprise un cahier des charges (qui – où – comment – quand ?) de procédure à adopter pour la gestion des informations environnementales de leur base de données matériaux (cf. annexe 8D).

PROCESSUS DE CONCEPTION						
Critères		Valeurs			Remarques	
		Oui	Non			
Aspect management	Modification de la procédure générale de définition du CdC		X		Intégration et validation des contraintes environnementales.	
	Création d'une procédure de gestion des données environnementales		X			
Critères		Valeurs			Remarques	
		Oui	En partie	Non		
Aspect technique	Outils d'aide BET			X	Outils à acquérir au fur et à mesure en fonction des lignes directrices stratégiques et de leur disponibilité.	
	Indicateurs		X			Liste en annexe 3A.
	Données	Réseaux d'informations identifiés		X		
		Acquisition des données			X	Acquisition basée sur le principe de l'amélioration continue.

Tableau 31. Résultats mesurables obtenus concernant la modification du processus de conception.

Les actions recensées dans le tableau 31 montrent que le processus de conception a été modifié de manière à pouvoir intégrer concrètement les contraintes environnementales stratégiques dans le cahier des charges, et au-delà, dans le processus même de conception par la mise à disposition des membres du BET des outils dont ils ont besoin pour réaliser les objectifs environnementaux.

Les modifications apportées ne sont pas complètes, en ce sens qu'elles ne permettent pas, suite au projet pilote d'intégration, de réaliser l'ensemble des lignes directrices, par manque de données disponibles. Toutefois, le processus de conception a été modifié en profondeur, et les modifications

⁶² Exemple : les données sur le contenu d'un matériau en matériau recyclé, permettant de renseigner l'indicateur relatif à l'utilisation de matières premières recyclées, visant à réduire la consommation de ressources, sont détenus par les fournisseurs de matières premières. C'est donc au service des achats de l'entreprise de questionner leurs fournisseurs pour obtenir cette information.

⁶³ Cf. § 2.1.2.4 page 75.

apportées permettent de réaliser certaines des lignes directrices stratégiques, et par là même, d'initier un processus d'amélioration continue.

2.2.2.3. Connaissances et compétences

L'exploitation des résultats expérimentaux montre que la démarche d'intégration avec la méthode MAIECO a permis de créer dans l'entreprise la base de connaissances suffisante pour que les membres du projet développent les compétences propres nécessaires à la réalisation d'un projet d'éco-conception.

Bien qu'il soit difficile d'établir des paramètres de mesure de l'état des connaissances, l'analyse des résultats exploitables du projet pilote d'intégration à DANFOSS SOCLA nous fournit des éléments qui permettent, selon nous, de juger de la création et de l'acquisition de connaissances environnementales au sein de l'entreprise.

Pour exploiter les éléments expérimentaux, nous utilisons la grille de lecture du modèle de création des connaissances de Nonaka & Takeushi [Nonaka 97], d'après les quatre modes définis de conversion des deux types de connaissances tacites et explicites :

- Socialisation
- Extériorisation
- Combinaison
- Intériorisation

Les éléments expérimentaux, confrontés au modèle de Nonaka & Takeushi, sont rassemblés dans le tableau 32.

La comparaison des éléments expérimentaux ressortant du processus d'accompagnement lors du projet pilote avec les quatre modes de conversion des connaissances qui constituent, d'après Nonaka & Takeushi [Nonaka 97], le moteur du processus de création des connaissances, montre que les quatre modes de conversion des connaissances sont mis en oeuvre par les actions réalisées lors du projet pilote.

Il faut noter toutefois que la démarche de déploiement de la méthode à l'ensemble des nouveaux projets (généralisation de la démarche d'éco-conception) est une décision de l'entière responsabilité de l'entreprise. De ce fait, la méthode MAIECO ne peut garantir la pérennité de l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise.

Néanmoins, la méthode MAIECO, par ses diverses actions de modification du processus de conception, de création d'indicateurs, de mise à disposition d'outils support BE et d'informations, donne à l'entreprise les moyens de déployer la démarche d'éco-conception de manière pérenne. En effet, d'après [Lopez 02], c'est le mode d'intériorisation qui, permettant d'accéder à un niveau plus élevé de connaissances par la répétition d'expériences, est le mode indispensable dans le cadre d'une intégration pérenne basée sur le principe d'une amélioration continue (cf. fig. 22 page 128).

Mode de conversion	Actions du projet pilote ayant touché le mode de conversion	Partie intégrante de MAIECO		Résultat escompté sur la création de connaissances, d'après [Nonaka 97]
		Oui	Non	
Socialisation	Toutes les interventions réalisées par interaction avec les personnes des 2 groupes projets : - Session de sensibilisation (1). - Réunions de travail (3 RT par groupe projet + 1 As. pour validation stratégie). - Assistance téléphonique ou courrier électronique.	X X X		Transfert de connaissances (environnementales, réglementaires, enjeux, savoirs-faires, exemples, données, etc.) de l'accompagnateur vers les personnes du groupe.
Extériorisation	- Réunion de travail (1 RT par groupe projet) de sensibilisation et réponse au questionnaire. - Réunion de travail (1 RT par groupe projet) de présentation des résultats de l'analyse environnementale et d'explicitation des lignes directrices pertinentes pour le produit. - Réunion de validation de la stratégie par la direction générale (1 As).	X X X		Lien et articulation entre : - les recommandations EC, et - l'état de l'art et les recommandations propres à chaque métier.
Combinaison	- Session de sensibilisation (1 « brainstorming ») - Réunion de travail (1 RT par groupe projet) de sensibilisation et réponse au questionnaire. - Réunions de travail en interne (2 Auto par groupe projet) de réponse préalable au questionnaire et d'élaboration de la stratégie. - Réunion de validation de la stratégie par la direction générale (1 As).	X X X X		Création d'une vision globale, systémique, par confrontation et agrégation des connaissances et problématiques propres à chaque métier / fonction.
Intériorisation	- Modification du processus de conception - Création d'indicateurs - Mise à disposition d'outils support BE - Mise à disposition d'informations - Déploiement de la démarche, au niveau du BET, à tous les nouveaux projets de conception.	X X X X	X	Intégration des nouvelles connaissances dans les pratiques routinières d'activité de conception (généraliser la démarche EC).

Tableau 32. Éléments expérimentaux de projet pilote participant de la création de connaissances dans l'entreprise.

La confrontation des résultats expérimentaux au modèle de création de connaissances de Nonaka & Takeushi nous permet donc de conclure que, les quatre modes de conversion des savoirs ayant été activés par la démarche d'accompagnement avec la méthode MAIECO, des connaissances spécifiques à l'éco-conception ont été créés dans l'entreprise.

D'autre part, l'analyse des éléments du retour d'expérience du projet montre que les membres des deux groupes projet ont acquis les compétences de base pour la réalisation des lignes directrices pour l'éco-conception des produits. En effet, si l'on reprend la définition des compétences, comme étant la capacité à mobiliser des ressources pour atteindre un objectif dans un contexte donné, nous pouvons affirmer que les membres du projet ont acquis ces compétences minimales. En effet, au terme des projets pilote d'accompagnement, ils sont capables :

- de mobiliser des ressources, des connaissances et concepts (cycle de vie, matériau recyclable, substances dangereuses, etc.), des outils d'aide BE (ils savent utiliser les outils éco-conception mis à leur disposition sur le réseau informatique),
- dans un contexte donné (le contexte particulier de leur métier, et en fonction des contraintes du cahier des charges),
- pour atteindre l'objectif qui leur est fixé dans le cahier des charges (par exemple, « améliorer la démontabilité du produit »).

La réalité de ces compétences des membres des groupes projet a par ailleurs été validée par l'audit officiel⁶⁴, certifiant l'activité de conception BE dans le cadre de l'ISO 14001, l'objectif de l'audit étant de vérifier que l'organisation adoptée par l'entreprise permet l'amélioration continue selon le cycle PDCA, et notamment que l'entreprise s'est dotée des moyens nécessaires pour parvenir aux objectifs qu'elle s'est fixée.

Si l'on se réfère aux trois niveaux de connaissances définis par [Merlo 02], les éléments d'analyse du retour d'expérience nous permettent d'affirmer que les membres du groupe ont acquis des connaissances de niveau 1 spécifiques à l'éco-conception, c'est-à-dire :

- des connaissances élémentaires,
- constituées d'informations créées ou exploitées par les acteurs pour atteindre leurs objectifs,
- réutilisées par d'autres acteurs pour leurs propres objectifs ou pour assurer le suivi des activités.

2.2.2.4. Amélioration environnementale des nouveaux produits

Comme nous l'avons indiqué au paragraphe 2.2.1.3-c, la démarche d'éco-conception a été déployée au niveau du BET, notamment par l'intermédiaire du dossier d'étude. Depuis le déploiement de la démarche, un des produits de la gamme des clapets a été reconçu, en prenant en compte les nouvelles procédures éco-conception du dossier d'étude. La figure 47 illustre l'évolution du clapet de non retour F. 402 vers la nouvelle version F. 462.

La prise en compte des contraintes environnementales pour la reconception du clapet a conduit aux choix de conception suivants :

- Suppression d'une pièce : suppression du guide central (guidant le déplacement du clapet).
- Modification du mode de fixation du clapet sur l'axe : emboutissage au lieu de collage.

Ces choix de conception concernent principalement deux voies d'amélioration :

- l'aspect matériaux (MP), par la diminution relative de la quantité de matériaux ;
- l'aspect fabrication (F), par la diminution du nombre d'opérations de fabrication.

Le tableau 33 synthétise les modifications et améliorations environnementales apportées par la reconception du clapet de non retour. Ces améliorations environnementales ont été quantifiées par des indicateurs quand cela s'est avéré possible.

⁶⁴ Audit de certification réalisé par la société LRQA.

Ces améliorations environnementales du produit ont été réalisées à durée de vie et performance égales. Par ailleurs, la qualité fonctionnelle du produit a été accrue puisque la nouvelle version du clapet répond à des exigences normatives (le face à face d=180 mm du 462 est normalisé, alors que celui du 402 d=140 mm ne l'est pas).

L'amélioration la plus importante concerne l'aspect environnemental MP. La variation absolue de masse (fonte) est de + 90 g soit une évolution massique positive inférieure à 1 % (+ 90 g / 11,41 kg) pour un accroissement notable de la taille du produit (d = 180 mm au lieu de d = 140 mm) et une amélioration fonctionnelle. Cette évolution peut donc être vue comme une dématérialisation au sens strict (amélioration fonctionnelle à poids – presque – constant).

Par ailleurs, les améliorations environnementales apportées au produit coïncident avec des gains en terme de coûts, par des économies de matière première et la suppression de deux opérations d'usinage. D'un point de vue pragmatique, l'apport de l'éco-conception dans la conception de produits industriels consiste donc en une validation, pour les aspects environnementaux, des choix de conception obtenus par des outils « classiques », comme l'analyse de la valeur, visant à augmenter la qualité du produit tout en réduisant les coûts.

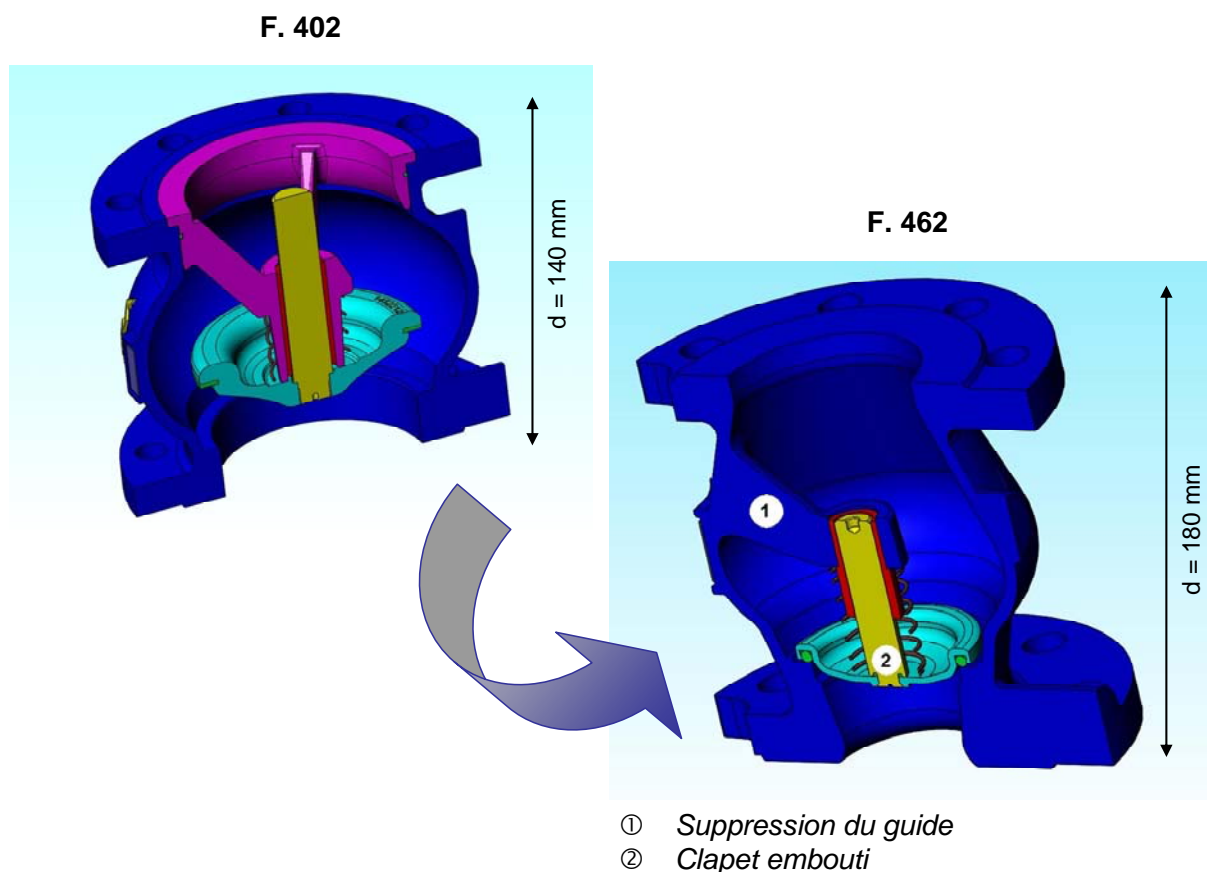


Figure 47. Évolution du clapet de non retour F. 402 vers le clapet F. 462.

Choix de conception	Gains	Aspects environnementaux concernés	Indicateurs (par clapet)
Suppression du guide	<i>Diminution des quantités de matière première</i>	MP (fonte)	+ 90 g (< 1 %) ↗ fonctionnalité
	<i>Suppression d'une opération d'usinage</i>	F (énergie, déchets)	- 670 g copeaux - 0.54 kWh
	<i>Suppression d'une opération de poudrage</i>	MP (peinture) F (énergie, déchets)	-10 g poudre ?
Clapet embouti	<i>Suppression du collage</i>	MP (colle) F (subst. dang., déchets)	- 500 ml / 10 ³ clapets ?
	<i>Suppression d'une reprise de production (mais énergie pour l'emboutissage)</i>	F (énergie, déchets)	+ / - ?

Tableau 33. Bénéfices environnementaux obtenus par la reconception du clapet de non retour F. 402.

2.2.2.5. Conclusion sur les modifications réalisées dans l'entreprise

La méthode développée, mise en œuvre à titre expérimental lors d'un projet pilote dans l'entreprise DANFOSS SOCLA, a permis à l'entreprise de :

- définir sa stratégie propre d'éco-conception par la compréhension et l'analyse des enjeux liés à cette nouvelle contrainte ;
- modifier son processus de conception pour permettre l'intégration de la contrainte environnementale dans le processus de conception de ses produits ;
- créer de nouvelles compétences.

Ces trois axes majeurs de modification ont, par conséquence ou par nécessité, entraîné la modification :

- des flux d'informations,
- des réseaux relationnels et informationnels,
- de la vision et de la culture de l'entreprise.

L'ensemble des modifications induites par le processus d'intégration de l'éco-conception dans la société DANFOSS SOCLA sont récapitulées dans le tableau 34. Celui-ci met en évidence, sur la base de notre cas d'étude expérimental, que la méthode MAIECO que nous proposons conduit au changement organisationnel nécessaire pour l'intégration de l'éco-conception.

En outre, un premier exemple de reconception environnementale d'un produit de l'entreprise (évolution du clapet F. 402 vers le F. 462) montre que la mise en œuvre de la démarche d'intégration dans l'entreprise conduit à des améliorations environnementales réelles sur les produits.

Aspect organisationnel du changement	Exemple concret	Constaté dans le cadre du protoc. expérimental	Constaté hors expérimentation
Stratégie	Politique du SME et stratégie opérationnelle (lignes directrices)	X	
Processus de conception	Procédures, outils support BE, indicateurs, données	X	
Connaissances et compétences	Notions et concepts liés aux sujets environnementaux et à l'éco-conception	X	
Flux d'information	Gestion de données environnementales (recherche, stockage, utilisation, ...)	X	X
Réseaux d'information	- Fournisseurs : questionnement / substances, matériaux, - Clients : questionnement / utilisation et fin de vie des produit		X
Réseaux relationnels	- Participation à des commissions professionnelles sur le sujet EC - Participation à des événements / EC		X
Vision	Passage d'une vision environnementale site (SME site) à une vision environnementale produit (éco-conception cycle de vie)		X
Culture	- Pensée cycle de vie environnement (matériaux, transports, recyclage, etc) - Abonnement à presse spécialisée (Recyclage Magazine, ...)		X

Tableau 34. Ensemble des modifications apportées dans l'entreprise et permettant de conclure à la réalité d'un changement organisationnel.

2.2.2.6. Discussion sur les notions d'apprentissage, d'appropriation et d'intégration

Nous avons montré dans le paragraphe précédent comment la méthode MAIECO agit pour permettre la création de connaissances individuelles et organisationnelles. Cet élément est nécessaire, mais non suffisant, pour valider la capacité de la méthode à générer un apprentissage organisationnel et donc l'intégration de l'éco-conception. C'est donc à ces aspects que nous allons nous intéresser ici.

Nous allons ainsi, toujours sur la base de nos résultats expérimentaux, montrer, d'une part qu'il y a eu apprentissage de l'entreprise, et d'autre part, que la méthode MAIECO favorise l'apprentissage organisationnel, car elle répond en partie au modèle d'apprentissage défini par Zhang & al. [Zhang 04].

Nous préciserons également la notion d'appropriation, qui est selon nous un moyen de mettre en évidence l'intégration.

a) Processus d'apprentissage lors de la conception de produits

Le tableau 35 confronte le modèle LAKC de Zhang & al., sur l'apprentissage et la création de connaissances par le groupe projet lors du processus de conception de produit, aux séquences réalisées lors la mise en œuvre de la méthode MAIECO.

Modèle LAKC		Réalisé pour l'éco-conception dans le cadre de MAIECO	Habituellement du ressort de l'entreprise
Socialisation	S1 : Les membres de l'équipe apprennent les uns des autres par observation, imitation, pratique	X	
	S2 : Les membres de l'équipe reçoivent une formation dans le cadre de leur travail au sein d'une équipe projet.	X	
	S3 : Réunions informelles pour approfondir des points spécifiques pour la résolution de problèmes particuliers.		X
Intériorisation	I1 : Chaque membre de l'équipe apprend « en faisant » pour améliorer son savoir-faire.	X	
	I2 : Les membres de l'équipe apprennent à partir de documents, manuels, ou anecdotes orales pour enrichir leur savoir.	X	
	I3 : La plupart des solutions aux problèmes sont accessibles dans des documents, bases de données (en ligne) capitalisées d'après les projets précédents.	X	
Combinaison	C1 : Les équipes projet échangent et combinent leurs savoirs au travers de documents, réunions, et réseau informatique.		X
	C2 : Les succès et échecs des expériences (innovantes) réalisées sont synthétisés dans le but de faire partager l'expérience.		X
	C3 : Les expériences des différents projets sont intégrées dans une base de données.	X ⁶⁵	X
Formalisation	F1 : Des procédures écrites explicitent les séquences et les phases de développement des projets.		X
	F2 : Les procédures et expériences sont écrites pour servir de support de formation.	X ⁶⁶	X
	F3 : Les documents de synthèse des expériences concernant les projets précédents sont consultés avant tout démarrage de nouveau projet.		X

Tableau 35. Les phases de la méthode MAIECO et leur correspondance avec les modes de conversion des connaissances du modèle LAKC, d'après [Zhang 04].

Cette comparaison montre que la méthode MAIECO n'intervient pas directement sur tous les critères influençant l'apprentissage organisationnel par le développement de projet, certains de ces critères

⁶⁵ Il s'agit de la capitalisation des différents retours d'expérience concernant les différents projets pilotes réalisés par l'expert. La gestion de cette capitalisation doit être réalisée par l'utilisateur exploitant la méthode MAIECO. Elle doit permettre d'enrichir les bases de données de la méthode, et d'affiner l'analyse typologique. Il s'agit toutefois d'une démarche propre à la méthode MAIECO, prévue dans le cadre de son amélioration continue. Cette démarche est indépendante d'une éventuelle gestion des connaissances propre à l'entreprise. La mise en œuvre d'une telle gestion des connaissances issues des retours d'expériences doit être suggérée à l'entreprise par l'expert.

⁶⁶ Idem que la note 63. Dans le but d'illustrer les sessions de sensibilisation et formation, de prouver la faisabilité de certaines solutions, ou de servir de support à la génération d'idées lors des séances de recherche de solutions, l'expert capitalise tout au long des différents accompagnements qu'il peut réaliser, les exemples illustratifs. Toutefois, que ce soit pour le critère C3 ou le critère F2, il s'agit d'une démarche propre à la méthode MAIECO, prévue dans le cadre de son amélioration continue. Cette démarche est indépendante d'une éventuelle gestion des connaissances propre à l'entreprise. La mise en œuvre d'une telle gestion des connaissances issues des retours d'expériences doit, si elle n'existe pas, être suggérée à l'entreprise par l'expert.

étant habituellement du ressort de l'entreprise, notamment les critères relatifs à la formalisation de la capitalisation des expériences. Ainsi, il est raisonnable de supposer que si des procédures de capitalisation de l'expérience existent préalablement dans l'entreprise, ces procédures s'appliqueront aux expériences d'éco-conception.

En revanche, si ces procédures n'existent pas, la méthode MAIECO préconise de les créer et de les appliquer, ce qui peut entraîner l'entreprise à mettre en place un processus formalisé de capitalisation des expériences de développement de projet.

La méthode MAIECO couvre directement sept des douze critères du modèle de Zhang & al. et, notamment, l'ensemble des trois critères relatifs au mode d'intériorisation, ainsi que deux des trois critères relatifs au mode de socialisation. Ainsi, si la méthode MAIECO ne peut être considérée pleinement comme une méthode d'apprentissage au sens de Zhang & al., cette comparaison permet néanmoins d'affirmer qu'elle favorise l'apprentissage organisationnel lors du processus d'éco-conception.

b) Appropriation

Sur la base des définitions de l'appropriation données, d'une part par [Puyou 99], liant l'appropriation à la validation des lignes directrices au plus haut niveau (cf. chap. 2, § 3.2.1.6 page 102), et d'autre part par le [CJQ 01], pour qui la notion d'appropriation est liée à l'acquisition de connaissances et à une expérimentation des compétences (cf. chap. 2, § 3.2.1.5 page 102), nous pouvons montrer d'après nos résultats expérimentaux que l'entreprise DANFOSS SOCLA a initié un processus d'appropriation de l'éco-conception, car :

- les lignes directrices ont été validées au plus haut niveau (Direction Générale) ;
- l'entreprise a acquis des connaissances en éco-conception et a commencé à expérimenter, par le déploiement de la démarche au BET, les compétences des membres du groupe projet.

Par ailleurs, des observations objectives supplémentaires viennent confirmer l'appropriation de l'éco-conception par l'entreprise :

- des procédures ont été modifiées ;
- la démarche a été institutionnalisée en étant inscrite dans la politique de l'entreprise ;
- l'entreprise engage des projets d'éco-conception de manière autonome (sans aide extérieure), puisque tous les nouveaux développements de produits doivent désormais intégrer les procédures d'éco-conception. Ainsi, la reconception du clapet F. 402 par la prise en compte des contraintes environnementales dans le dossier d'étude BET a-t-elle conduit à des améliorations environnementales réelles du produit.

c) Intégration

La durée de ces travaux de recherche ne permet pas de disposer du temps de recul nécessaire pour mesurer quantitativement une intégration pérenne de l'éco-conception dans l'entreprise. Confrontés à cette difficulté, nous utilisons le schéma de la figure 48 basée sur les affirmations de certains auteurs, pour établir, si ce n'est une démonstration formelle de l'intégration de l'éco-conception, du moins un faisceau solide d'arguments concourant à montrer que la mise en œuvre de notre méthode MAIECO conduit à l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise.

Le tableau 36 récapitule les arguments des différents auteurs, tandis que la figure 48 positionne ces arguments sur un schéma démonstratif conceptuel, conduisant à la conclusion que, si la méthode MAIECO entraîne des processus corrélés d'apprentissage et de changement organisationnels, elle conduit bien, de facto, à l'intégration de l'éco-conception dans l'organisation.

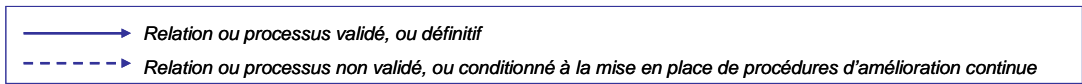
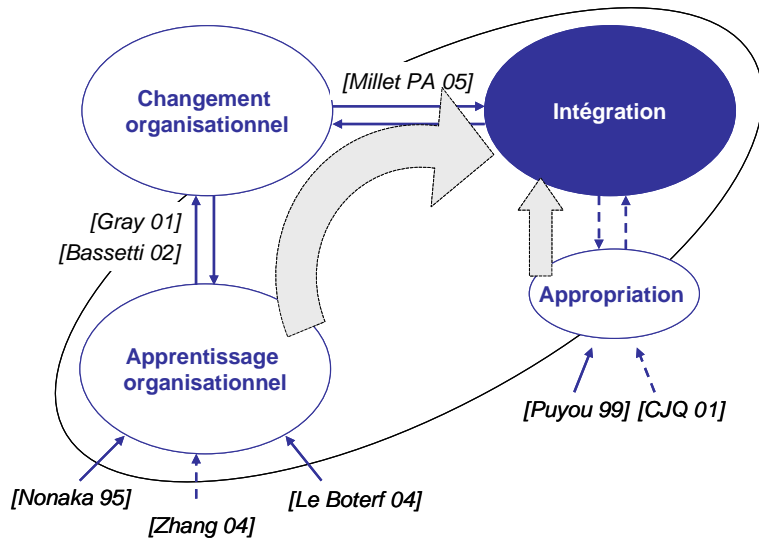


Figure 48. Faisceau d'arguments permettant de mettre en évidence l'intégration de l'éco-conception.

Argument	Référence bibliographique	Condition de réalisation de l'argument	Validé lors de la mise œuvre de MAIECO ?	Conséquence
Tout transfert de compétences est un apprentissage.	[Le Boterf 04]	Transfert de compétences	Oui	Apprentissage organisationnel
Une organisation a appris lorsqu'elle a expérimenté des changements dans ses pratiques.	[Gray 01]	Changement dans les pratiques	Oui	Apprentissage Organisationnel
Le développement des connaissances (modèle Nonaka & Takeushi) est constitutif de l'apprentissage.	[Nonaka 97]	développement de connaissances	Oui	Apprentissage
L'intégration est un changement d'état de l'organisation.	[Millet PA 05]	Changement d'état de l'organisation	Oui	Intégration
L'apprentissage est le développement de la création et de l'accumulation des connaissances à un niveau individuel et organisationnel (modèle LAKC).	[Zhang 04]	- Création de connaissances - Accumulation de connaissances	- Oui - Oui, en partie (début d'accumulation : outils, indicateurs, informations)	Présomption d'apprentissage, ou début du processus d'apprentissage dont la suite est conditionnée par l'accumulation des connaissances
La démarche [d'éco-conception] peut être définitivement considérée comme appropriée lorsque des lignes directrices d'éco-conception peuvent être validées au plus haut niveau du management et être communiquées aussi bien en interne qu'en externe pour être partie intégrante de la culture de l'entreprise.	[Puyou 99]	LD validées et communiquées	Oui	Appropriation
L'appropriation est un processus continu par lequel une organisation développe des actions concrètes permettant un passage graduel de l'acquisition de connaissances vers une expérimentation des compétences.	[CJQ 01]	- Développement d'actions concrètes - Acquisition de connaissances - Expérimentation des compétences	- Oui - Oui - Oui en partie, non dans le sens amélioration continue	Début d'appropriation
Une intégration pérenne résulte d'une démarche participative des acteurs de la conception, d'une modification exhaustive du processus de conception et d'une approche évolutive permettant de répondre aux évolutions du contexte.	[Tonnelier 02]	- Démarche participative des acteurs de la conception - Modification exhaustive du processus de conception - Approche évolutive permettant de répondre aux évolutions du contexte	- Oui - Oui - Non	Début d'intégration, la pérennité de l'intégration étant liée à la capacité de l'entreprise à répondre aux évolutions contextuelles
Il existe un lien entre changement et apprentissage. Le changement ne peut se concevoir qu'accompagné d'un apprentissage.	[Bassetti 02]	Apprentissage	Oui	Changement organisationnel

Tableau 36. Liste des arguments bibliographiques permettant d'établir la conclusion d'une intégration de l'éco-conception.

2.2.2.7. Conclusion sur la phase expérimentale

L'objectif de cette phase expérimentale réalisée avec l'entreprise DANFOSS SOCLA était d'éprouver la méthode MAIECO par une première mise en œuvre sur un projet pilote.

Cette validation devait nous permettre de valider la deuxième hypothèse formulée concernant le changement organisationnel et les conditions nécessaires de l'intégration (définition de la stratégie d'éco-conception de l'entreprise, modification du processus de conception, et création et acquisition de connaissances et compétences).

Les résultats expérimentaux que nous avons obtenus montrent que la mise en œuvre de la méthode MAIECO a conduit à un changement organisationnel de l'entreprise lui ayant permis de se créer et de s'approprier sa démarche d'éco-conception. En outre, le changement organisationnel de la société DANFOSS SOCLA est passé par la réalisation des trois objectifs du changement qui sont :

- La définition de la stratégie d'éco-conception de l'entreprise ;
- La modification du processus de conception ;
- La création de connaissances environnementales et l'acquisition de compétences.

Nos résultats expérimentaux valident donc la méthode MAIECO que nous proposons, et l'hypothèse 2, postulant que la réalisation par un processus d'apprentissage des trois objectifs qu'elle définit (stratégie, processus de conception, et connaissances et compétences) entraîne et aboutit au changement organisationnel requis pour l'intégration de l'éco-conception, est également validée.

2.3. Conclusions sur la méthode MAIECO

L'application expérimentale de notre méthode MAIECO nous a permis de mettre en évidence plusieurs résultats probants du point de vue de l'apprentissage organisationnel, conduisant à l'intégration de l'éco-conception. Un premier exemple de reconception de produit a montré que cette intégration conduit bien à une amélioration environnementale réelle des produits de l'entreprise.

Si, à l'évidence, il ne nous est pas possible de tirer de conclusions définitives sur la base d'une unique expérience, nous pouvons néanmoins avancer les éléments suivants, concernant les potentialités, mais aussi les limites, de notre méthode.

2.3.1. Réponses à la question et à la demande initialement posées

2.3.1.1. Réponse à la question de recherche

La méthode MAIECO apporte une réponse à la question de recherche posée au chapitre 1, à savoir « *quelle démarche faut-il développer auprès des PME pour leur permettre de réussir une intégration pérenne de l'éco-conception dans leurs pratiques courantes ?* ». Notre méthode a pour but de permettre, par l'intermédiaire d'un projet pilote, une intégration pérenne de l'éco-conception dans l'entreprise en développant l'apprentissage organisationnel autour du sujet de l'éco-conception. Les résultats de notre travail de recherche semblent montrer que la méthode que nous avons développée constitue une approche pragmatique et efficiente pour l'intégration de l'éco-conception dans les PME.

Ce travail de recherche nous permet de répondre qu'une démarche d'intégration de l'éco-conception doit nécessairement être une démarche de conduite du changement s'appuyant sur des processus

d'apprentissage organisationnel, et permettant de combler dans le délai d'un projet pilote, le gap culturel environnemental de l'entreprise.

Sachant que, en raison de la grande hétérogénéité qui les caractérise, il ne peut exister de méthode unique à destination des PME, toute démarche d'intégration de l'éco-conception dans les PME doit être guidée par l'objectif de création et d'appropriation par l'entreprise de sa propre méthode d'éco-conception.

Nous postulons par ailleurs qu'une telle démarche de conduite du changement basée sur l'apprentissage, si elle ne peut garantir la pérennité de l'intégration dans l'entreprise, optimise du moins les chances de pérennisation. La question concernant le problème de la pérennité de l'intégration est traitée plus en détail dans le paragraphe 2.3.3 suivant.

2.3.1.2. Réponse à la demande du CETIM

La demande exprimée par le CETIM concernant un besoin industriel portait sur deux points particuliers, à savoir :

- que la phase d'évaluation environnementale ne requière pas nécessairement l'expertise environnementale de la part de l'utilisateur de la méthode, les personnes du CETIM susceptibles de réaliser les accompagnements n'étant pas forcément des experts en évaluation environnementale des produits ;
- que la démarche d'accompagnement soit compatible, en terme de délai de mise en œuvre de la démarche dans l'entreprise, avec le cahier des charges « moyen » des interventions du CETIM, compris entre deux et trois jours⁶⁷. Par rapport à notre sujet de recherche, ce point correspond à la problématique des PME dont les moyens disponibles pour l'intégration de connaissances nouvelles sont limités, et à la problématique corollaire d'une diffusion élargie de l'éco-conception dans les PME.

La méthode MAIECO, en répondant à chacun de ces deux points, répond à la problématique industrielle posée par le CETIM.

D'une part, l'outil ATEP, qui s'intègre dans la méthode MAIECO et qui permet de réaliser une analyse environnementale des produits, est destiné à être utilisé par des non experts (qui doivent néanmoins être des « spécialistes » au sens de [Clermont 02] – cf. chap. 2. § 2.2.2.3).

D'autre part, la méthode MAIECO peut être adaptée pour un délai d'accompagnement de trois journées pleines en entreprise avec l'objectif d'initier un processus d'intégration de l'éco-conception par le biais d'un projet pilote de reconception. L'annexe 9 donne le détail des phases d'un accompagnement type par le CETIM auprès des PME mécaniciennes, d'après la figure 36 et le tableau 22 donnant les phases et le séquençage de la méthode MAIECO.

Il faut néanmoins prévoir pour le CETIM, en plus des trois demies journées d'accompagnement directement dans l'entreprise, des phases de travail en interne, notamment pour la recherche éventuelle d'informations supplémentaires ou l'assistance à distance des membres du groupe projet (téléphone ou messagerie électronique).

D'autre part, l'exploitation de la méthode MAIECO requiert une gestion des retours d'expériences auprès des entreprises pour la capitalisation, nécessaire à l'amélioration continue de l'outil ATEP (modification du questionnaire et de l'algorithme) et des bases de données de MAIECO. Le CETIM doit donc affecter une personne en interne pour la gestion des retours d'expérience et la mise à jour de la méthode MAIECO et de l'outil ATEP.

⁶⁷ L'objectif, dans un délai aussi court limité par les impératifs industriels, n'est évidemment pas l'intégration à proprement parler, ce qui n'aurait pas de sens, mais est d'initier et de mettre en place le processus d'apprentissage qui permettra l'intégration pérenne de l'éco-conception.

Le CETIM a d'ores et déjà commencé à exploiter la méthode MAIECO, par des accompagnements auprès d'entreprises, notamment la société TECUMSEH (38) qui conçoit et fabrique des compresseurs pour la réfrigération et la climatisation, et une commission de fabricants de pompes.

2.3.2. Limites de la méthode MAIECO

D'un strict point de vue de l'analyse expérimentale, il est à noter que le fait d'avoir expérimenté la mise en œuvre de la méthode sur deux produits, donc deux projets pilotes, au sein de la même entreprise, a sans doute eu un effet bénéfique amplificateur quant au processus d'apprentissage organisationnel, puisque, les deux groupes ayant certaines ressources en commun, il s'est produit un phénomène de redondance bénéfique, vis-à-vis de la création de connaissances et de compétences, qui a sans doute accru l'efficacité de la démarche par rapport à ce qu'on peut imaginer qu'elle soit dans le cadre d'accompagnements au cahier des charges plus « serré »⁶⁸, notamment en terme de temps d'intervention disponible. Or, le facteur temps, comme nous l'avons déjà fait remarquer, est un facteur crucial en terme d'appropriation de nouvelle méthode et d'apprentissage organisationnel.

Toutefois, cette remarque ne remet pas fondamentalement en cause la méthode, qui repose sur des principes de transfert de compétences d'un individu à un groupe. Le temps d'intervention n'est pas propre à la méthode en elle-même, mais est déterminé par son utilisateur qui doit répondre à un cahier des charges de la démarche d'accompagnement négocié avec le donneur d'ordre.

La véritable limite de la méthode porte sur la notion de pérennité de l'intégration. Si la méthode est effectivement vecteur des changements organisationnels nécessaires à l'intégration de l'éco-conception, la question reste posée, faisant écho au constat relevé dans la problématique de l'abandon de la démarche par l'entreprise suite au projet pilote, de la continuité du processus d'apprentissage et d'appropriation.

Cette question de la pérennité est soulevée, notamment, par [Tonnelier 02] lorsqu'il pose comme postulat que l'intégration pérenne d'une nouvelle contrainte est possible uniquement si les trois conditions suivantes sont réunies :

- Une démarche participative des acteurs.
- Une modification exhaustive du processus de conception.
- Une approche évolutive permettant de répondre aux évolutions du contexte dans lequel l'entreprise évolue.

C'est, en effet, cette dernière condition qui pose problème, non pas tant en terme de volonté de continuité de la part de l'entreprise, mais plutôt en terme d'évolution des compétences.

Concernant la question de la volonté de pérennisation de la pratique de l'éco-conception par l'entreprise, deux arguments peuvent être invoqués. D'une part, si l'entreprise, le temps du projet pilote, a identifié l'intérêt qu'elle avait à intégrer l'éco-conception et l'a traduit dans les faits en modifiant sa stratégie, il est possible d'avancer l'affirmation qu'elle mettra en œuvre les moyens nécessaires pour parvenir aux objectifs qu'elle s'est fixée, à hauteur de l'intérêt suscité et des attentes placées dans l'éco-conception.

⁶⁸ Les projets pilotes au sein d'une entreprise sont généralement réalisés sur un unique produit.

D'autre part, la continuation de l'intégration repose sur le déploiement d'une démarche d'amélioration continue que la méthode MAIECO préconise et permet d'instaurer, si jamais elle n'existe pas déjà dans l'entreprise.

Le problème de la pérennité repose alors effectivement comme le souligne [Tonnelier 02] dans l'évolution du contexte. La question est de savoir si, les connaissances et donc les compétences étant liées à un cadre contextuel, l'entreprise aura acquis suffisamment de compétences dans le temps du projet pilote pour s'adapter (avec compétence) à une évolution (presque) inévitable du contexte, c'est-à-dire pour faire évoluer ses compétences en terme d'éco-conception. La réponse à cette question dépend en grande partie de la capacité de l'entreprise à réaliser le mode d'intériorisation de conversion des connaissances du modèle de Nonaka & Takeushi⁶⁹, que la méthode MAIECO a permis d'initier lors du projet pilote par la mise à disposition d'outils, d'indicateurs et de données, mais dont le déploiement effectif à l'ensemble des nouveaux projets dépend de la volonté de l'entreprise.

2.3.3. Originalité de la méthode MAIECO

La méthode MAIECO est une méthode d'accompagnement du changement dans l'entreprise que nous pouvons qualifier de « classique », en ce sens qu'elle utilise des moyens reconnus pour l'apprentissage organisationnel. Elle ne constitue donc en rien une révolution dans les méthodes d'accompagnement de projet de conception de produit.

Son originalité réside dans le domaine qu'elle aborde, à savoir l'éco-conception. Notre analyse de la problématique a montré qu'une des causes d'échec de l'intégration de l'éco-conception réside dans la façon d'aborder l'intégration se résumant, le plus souvent, à la mise à disposition d'outils⁷⁰, sans tenir compte des aspects organisationnels liés à l'intégration.

L'originalité de la méthode réside donc, non pas dans la démarche d'éco-conception en elle-même, mais dans l'approche de l'utilisation des outils existants et mis à disposition. La méthode MAIECO permet un apprentissage des outils d'éco-conception, elle crée un savoir « *actionnable* » au sens d'Argyris [Argyris 00].

En ce sens, elle a pour ambition de faire sortir l'éco-conception du champ restreint des experts de l'éco-conception, afin de favoriser sa nécessaire diffusion dans le monde industriel, et plus particulièrement dans le monde des PME.

L'apprentissage organisationnel qui conduit à l'intégration (cf. figure 48) n'est rendu possible que par la participation active des membres du groupe projet, qui permet la création des connaissances indispensables à la pratique de l'éco-conception. Or, cette participation active des membres du groupe nécessaire au développement de l'apprentissage autour du thème de l'éco-conception n'est, elle-même, rendue possible que grâce à l'outil simplifié d'analyse environnementale ATEP que nous avons développé. ATEP, tout en réalisant une analyse environnementale fiable, sur laquelle l'entreprise peut s'appuyer pour une reconception environnementale de son produit, rend possible la participation de tous autour de l'analyse tout au long du projet, et c'est grâce à cela que se fait l'apprentissage organisationnel. Ce n'est donc pas tant la simplification de l'analyse (simplification uniquement possible grâce à l'expertise) qui rend l'éco-conception accessible à l'entreprise, que le fait de pouvoir

⁶⁹ C'est-à-dire la capacité organisationnelle (et bien sûr la volonté) de reproduire et d'enchaîner les expériences (en l'occurrence d'éco-conception) et de capitaliser sur ces expériences.

⁷⁰ Qui plus est, des outils d'experts, donc inutilisables par les entreprises. Mais, la plupart des outils étant développés en dehors du contexte industriel, les auteurs de ces outils n'ont sans doute même pas conscience de la difficulté de les utiliser, car ils n'ont pas conscience du gap culturel concernant la dimension « E ».

faire participer l'ensemble des membres du groupe projet autour d'un outil structuré, dont le fonctionnement même requiert la participation de ces membres.

ATEP donne, il est vrai, une analyse sans doute moins fiable que l'analyse que pourrait réaliser un expert de l'évaluation environnementale par lui-même. En effet, ATEP est une formalisation de règles d'expertise, et cette formalisation impliquant une simplification, donc une distorsion, de l'analyse contextuelle du système étudié, l'analyse réalisée avec ATEP perd nécessairement en précision et en fiabilité. Cependant, l'analyse que peut réaliser un expert, sur la base d'une expertise qu'il a « en tête », ne permet pas la participation du groupe, donc l'apprentissage sur la phase d'analyse.

2.3.4. Perspectives d'améliorations de la méthode MAIECO : mise sous forme logicielle

La méthode MAIECO que nous avons développée a été conçue et formatée pour être mise sous forme logicielle. Une maquette logicielle de la méthode a été développée sous format « Access », en parallèle des travaux de thèse⁷¹ présentés dans ce document. Cette maquette sera utilisée dans un premier temps par le CETIM afin que soient établies les éventuelles évolutions que devraient présenter une version professionnelle définitive.

Les fonctionnalités permises par la forme logicielle autorisent une évidente amélioration et une meilleure efficacité de la démarche d'accompagnement. Cela permet, notamment, de regrouper l'ensemble de l'information nécessaire à un projet d'éco-conception, de créer des liens d'interactivité, de capitaliser l'expérience (ou du moins une partie de l'expérience) en « temps réel ».

La méthode MAIECO devrait être également envisagée par les utilisateurs exploitant la méthode comme un outil de capitalisation, procédant ainsi à un enrichissement de la méthode.

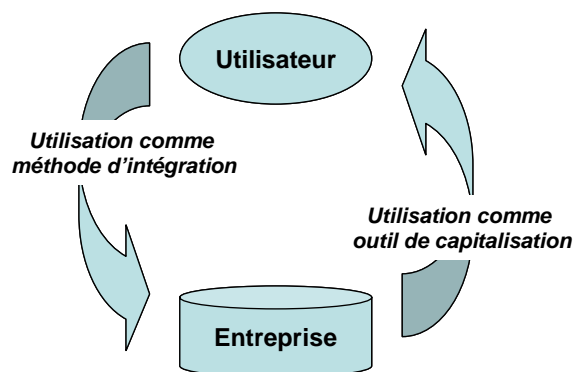


Figure 49. La méthode MAIECO comme méthode d'intégration et comme outil de capitalisation.

Par ailleurs, il est possible d'imaginer que la mise à disposition d'une version logicielle, concédée à l'entreprise suite au projet pilote, permette de s'affranchir en partie du problème de l'évolution nécessaire des compétences liée à l'évolution du contexte, puisqu'une version logicielle peut contenir presque la totalité de l'information pour l'éco-conception.

⁷¹ Maquette réalisée par Edouard Virost, dans le cadre de son PFE ENSAM : « Informatisation de la méthode EDIMS et réalisation d'une base de données environnementales des procédés de l'industrie mécanique », PFE ENSAM, Chambéry, juin 2005.

EDIMS est l'acronyme anglais équivalent de l'acronyme français MAIECO (cf. note 35 p. 150).

Toutefois, cela ne fait que repousser le problème car se pose alors, comme dans toute application logicielle, celui de la mise à jour des bases de données du logiciel qui ne peut être réalisée que par un expert. On peut faire la supposition, néanmoins, que dans la majorité des cas, le contexte de l'entreprise sera suffisamment peu évolutif pour que la mise à disposition d'une version logicielle puisse répondre au besoin durant un laps de temps satisfaisant avant une mise à jour des bases de données.

Une autre solution réside alors dans une mise à jour en ligne de la méthode.

CONCLUSION

Cette thèse répond à la problématique de l'intégration de l'éco-conception dans les PME. Elle donne lieu à la proposition de deux modèles, « l'outil expert » ATEP, et la méthode d'accompagnement MAIECO.

L'ambition de cette thèse est double :

- D'une part, viser une diffusion élargie de l'intégration de l'éco-conception dans les PME.
- D'autre part, parvenir à pérenniser l'intégration de l'éco-conception dans les entreprises.

L'intégration des contraintes environnementales dans la conception des produits est une nécessité. La prise en compte, par la communauté internationale, des considérations liées à la dégradation marquée de l'environnement au niveau mondial, se traduit progressivement par une pression réglementaire que les industriels, grandes entreprises comme PME, ne peuvent plus ignorer. Dans les pays développés, l'éco-conception est désormais une réalité industrielle.

La consommation de produits de tous genres, inscrite comme condition nécessaire au développement économique, pousse les organes politiques, à l'heure où les premiers symptômes de la dégradation environnementale de la planète se font sentir (quelques décennies toutefois après les avertissements émis par certains scientifiques), à stimuler la création d'un marché de produits « verts ».

D'une manière générale, les produits disposent d'un potentiel d'amélioration environnementale important, qui varie néanmoins, selon les types de produits, sur une échelle d'un facteur d'amplitude 10^1 .

Certes, le niveau d'éco-conception potentiel des produits varie avec le degré de liberté de conception. Souvent, les industriels se trouvent dans l'incapacité de prendre les décisions qui amèneraient les produits à un niveau de conception environnementale optimale. Toutefois, chaque produit possède son propre niveau d'éco-conception déterminé par son objectif propre de conception environnementale optimale, et doit s'inscrire de ce fait dans une démarche d'amélioration continue en accord avec la réalité industrielle.

Notre travail de recherche s'inscrit ainsi pleinement, dans le cadre du génie industriel, dans la dynamique du développement durable. Il répond à un besoin et une attente industriels réels en terme d'aide à l'intégration des contraintes environnementales dans la conception des produits. Ce besoin a notamment été mis en évidence par le CETIM pour le cas particulier de l'industrie mécanique.

Concernant le contexte de recherche, notre travail se situe dans le cadre d'une recherche-action, ayant pour objectif la création d'un savoir actionnable dans le cadre du génie industriel, et recherchant la vérité par approximations successives plutôt que par l'élaboration de généralisations sous forme d'équations [Argyris 00]². Notre travail de recherche se positionne en réponse aux constats, réalisés de manière récurrente dans la littérature spécialisée du domaine de l'éco-conception, d'une part du problème de l'expertise requise pour l'utilisation des outils d'éco-conception, et d'autre part de l'absence de prise en compte des aspects organisationnels de l'intégration.

¹ D'un facteur 2 à 5 jusqu'à un facteur 20 à 50 (cf. chap. 1, § 1.3).

² Pages 22-23.

□ **Deux axes de travail distincts...**

Notre travail de recherche comprend donc deux axes distincts.

Le premier axe de travail concerne le domaine de l'évaluation environnementale des produits. L'objectif de notre travail de recherche dans ce domaine était le développement d'un outil d'évaluation environnementale fiable et pertinent, et susceptible de guider les choix environnementaux des concepteurs.

Cette dernière exigence requiert que l'utilisation de l'outil sorte du domaine de l'expertise de l'analyse environnementale pour être mis à disposition des concepteurs. Cet axe de recherche concernant la simplification de l'analyse environnementale n'est pas nouveau, et nombre d'auteurs ont proposé des outils, dits simplifiés, d'évaluation environnementale des produits. Toutefois, à notre connaissance, aucun n'a traité pleinement le problème de l'expertise requise pour la manipulation de ces outils.

L'analyse de la problématique générale de la thèse concernant l'intégration de l'éco-conception dans les PME, nous a donc guidé vers une approche originale pour solutionner le problème de l'expertise requise pour l'évaluation environnementale des produits. Ainsi, lorsque les démarches dans ce domaine consistent généralement à développer des outils dont l'objectif est d'aider l'expert pour l'évaluation environnementale, nous proposons pour notre part un « outil expert », l'outil ATEP, dont l'objectif est de se substituer à l'expert dans son analyse, grâce à une analyse typologique des produits.

Le deuxième axe de travail concerne la prise en compte des aspects organisationnels dans l'intégration de l'éco-conception. L'analyse de cette problématique particulière nous a conduit à adopter une approche de l'intégration de l'éco-conception basée, d'une part sur le changement organisationnel, et d'autre part sur les processus de création de connaissances. Ici encore, la démarche retenue semble originale car, s'il est vrai que le constat de la non prise en compte des aspects organisationnels dans l'intégration des contraintes environnementales dans le processus de conception des produits a déjà été fait, aucune méthode, à notre connaissance, n'aborde l'intégration de l'éco-conception dans l'entreprise sous l'angle de la conduite du changement et de l'apprentissage organisationnel.

□ **... conduisant à un modèle global**

Notre travail de recherche a été guidé par la notion d'appropriation par l'entreprise car, outre le fait que les PME « refusent » en général les méthodes que d'aucuns prétendraient leur imposer comme solution à leur problème, l'hétérogénéité des PME rend illusoire toute tentative d'intégration basée sur la mise en œuvre d'une méthode « normalisée » et figée.

Or, l'analyse de la problématique globale de l'intégration de l'éco-conception dans les PME a montré que nos deux axes de recherche, l'un lié à l'expertise requise pour la phase d'évaluation environnementale, l'autre lié au changement organisationnel induit par l'intégration, se rejoignent sur la notion d'apprentissage.

En effet, l'approche consistant à proposer un outil d'analyse environnementale remplaçant l'expertise permet la participation des membres du groupe projet à l'analyse environnementale, et ainsi un transfert de connaissances de l'expert vers les concepteurs, initiant ainsi un processus d'apprentissage sur lequel repose le changement organisationnel. L'outil ATEP permet de franchir le « gap culturel » environnemental qui inhibe le transfert de connaissances entre l'expert et les membres du groupe projet de l'entreprise.

Ainsi, nous avons développé un modèle global cohérent, la méthode MAIECO, basé sur des processus d'apprentissage organisationnel, et dont l'objectif est de créer des savoirs actionnables [Argyris 00]. MAIECO repose sur le principe de la définition et de l'appropriation par l'entreprise, par le

biais d'un projet pilote d'accompagnement, de méthodes d'éco-conception adaptées au couple produit-entreprise objet de la démarche d'intégration. Cette méthode est construite sur la base, d'une part du modèle de l'organisation proposé par [Livian 01], et d'autre part sur le modèle de la création de connaissances de Nonaka & Takeushi [Nonaka 97], dont s'inspire largement Zhang & al. [Zhang 04] pour leur modèle d'apprentissage lors des projets de conception de produits.

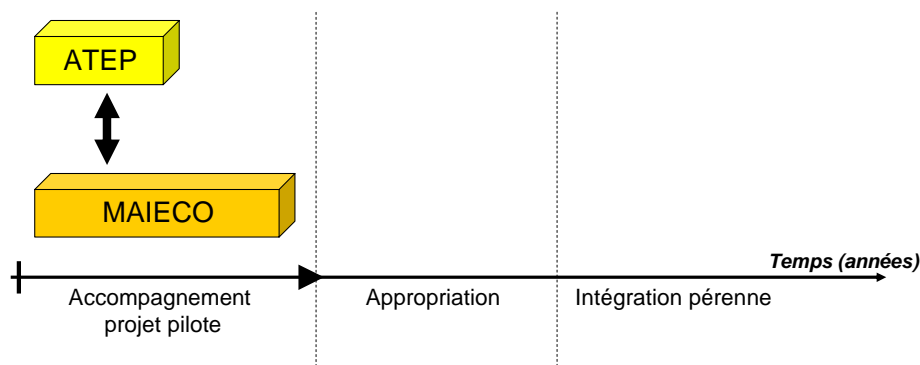


Figure 50. Modèle général d'intégration.

□ Perspectives

Chacun des deux modèles que nous proposons, ATEP et MAIECO, a été soumis à des protocoles expérimentaux respectifs, visant à obtenir une première validation de ces modèles :

- Un protocole de tests comparatifs, par rapport à une méthode ACV utilisée comme outil référent, a été mené dans le but de donner une première indication de la fiabilité et de la pertinence des résultats obtenus avec ATEP.
- Une phase expérimentale d'accompagnement a été réalisée avec la société DANFOSS SOCLA, dans le but de vérifier que la méthode MAIECO conduit bien aux changements organisationnels requis par l'intégration de l'éco-conception.

Les résultats obtenus, tant pour ATEP que pour MAIECO, sont probants. Nous pensons que ces deux modèles, d'une part répondent aux besoins et attentes des PME, et d'autre part représentent la meilleure approche pour le contexte spécifique des PME.

Toutefois, il ne faut pas oublier que l'outil ATEP est, par principe, un outil soumis au processus d'amélioration continue, grâce aux retours d'expérience des différents projets d'accompagnement à l'intégration de l'éco-conception qui seront menés auprès de PME³.

D'autre part, nous nous sommes trouvés devant l'impossibilité, en raison du temps imparti pour la thèse, de vérifier que la méthode MAIECO conduit bien, ou du moins favorise, l'intégration pérenne de l'éco-conception dans les PME.

Comme nous l'avons déjà précisé, notre travail de recherche s'inscrit dans le cadre d'une recherche-action. Il est donc évident que cette recherche ne constitue pas en elle-même un aboutissement, et ne s'arrête pas, avec cette thèse, à la proposition de modèles. L'objectif est, face la demande des PME qui ne peut que croître, de capitaliser un retour d'expérience d'autant plus riche que le déploiement de

³ ATEP est par définition un outil traduisant l'expertise. Or, par définition également, l'expertise est constituée en partie de l'expérience, et s'enrichit donc continûment des retours d'expérience.

la méthode MAIECO dans les PME sera large. Du point de vue de la recherche-action, le déploiement des deux modèles que nous avons développés doit donc être vu comme un moyen d'enrichissement du savoir concernant, en particulier, deux types de connaissances :

- Les connaissances du domaine de l'éco-conception dans le cadre particulier du génie industriel. Il s'agit ici de préciser les connaissances typologiques en fonction des secteurs industriels et des types de produits. L'objectif, toujours dans le but d'une diffusion élargie de l'éco-conception dans l'industrie, est d'affiner et de consolider les typologies (typologies des critères de produits, typologie des aspects environnementaux, typologie des voies d'amélioration, etc.), afin d'accélérer et de préciser les diagnostics environnementaux des entreprises. Il conviendrait ainsi d'adopter une approche sectorielle, afin de limiter le nombre de critères de produits à considérer aux critères pertinents pour le secteur considéré, ce qui rendrait possible l'application de méthodes d'analyse statistiques pour l'identification des critères et valeurs de critères de l'analyse typologique.
- Les connaissances concernant le domaine du changement organisationnel et des processus d'apprentissage dans l'entreprise. Du fait même de la singularité de la dimension « E », les expériences accumulées dans le cadre de cette recherche-action sont susceptibles d'apporter un éclairage spécifique, donc potentiellement riche d'enseignements, à un domaine (celui de la gestion du changement dans l'entreprise) par ailleurs sujet à de nombreuses recherches et avide de retours d'expériences.

Face à l'ampleur des impacts environnementaux causés par notre mode de développement, il est urgent que chacun, producteur comme utilisateur, prenne conscience du poids environnemental des produits. Dans cette prise de conscience qui doit être nécessairement collective, les entreprises, et particulièrement les PME, ont un rôle crucial à jouer, en raison de leur grande capacité d'initiative et d'action. L'éco-conception est, pour les entreprises, le processus « naturel » pour assumer ce rôle.

Au-delà des problèmes techniques et organisationnels, toujours solubles dans le monde industriel, le véritable point de blocage réside dans le déficit de culture environnementale (qui concerne d'ailleurs, bien au-delà de l'entreprise, l'ensemble de la société). C'est la raison pour laquelle, nous préconisons, par l'intermédiaire de ce travail de recherche, d'axer le développement de l'éco-conception dans le monde industriel sur l'acquisition de connaissances environnementales minimales.

BIBLIOGRAPHIE

Publications

- [Abrassart 02] Abrassart, C., Aggeri, F. (2002). « Eco-conception : du cycle de vie du produit au management environnemental », Problèmes économiques, La documentation Française (2776), pp1-7.
- [ADEME 99] ADEME (1999). Conception de produits et environnement : 90 exemples d'éco-conception. ADEME éditions.
- [ADEME 02] ADEME (2002). Produits renouvelables, vers un nouvel âge d'or du végétal ? Colloque ADEME, Synthèse des débats, 15 janvier.
- [AGPME 03a] Agence des PME (2003). PME : clés de lecture. Définitions, dénombrement, typologies. Regards sur les PME n°1, janvier 2003.
- [AGPME 03b] Agence des PME (2003). Les PME et l'environnement. Enjeux et opportunités. Regards sur les PME n°4, octobre 2003.
- [Alexander 00] Alexander, B., Barton, G., Petrie, J., Romagnoli, J. (2000). « Process synthesis and optimisation tools for environmental design : methodology and structure », Computers & Chemical Engineering, vol. 24, pp1195-1200.
- [Alsene 02] Alsene, E., Gamache, M., Lejeune, M. (2002). « Gestion des savoirs et gestion des compétences », 1er Colloque GCCGI, Vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes.
- [Ammenberg 05] Ammenberg, J., Sundin, E. (2005). "Products in environmental management systems: drivers, barriers and experiences", Journal of Cleaner Production, vol. 13 (4), pp405-415.
- [Argyris 00] Argyris, C. (2000). Savoir pour agir. Surmonter les obstacles à l'apprentissage organisationnel. Paris, Dunod.
- [Ashby 00] Ashby, M.F. (2000). Choix des matériaux en conception mécanique. Edition Dunod, Paris.
- [Azapagic 99] Azapagic, A., Clift, R. (1999). "Life cycle assessment and multiobjective optimisation", Journal of Cleaner Production, vol. 7 (2), pp135-143.
- [Bassetti 02] Bassetti, A.-L. (2002). Gestion du changement, gestion de projet : convergence-divergence. Cas des risques en conception et mise en place d'une organisation de management de l'environnement. Thèse de doctorat, ENSAM, Paris.
- [Baumann 02] Baumann, H., Boons, F., Bragd, A. (2002). "Mapping the green product development field : engineering, policy and business perspectives", Journal of Cleaner Production, 10, pp409-425.
- [Baylis 98a] Baylis, R., Connell, L., Flynn, A. (1998). "Company size, environmental regulation and ecological modernization : further analysis at the level of the firm", Business Strategy and the Environment 7 (3), pp285-296.
- [Baylis 98b] Baylis, R., Connell, L., Flynn, A. (1998). "Sector variation and ecological modernization : towards an analysis at the level of the firm", Business Strategy and the Environment 7 (5), pp150-161.
- [Behrendt 97] Behrendt, S., Jasch, C., Peneda, M.C., van Weenen, H. (1997). Life Cycle Design. A manual for Small and Medium-Sized enterprises, Springer.

- [Berkel 97a] Van Berkel, R., Willems, E., Lafleur, M. (1997). "Development of an industrial ecology toolbox for the introduction of industrial ecology in enterprises – I", *Journal of Cleaner Production*, 5 (1-2), pp11-25.
- [Bertoluci 01] Bertoluci, G. (2001). Proposition d'une méthode d'amélioration de la cohérence des processus industriels. Thèse de doctorat, laboratoire CPI, ENSAM, Paris.
- [Bertoluci 05a] Bertoluci, G., Le Pochat, S., Le Coq, M. (2005). « Intégrer l'éco-conception : quelles implications pour les entreprises ? », 6^{ème} Congrès International de Génie Industriel, Besançon.
- [Bertoluci 05b] Bertoluci, G., Millet, D. (2005). "Functional Product enrichment and Supply Chain disorganisation: two barriers for sustainable design ", Article soumis à *International Journal of Product Development*, numéro spécial environnement.
- [Bey 00] Bey, N. (2000). The Oil Point Method - A tool for indicative environmental evaluation in material process selection. Department of Manufacturing Engineering, IPT, Technical University of Denmark.
- [Bhate 97] Bhate, S., Lawler, K. (1997). "Environmentally friendly products: factors that influence their adoption", *Technovation* 17 (8), pp457-465.
- [BIOIS 03] BIO Intelligence Service (2003). Study on external environmental effects related to the life cycle of products and services. Appendix 2, Case studies. European Commission, Directorate General Environment, February 2003.
- [Blanc 99] Blanc, I., Labouze, E. (1999). « Analyse du cycle de vie – Evaluation de la qualité des données », *Techniques de l'Ingénieur*, G 5 750.
- [Boeglin 02] Boeglin, N. (2002). « L'intégration croissante de l'environnement dans la conception des produits, ou le développement des démarches d'éco-conception », *Revue Annuelle des Arts et Métiers*, pp154-159.
- [Bonjour 02] Bonjour, E., Dulmet, M. (2002). « Articulation entre pilotage des systèmes de compétences et gestion des connaissances », 1er Colloque GCCGI, Vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes.
- [Boutaud 05] Boutaud, A. (2005). Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ? Bilan et analyse des outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable en France : de l'émergence d'un changement dans les modes de faire au défi d'un changement dans les modes de penser. Thèse de doctorat, Ecole des Mines, Saint Etienne.
- [Brezet 97a] Brezet, J.C. (1997). Ecodesign – A promising approach to sustainable production and consumption. UNEP, United Nations Publication.
- [Brezet 97b] Brezet, J.C. (1997). "Dynamics in ecodesign practice", *UNEP Industry and Environment*, vol 20 (1-2), pp21-24.
- [CJQ 01] Centre Jeunesse du Québec (2001). Guide pratique pour structurer le transfert des connaissances. Direction du développement de la pratique professionnelle, Centre Jeunesse du Québec, Institut Universitaire, juin 2001.
- [Charter 97] Charter, M. (1997). "Managing eco-design", *UNEP Industry and Environment*, january-june, pp 29-31.
- [Charter 99] Charter, M., Belmane, I. (1999). "Integrated Product Policy (IPP) and eco-product development (EPD)." *The journal of sustainable product design* (10), pp17-28.
- [Charter 02] Charter, M., Billet, E., Boyce, J., Grinyer, C., Simmonds, J. (2002). The "state of the art" in eco-design in the Japanese electronics sector. Final report, The Centre for Sustainable Design.
- [Chen 02] Chen, J. L. (2002). Green evolution rules and ideality laws for green innovative design of products. CARE INNOVATION 2002, Vienna, Austria.
- [Clermont 02] Clermont, P., Geneste, L., Rakoto, H. (2002). « Le retour d'expérience : un processus socio-technique », 1er Colloque GCCGI, Vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes, France.

- [CNRS 04] Réseau Thématique Pluridisciplinaire 47 du CNRS. Rapport de fin d'étude. Action Spécifique 64 – ADESI (Aide à la Décision pour l'Evolution Socio-Technique des Systèmes Industriels), 2004.
- [Coppens 98] Coppens, C. (1998). Elaboration d'un outil d'aide à la conception pour améliorer la valorisation des véhicules usagés. Thèse de doctorat, ENSAM, Paris.
- [CREDOC 02] CREDOC (2002). Pollution atmosphérique, éco-produits, gestion des déchets: quelques opinions et attitudes au début 2002. Paris: 175.
- [Crestani 05] Crestani, D. (2005). « ADESI : Une Action Spécifique pour la Conduite du Changement dans les Systèmes Industriels », 6^{ème} Congrès International de Génie Industriel, Besançon.
- [Cross 04] Cross, N. (2004). "Expertise in design: an overview", Design Studies, 25 (5), pp427-441.
- [Dahlström 99] Dahlström, H. (1999). "Company-specific guidelines." The journal of sustainable product design, (8), pp18-24.
- [Dandridge 79] Dandridge, T. (1979). "Children are not "little grown-ups": small business needs its own organizational theory." Journal of Small Business Management 17(2): 53-57.
- [Deléage 91] Deléage, J. (1991). Histoire de l'écologie - Une science de l'homme et de la nature. La Découverte, Paris.
- [Deneux 02] Deneux, M. (2002). Evaluation de l'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact prévisible sur la géographie de la France à l'horizon 2025, 2050 et 2100. Rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Tome I, février 2002, rapporté par M. Marcel DENEUX, sénateur.
- [DEPA 98] Danish Environmental Protection Agency (1998). Life cycle assessment of packaging systems for beer and soft drinks - Aluminium cans, Ministry of Environment and Energy, Denmark.
- [Design 01] Design Council (2001). Design Council European survey of manufacturing companies' attitudes towards Design for Sustainability.
- [Dewulf 03] Dewulf, W. (2003). A pro-active approach to ecodesign : framework and tools. PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven.
- [EEA 98] European Environment Agency (1998). Environmental Management Tools for SMEs : a Handbook. Environmental Issues Series, March 1998.
- [EEA 02] European Environment Agency (2002). Environmental signals 2002, benchmarking the millennium. Environment assessment report, Copenhagen.
- [EEA 04] European Environment Agency (2004). Ten key transport and environment issues for policy-makers – TERM 2004: Indicators tracking transport and environment integration in the European Union. EEA report N° 3/2004, Copenhagen.
- [Ecobilan 02] Ecobilan, PricewaterhouseCoopers (2002). Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants. Rapport Technique, novembre 2002.
- [Factor10 95] Factor 10 Club (1995). Carnoules declaration. Wuppertal Institut, Wuppertal.
- [Field 01] Field, F.R., Clark, J.P., Ashby, M.F. (2001). "Market drivers for materials and process development in the 21st century", MRS Bulletin, September, pp716-725.
- [Géniaux 01] Géniaux, I., Mira Bonnardel, S. (2001). "La gestion des connaissances et des compétences dans les petites entreprises technologiques ; une approche empirique." Revue internationale P.M.E., 14 (2), pp41-65.

- [Gerstenfeld 00] Gerstenfeld, A., Roberts, H. (2000). "Size Matter - Barriers and prospects for environmental management in small and medium-sized enterprises", in [Hillary 00], pp106-118.
- [GIEC 01] Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (2001). Bilan 2001 des changements climatiques : éléments scientifiques. Rapport du groupe de travail I du GIEC, OMM / PNUÉ.
- [Goedkoop 95] Goedkoop, M. (1995). The Eco-indicator 95. Final report, PRé Consultants.
- [Goedkoop 00] Goedkoop, M., Spriensma, R. (2000). The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for life cycle impact assessment. Methodology report, 2nd edition, April 2000, PRé Consultants.
- [Gondran 01] Gondran, N. (2001). Système de diffusion d'information pour encourager les PME-PMI à améliorer leurs performances environnementales. Thèse de doctorat, INSA Lyon & Ecole des Mines Saint Etienne.
- [Gray 01] Gray, P. H. (2001). "A problem-solving perspective on knowledge management practices" *Decision Support Systems* (31), pp87-102.
- [Greening 00] Greening, L.A., Greene, D.L., Difiglio, C. (2000). "Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey", *Energy Policy*, 28, pp389-401.
- [Grisel 01] Grisel, L., Duranthon, G. (2001). Pratiquer l'éco-conception. Lignes directrices. AFNOR éditions.
- [Grunstein 02] Grundstein, M. (2002). « De la capitalisation des connaissances au renforcement des compétences dans l'entreprise étendue », 1^{er} Colloque GCCGI, Vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes.
- [Gutowski 05] Gutowski, T., Murphy, C., Allen, D., Bauer, D., Bras, B., Pivonka, T., Sheng, P., Sutherland, J., Thurston, D., Wolff, E. (2005). "Environmentally benign manufacturing: Observations from Japan, Europe and the United States", *Journal of Cleaner Production*, 13 (1), pp1-17.
- [Haberbush 02] Haberbush, M. (2002). « Problématique de l'allègement des véhicules automobiles dans un contexte concurrentiel en terme de produit, prestation, technologie », *Ingénieurs de l'Automobile*, Octobre 2002, pp71-73.
- [Haksever 96] Haksever, C. (1996). "Total Quality Management in the small business environment." *Business Horizons* 39(2): 33-40.
- [Hansson 03] Hansson, J., Klefsjö, B. (2003). "A core value model for implementing total quality management in small organisations", *The TQM Magazine*, vol. 15 (2), pp71-81.
- [Haoues 04] Haoues, N., Zwolinski, P., Brissaud, D., Cornier, A. (2004). "How to Integrate End of Life Disassembly Constraints in the Early design stage?", 11th CIRP International Seminar on Life Cycle Engineering, Belgrade.
- [Hauschild 98] Hauschild, M., Wenzel, H. (1998). *Environmental Assessment of Products EDIP. Volume 2: Scientific Background*. Chapman & Hall, London, 565p.
- [Hemel 98] Van Hemel, C. G. (1998) *EcoDesign empirically explored - Design for Environment in Dutch small and medium sized enterprises*. PhD Thesis, Delft University of Technology.
- [Hermosillo 02] Hermosillo Worley, J., Grabot, B., Geneste, L. (2002). « Vers une meilleure prise en compte des ressources humaines dans les processus d'entreprise », 1^{er} Colloque GCCGI, Vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes.
- [Hertwich 05] Hertwich, E., Peters, G. (2005). "Feasibility and scope of life-cycle approaches to sustainable consumption", 12th CIRP LCE Seminar, Grenoble, France.
- [Hillary 00] Hillary, R., *editor*, (2000). *Small and Medium-Sized Enterprises and the Environment*. Greenleaf Publishing.

- [Hofstetter 03] Hofstetter, P., Madjar, M. (2003). Liking change in happiness, time-use, sustainable consumption, and environmental impacts; An attempt to understand time-rebound effects. Zürich, BAO & Consultrix GmbH: 61.
- [Holloway 98] Holloway, L. (1998). "Materials selection for optimal environmental impact in mechanical design", *Materials and Design*, vol. 19 (4), pp133-143.
- [Hunkeler 00] Hunkeler, D., Vanakari, E. (2000). "EcoDesign and LCA", *International Journal of LCA*, vol. 5 (3), pp145-151.
- [Isaksson 03] Isaksson, R. Garvare, R. (2003). "Drivers, enablers and barriers towards sustainable organisational performance". 6th QMOD International Conference, October 1-3, Paris.
- [Jacques 04] Jacques, G. Le Treut, H. (2004). *Le changement climatique*. Paris, Edition UNESCO.
- [Jacqueson 02] Jacqueson, L. (2002). *Intégration de l'environnement en entreprise : Proposition d'un outil de pilotage du processus de création de connaissances environnementales*. Thèse de doctorat, ENSAM, Paris.
- [Janin 00] Janin, M. (2000). *Démarche d'éco-conception en entreprise. Un enjeu : construire la cohérence entre outils et processus*. Thèse de doctorat, ENSAM, Chambéry.
- [Johansson A 00] Johansson, A. M. (2000). *Opportunities and obstacles faced by SMEs in adding Design for Environment*. IIIIEE. Lund, Sweden, Lund University.
- [Johansson G 98] Johansson, G., Magnusson, T. (1998). "Eco-innovations : a novel phenomenon?", *the Journal of Sustainable Product Design* (7), pp7-15.
- [Johansson G 01] Johansson, G. (2001). *Environmental performance requirements in product development. An exploratory study of two development projects*. PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Linköping University.
- [Jones 00] Jones, E., Harrison, D. (2000). *Investing the use of TRIZ in Eco-innovation*. TRIZCON2000, Altshuller Institute.
- [Jones 01] Jones, E., Harrison, D., McLaren, J. (2001) "Managing creative eco-innovation – Structuring outputs from eco-innovation projects", *The Journal of Sustainable Product Design*, 1, pp27-39.
- [Kaebernick 00] Kaebernick, H., Soriano, V. (2000). "An approach to simplified environmental assessment by classification of products", 7th CIRP International Seminar on LCE, Tokyo, Japan.
- [Keizer 02] Keizer, J. A., Dijkstra, L., Halman, J. I.M. (2002). "Explaining innovative efforts of SMEs.: An exploratory survey among SMEs in the mechanical and electrical engineering sector in The Netherlands", *Technovation*, 22 (1), pp1-13.
- [Khalifa 99] Khalifa, K. (1999). « Analyse du cycle de vie – Problématique de l'évaluation des impacts », *Techniques de l'Ingénieur*, G 5 610.
- [Leborgne 98] Leborgne, R. (1998). *De l'utilité à l'utilisation des Analyses de Cycle de Vie chez un constructeur automobile*. Thèse de doctorat, ENSAM, Paris.
- [Le Boterf 02] Le Boterf, G. (2002). « Les connaissances : une ressource pour agir avec compétence », 1er Colloque GCCGI, Vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes.
- [Le Boterf 04] Le Boterf, G. (2004). *Construire les compétences individuelles et collectives*, Les Editions d'Organisation.
- [Lefebvre 01] Lefebvre, E., Lefebvre, L.A., Talbot, S. (2001). "Life cycle design approach in SME's", *International Journal of LCA* 6 (5), pp273-280.
- [Legardeur 01] Legardeur, J. (2001). *Méthodes et outils pour l'innovation produit/process. Le cas de l'intégration des matériaux composites SMC*. Thèse de doctorat, Laboratoire 3S, INPG, Grenoble.

- [Le Pochat 03] Le Pochat, S., Bertoluci, G. (2003). "Consequences for businesses of taking into account environmental constraints", 6th QMOD International Conference, October 1-3, Paris.
- [Le Pochat 05a] Le Pochat, S., Bertoluci, G., Froelich, D. (2005). "A tool to facilitate ecodesign integration in the SMEs", 12th LCA Case studies Symposium, SETAC / ISIE, January 10-12, Bologne.
- [Le Pochat 05b] Le Pochat, S., Bertoluci, G., Froelich, D. (2005). "An environmental analysis tool for environmental product design in SMEs", 12th CIRP Life Cycle Engineering Seminar, April 3-5, Grenoble.
- [Lindahl 03] Lindahl, M. (2003). "Designer's utilization of DfE methods", 1st International Workshop on Sustainable Consumption, March 19-20, Tokyo.
- [Lindemann 01] Lindemann, U., Hessling, T., Hutterer, P., Mörtl, M. (2001). "Applicable methods for sustainable development for Small and Medium-sized companies", EcoDesign 2001, 2nd International Symposium on environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo.
- [Lipovatz 03] Lipovatz, D., MacArthur, E., Musgrove, C., Viza, E. (2003). "Quality management in different sectors - Results from a survey", 6th QMOD International Conference, Paris, October 1-3.
- [Livian 01] Livian, Y-F. (2001). Organisation : théories et pratiques, Dunod.
- [Lopez 02] Lopez, R., Gardoni, M., Tollenaere, M. (2002). « Retour d'expérience sur la création de connaissances et la compétence collective – Approche appliquée au cas de l'entreprise PECHINEY à St Jean de Maurienne », 1er Colloque GCCGI, Vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes.
- [LopezOntiveros 04] Lopez Ontiveros, M.A. (2004). Intégration des contraintes de remanufacturabilité en conception de produits. Thèse de doctorat, Laboratoire 3S, INPG, Grenoble.
- [Luttrupp 01] Luttrupp, C., Karlsson, R. (2001). "The conflict of contradictory environmental targets", EcoDesign 2001, 2nd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo.
- [MA 05] Millenium Ecosystem Assessment. Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report, Pre-publication Final Draft Approved by MA Board on March 23, 2005.
- [Masui 01] Masui, K., Sakao, T., Inaba, A. (2001). "Quality Function Deployment for Environment: QFDE (1st Report) - A methodology in early stage of DfE", EcoDesign 2001 Conference, Tokyo.
- [Masui 02] Masui, K., Sakao, T., Kobayashi, M., Inaba, A. (2002). "Quality Function Deployment for Environment (QFDE) to spread DfE on the whole company", CARE Innovation 2002, Vienna.
- [Mathieux 02] Mathieux, F. (2002). Contribution à l'intégration de la valorisation en fin de vie dès la conception d'un produit – Une méthode basée sur l'évaluation multicritères de la recyclabilité du produit et sur l'identification de ses points faibles de conception. Thèse de doctorat, ENSAM, Chambéry.
- [Maudet 05] Maudet, C., Bertoluci, G., Froelich, D. (2005). "Choice of an adapted end-of-life scenario by recovery chain modelling", 17^{ème} Congrès Mondial IMACS, Paris.
- [McAloone 00] McAloone, T. (2000). "Where's eco-design going ?", Electronics Goes Green 2000, Berlin.
- [Meadows 72] Meadows, Donella H., Meadows, Denis I., Randers J., Behrens III W. (1972). The limits to growth, A report to the Club of Rome.
- [Meredith 00] Meredith, S. (2000). "Environmental innovation and small and medium-sized enterprises", in [Hillary 00], pp171-182.
- [Merlo 02] Merlo, C., Girard, P. (2002). « Modélisation des connaissances pour la conduite de la conception », 1er Colloque GCCGI, Vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes.

- [Messeghem 98] Messeghem K. (1998). Les spécificités de la PME face à l'assurance qualité, in : PME de nouvelles approches, sous la direction d'O. Torrès, ed. Economica.
- [Millet 95] Millet, D. (1995). Prise en compte de l'environnement en conception : proposition d'une démarche d'aide à la conception permettant de limiter les ponctions et rejets engendrés par le produit sur son cycle de vie. Thèse de doctorat, ENSAM, Paris.
- [Millet 03a] Millet, D., *sous la direction de*, (2003). Intégration de l'environnement en conception – L'entreprise et le développement durable. Hermès Science Publications, Lavoisier, Paris.
- [Millet 03b] Millet, D., Bistagnino, L., Lanzavecchia, C., Camous, R. (2003). "L'entreprise face au développement durable : changement de paradigme et processus d'apprentissage", *Nature Sciences Sociétés*, 11 (2), pp146-157.
- [Millet PA 05] Millet, P.A., Neubert, G., Botta-Genoulaz, V. (2005). « Une approche outillée de l'intégration », 6^{ème} Congrès International de Génie Industriel, Besançon.
- [MINEFI 02] Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie, PME. Les chiffres-clefs des PME, Etudes & statistiques, édition 2002.
- [MINEFI 04] Guide de l'achat public éco-responsable – Achat de produits, Groupe Permanent d'Etude des Marchés, « Développement Durable, Environnement », Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, décembre 2004, 52p.
- [Minel 03] Minel, S. (2003). Démarche de conception collaborative et proposition d'outils de transfert de données métier : Application à un produit mécanique « le siège d'automobile ». Thèse de doctorat, ENSAM, Paris.
- [Mintzberg 82] Mintzberg, H. (1982). Structure et dynamique des organisations. Les Editions d'Organisation, Paris.
- [Munksgaard 00] Munksgaard, J., Pedersen, K.A., Wien, M. (2000). "Impact of household consumption on CO2 emissions", *Energy Economics*, vol. 22 (4), pp423-440.
- [Nonaka 97] Nonaka, I., Takeushi, H. (1997). La connaissance créatrice – La dynamique de l'entreprise apprenante. De Boeck Université, Bruxelles.
- [OECD 01] OECD, Working Party on National Environmental Policy (2001). The firm, the environment, and public policy. Report ENV/EPOC/WPNP(2001)31/FINAL, September 28, 2001.
- [OESMES 02] Observatory of European SMES (2002). European SMEs and social and environmental responsibility, European Commission: 66.
- [Oberender 01] Oberender, C., Weger, O., Birkhofer, H., Sauer, J. (2001). "Ecological Design for the use phase: An interdisciplinary approach to Design for Environment", *Proceedings of Ecodesign 2001 Conference, IEEE, Tokyo*, pp71-76.
- [Partidario 97] Partidario, P. (1997). Environmentally sound technology development and innovation in SME's, IPTS. 19.
- [Perrin 04] Perrin, F., Millet, D., Camous, R. Aoussat, A. (2004). « Negotiated process of change, double loop learning and involvement of the method's future users : three factors of new methods integration success », *IDMME 2004 Conference, Bath*.
- [Perrin 05] Perrin-Bruneau, F. (2005). "Proposition d'une démarche d'intégration de nouvelles méthodes en conception : éléments pour la définition du rôle de l'intégrateur « méthodes »", Thèse de doctorat, ENSAM, Paris.
- [Pujari 03] Pujari, D., Wright, G., Peattie, K. (2003). "Green and competitive. Influences on environmental new product development performance." *Journal of Business Research* (56), pp657-671.
- [Puyou 99] Puyou, J-B. (1999) "Démarches d'écoconception en entreprise", *Techniques de l'Ingénieur*, G 6 050.

- [Reiss 04] Reiss, C. (2004). « Cancer, des arguments décisifs », L'Ecologiste n°14, vol 5 n°3.
- [Reijnders 98] Reijnders, L. (1998). "The factor X debate : setting targets for eco-efficiency", Journal of Industrial Ecology, Vol 2, n° 1, pp 13-22.
- [Ritzén 97] Ritzén, S., Bäckmar, J., Norell, M. (1997). "Product development – Integration of environmental aspects", Proceedings of 4th CIRP International Seminar on LCE, June 26-27, Berlin, pp152-162.
- [Ritzén 01] Ritzén, S., Beskow, C. (2001). "Actions for integrating environmental aspects into product development", The Journal of Sustainable Product Design (1), pp91-102.
- [Robert-K 98] Robert-Kreziak, D. (1998). Les motivations de la consommation verte: une approche par les chaînages cognitifs. Thèse de doctorat, Ecole Supérieure des Affaires. Université Pierre Mendès-France, Grenoble.
- [Roqueplo 95] Roqueplo, P. (1995). La question de l'environnement. Penser le futur. J. d. Noblet, Editions PSA Peugeot Citroën, pp82-103.
- [Rose 00] Rose, C.M. (2000). Design for environment : a method for formulating product end-of-life strategies. PhD thesis, Stanford University.
- [Rousseaux 93] Rousseaux, P. (1993). Evaluation comparative de l'impact environnemental global (ECIEG) du cycle de vie des produits. Thèse de doctorat, INSA Lyon.
- [Rousseaux 98] Rousseaux, P. (1998). « Analyse du cycle de vie – Evaluation des impacts », Techniques de l'Ingénieur, G 5 605.
- [Ryan 03] Ryan, C. (2003). "Learning from a decade (or so) of Eco-Design experience, part I", Journal of Industrial Ecology 7 (2), pp10-12.
- [Sakao 01] Sakao, T., Masui, K., Aizawa, S., Inaba, A. (2001). "Quality Function Deployment for Environment: QFDE (2nd report) – Verifying the applicability by two case studies", EcoDesign 2001 Conference, Tokyo.
- [Sakao 02] Sakao, T., Masui, K., Kobayashi, M., Inaba, A. (2002). "QFDE (Quality Function Deployment for Environment) and LCA: an effective combination of tools for DfE", CARE Innovation 2002, Vienna.
- [Sarkis 03] Sarkis, J. (2003). "A strategic decision framework for green supply chain management", Journal of Cleaner Production, vol. 11, pp397-409.
- [Schlich 05] Schlich, E.H., Fleissner, U. (2005). "The ecology of scale: assessment of regional energy turnover and comparison with global food", International Journal of LCA, vol. 10 (3), pp219-223.
- [Schmidt 94] Schmidt-Bleek, F. (1994). Wieviel Umwelt Braucht der Mensch? (How much environment does man need?), Birkhäuser Verlag, Berlin.
- [Sherwin 00] Sherwin, C., Evans, S. (2000). "Ecodesign innovation : is early always best?", International Symposium on Electronics and the Environment, San Francisco, IEEE.
- [Sherwin 01] Sherwin, C., Bhamra, T. (2001). "Early ecodesign integration experiences from a single case", The journal of design research, 1 (2).
- [Siddhaye 00] Siddhaye, S., Sheng, P. (2000). Environmental impact and design parameters in electronics manufacturing - A sensitivity analysis approach. International Symposium on Electronics and the Environment, San Francisco, California, IEEE.
- [Simon 01] Simon, M., Froelich, D., *editors*, (2001) Environmentally improved product design cases studies of the European electric and electronic industry. Final report, Ecolife Network.
- [Sun 03] Sun, M., Rydh, C. J., Kaebernick, H. (2003). "Material Grouping for Simplified Product Life Cycle Assessment", The Journal of Sustainable Product Design (3), pp45-58.

- [Tiger 98] Tiger, H., Millet, D. (1998). « Conception pour l'environnement : inventer de nouveaux outils et de nouveaux systèmes d'action », in Conception de produits mécaniques – Méthodes, modèles et outils, *sous la direction de M. Tollenaere*, éditions Hermès, Paris.
- [Tilley 99] Tilley, F. (1999). "The gap between the environmental attitudes and the environmental behaviour of small firms", *Business Strategy and the Environment* (8), pp238-248.
- [Tischner 03] Tischner, U., Nickel, R. (2003). "Eco-design in the printing industry. Life cycle thinking : implementation of eco-design concepts and tools into the routine procedures of companies", *The Journal of Sustainable Product Design*, vol. 3, pp19-27.
- [Tonnelier 02] Tonnelier, P. (2002). Proposition d'une démarche d'intégration d'une nouvelle contrainte en conception : cas de la valorisation des véhicules en fin de vie chez PSA Peugeot Citroën. Thèse de doctorat, ENSAM, Paris.
- [Torrès 98] Torrès, O., *sous la direction de*, (1998). PME. De nouvelles approches. Editions Economica.
- [Tukker 00a] Tukker, A., Haag, E., Eder, P. (2000). Eco-design : European state of the art. Report EUR 19583 EN, ESTO, IPTS, Seville, Spain.
- [Tukker 00b] Tukker, A., Ellen, G.J., Eder, P. (2000). Eco-design : Strategies for dissemination to SMEs. Report EUR 19740 EN, ESTO, IPTS, Seville, Spain.
- [UN 02] United Nations (2002). Report of the World Summit of Sustainable Development. United Nations Publication, New York, 173p.
- [UN 04] United Nations (2004). World population to 2300. New York, Department of Economic and Social Affairs: 254p.
- [UNFCCC 97] United Nation Framework Convention on Climate Change (1997). Kyoto Protocole to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- [Ventère 95] Ventère, J. (1995). La qualité écologique des produits – Des écobilans aux écolabels. Éditions Sang de la Terre - AFNOR.
- [Vergnaud 02] Vindt, G. (2005). « L'homme et la nature en huit étapes », *Alternatives Economiques, Hors-Série n° 63 Le développement durable*, pp. 12-16.
- [WCED 87] World Commission on Environment and Development (1987). Brundtland Report, Our common future. United Nations, WCED, Oxford University Press.
- [Weizsäcker 97] Von Weizsäcker, E.U., Lovins, A.B., Lovins, L.H. (1997). Factor Four. Doubling wealth, halving resource use. The new report to the Club of Rome, Earthscan Publications, London.
- [Wenzel 00] Wenzel, H., Hauschild, M., Alting, L. (2000). Environmental Assessment of Products. Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development, Kluwer Academic Publishers, second edition.
- [WI 04] Worldwatch Institute (2004). State of the World 2004. Special focus: the consumer society. New York.
- [Wimmer 01] Wimmer, W., Züst, R. (2001). ECODESIGN Pilot. Kluwer Academic Publishers.
- [WWF 04] WWF. Living Planet Report 2004.
- [Zackrisson 05] Zackrisson, M. (2005). "Environmental aspects when manufacturing products mainly out of metals and/or polymers", *Journal of Cleaner Production*, 13 (1), pp43-49.
- [Zarifian 02] Zarifian, P. (2002). « La politique de la compétence et l'appel aux connaissances dans la stratégie d'entreprise », 1er Colloque GCCGI, Vers l'articulation entre compétences et connaissances, Nantes.

[Zhang 04]

Zhang, Q., Lim, J.-S., Cao, M. (2004). "Learning and Knowledge creation in product development: a LISREL analysis", *International Journal of Product Development*, 1 (1), pp107-129.

Textes législatifs, réglementaires et normatifs⁴

- [AFNOR 96] Norme XP R10-402 : Véhicules routiers – Conception des véhicules en vue de l'optimisation de la valorisation en fin de vie. AFNOR, juillet 1996.
- [AFNOR 97] Norme NF EN ISO 14040. Management environnemental. Analyse du cycle de vie – Principes et cadres. AFNOR, septembre 1997.
- [AFNOR 98a] Norme FD X 30-310. Management environnemental. Prise en compte de l'environnement dans la conception des produits – Principes généraux et application. AFNOR, mai 1998.
- [AFNOR 98b] Norme NF EN ISO 14041. Management environnemental. Analyse du cycle de vie – Définition de l'objectif et du champ de l'étude et analyse de l'inventaire. AFNOR, décembre 1998.
- [AFNOR 00a] Norme NF EN ISO 14043. Management environnemental. Analyse du cycle de vie – Interprétation du cycle de vie. AFNOR, mai 2000.
- [AFNOR 00b] Norme XP ISO/TR 14025. Marquage et déclarations environnementaux. Déclarations environnementales de type III. AFNOR, décembre 2000.
- [AFNOR 01a] Norme NF EN ISO 14024. Marquage et déclarations environnementaux. Etiquetage environnemental de type I – Principes et méthodes. AFNOR, mai 2001.
- [AFNOR 01b] Norme NF EN ISO 14021. Marquage et déclarations environnementaux. Autodéclarations environnementales (Etiquetage de type II). AFNOR, octobre 2001.
- [AFNOR 03] Norme XP ISO/TR 14062. Management environnemental – Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit. AFNOR, janvier 2003.
- [AFNOR 04] Norme NF EN ISO 14001. Système de management environnemental. Exigences et lignes directrices pour son utilisation. AFNOR, décembre 2004.
- [CCE 01a] Commission des Communautés Européennes (2001). Livre vert sur la Politique Intégrée de Produits, COM(2001) 68 final, Bruxelles, 07.02.2001.
- [CCE 01b] Commission des Communautés Européennes. Livre blanc. Stratégie pour la future politique dans le domaine des substances chimiques. COM(2001) 88 final, Bruxelles, 27 février 2001.
- [CCE 01c] Commission des Communautés Européennes. Livre vert. Promouvoir un cadre européen pour la responsabilité sociale des entreprises, COM(2001) 366 final, Bruxelles, 18.7.2001.
- [CCE 02] Commission des Communautés Européennes. Rapport final sur le livre vert « Vers une stratégie européenne de sécurité d'approvisionnement énergétique », *Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen*, COM(2002) 321 final, Bruxelles, 26.6.2002.
- [CEC 04] Commission of the European Communities. Buying green! A handbook on environmental public procurement, *Commission staff working document*, SEC(2004) 1050, Brussels, 18.8.2004.
- [ISO 01] Norme ISO/DIS 22628. Véhicules routiers – Recyclabilité et valorisabilité – Méthode de calcul, *Projet de norme internationale*, Juillet 2001.

⁴ **AFNOR** : Association Française de Normalisation – **ISO** : International Organization for Standardization – **JOCE** : Journal Officiel des Communautés Européennes – **JORF** : Journal Officiel de la République Française – **JOUE** : Journal Officiel de l'Union Européenne.

- [JOCE 82] JOCE. Directive du Conseil n° 82/501/CEE du 24 juin 1982 concernant les risques d'accidents majeurs de certaines activités industrielles, JOCE du 5 août 1982.
- [JOCE 94] JOCE. Directive n° 94/62/CE du Parlement européen et du Conseil du 20 décembre 1994 relative aux emballages et aux déchets d'emballages. L 365/10, 31.12.94.
- [JOCE 96] JOCE. Directive n° 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution. JOCE n° L 257 du 10 octobre 1996.
- [JORF 01] JORF. Loi n° 2001-420 du 15 mai 2001 relative aux nouvelles régulations économiques. N°113 du 16 mai 2001.
- [JORF 04] JORF. Décret n°2004-15 du 7 janvier 2004 portant code des marchés publics. p703, 8 janvier 2004.
- [JOUE 00] JOUE. Directive 2000/53/CE du Parlement Européen et du Conseil du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage, L 269/34, 21.10.2000.
- [JOUE 03a] JOUE. Directive 2002/95/CE du Parlement Européen et du Conseil du 27 janvier 2003 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, L 37/19, 13.2.2003.
- [JOUE 03b] JOUE. Directive 2002/96/CE du Parlement Européen et du Conseil du 27 janvier 2003 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), L 37/24, 13.2.2003.
- [JOUE 04a] JOUE. Directive 2004/12/CE du Parlement européen et du Conseil du 11 février 2004 modifiant la directive 94/62/CE relative aux emballages et aux déchets d'emballages. L 47/26, 18.2.2004.
- [JOUE 04b] JOUE. Directive 2004/17/CE du Parlement Européen et du Conseil du 31 mars 2004 portant coordination des procédures de passation des marchés dans les secteurs de l'eau, de l'énergie, des transports et des services postaux. L 134/1, 30.04.2004.
- [EU&C 05] The European Parliament & the Council. Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for Energy-using Products and amending Council directive 92/42/EEC and directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council. PE-CONS 3618/05, Strasbourg, 6 July 2005.
- [PE&C 02] Parlement Européen et Conseil. Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil sur la responsabilité environnementale en vue de la prévention et de la réparation des dommages environnementaux, COM(2002) 17 final, 2002/0021(COD), Bruxelles, 23.1.2002.

ANNEXE 1

Questionnaire pour l'analyse typologique environnementale
avec l'outil ATEP

CLASSE CONFIDENTIEL PAR LE CETIM

ANNEXE 2

Règles pour l'analyse typologique environnementale – Règles
pour la construction de l'algorithme de l'outil ATEP

(annexe 2A)

Arbres de décision

(annexe 2B)

CLASSE CONFIDENTIEL PAR LE CETIM

ANNEXE 3

Aspects Environnementaux, Lignes Directrices et indicateurs

(annexe 3A)

Stratégies d'éco-conception et Lignes Directrices

(annexe 3B)

Déclinaison des aspects environnementaux (AE) en lignes directrices (LD).
 Correspondance entre AE, stratégies environnementales, et LD.
 Indicateurs de référentiel et indicateurs de suivi (proposition non exhaustive).

(Référence : figure 38, chap. 3, page 155)

Aspects environnementaux	Indicateurs AE (Indic. de référentiel)	Stratégies	Lignes directrices de niveau 1 (LD1)	Indicateurs LD1 (indic. de suivi)
MP	<ul style="list-style-type: none"> • masse (kg) / UF • % massique mat. recyclés 	Sélectionner des matériaux à moindre impact environnemental	Matériaux moins polluants	<ul style="list-style-type: none"> • nbre mat. polluants • % mat. polluants • % massique de mat. polluants
			Matériaux renouvelables	<ul style="list-style-type: none"> • nbre mat. renouv. • % mat. renouv • % massique de mat. renouv
			Matériaux recyclés	<ul style="list-style-type: none"> • nbre mat. recyclés • % mat. recyclés en partie • % total massique de mat. recyclés
			Matériaux recyclables	<ul style="list-style-type: none"> • nbre mat. recyclables • % mat. recyclables • % total massique de mat. recyclés
			Matériaux à moindre contenu énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • Contenu énergétique / matériau (MJ / kg mat) • Contenu énergétique total (MJ / produit)
		Réduire l'utilisation des matériaux	Réduction en poids	• masse (kg)
			Réduction en volume	• volume (l)
		Développer de nouveaux concepts	Dématérialisation	• masse (kg) / UF
			Utilisation partagée du produit	<ul style="list-style-type: none"> • taux d'usage moyen (h utilisation prod / jour) • nbre de personnes ayant accès au produit (pers / produit)
			Intégration de fonctions	• nbre de fonctions / produit
	Optimisation fonctionnelle du produit ou des composants	• nbre de fonctions / produit (ou / composant)		

Suite du tableau ...

Aspects environnementaux	Indicateurs AE (Indic. de référentiel)	Stratégies	Lignes directrices de niveau 1 (LD1)	Indicateurs LD1 (indic. de suivi)
Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> • kWh / produit • kg DIS / produit • kg DIB / produit • nbre opérations / produit 	Optimiser les techniques de production	Technologies de production alternatives (MTD)	<ul style="list-style-type: none"> • nbre de MTD dans l'usine pour produit • % de MTD pour prod / nbre total de procédés dans l'usine • nbre de MTD ppour prod sur le CdV produit • % de MTD pour prod / nbre total de procédés sur le CdV produit
			Diminuer les étapes de production	<ul style="list-style-type: none"> • nbre étapes prod usine • nbre étapes prod CdV
			Réduire la consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • conso énergétique / prod (kWh ou MJ / prod)
			Opter pour des énergies propres	<ul style="list-style-type: none"> • % kWh énerg propre / kWh énergie totale • qté GES (t eq CO2) / prod
			Réduire les déchets	<ul style="list-style-type: none"> • masse totale déchets (kg) / produit • t DIS et t DIB / prod • % t DIS / t DIB pour le prod
			Diminuer l'utilisation des consommables	<ul style="list-style-type: none"> • masse totale consommables (kg) / produit
		Choisir des consommables moins polluants	<ul style="list-style-type: none"> • nbre de consommables polluants / prod • % consommables polluants / total consommables pour prod 	
		Bonnes pratiques de management	Engager un SME (EMAS ou ISO 14001)	<ul style="list-style-type: none"> • certification : O / N • nbre d'années de certification
			Préférer des sous-traitants certifiés ISO 14001 ou EMAS	<ul style="list-style-type: none"> • nbre de sous-traitants (pour prod) avec SME • % de sous-traitants (pour prod) avec SME
			Inciter les sous-traitants à engager un SME	<ul style="list-style-type: none"> • nbre de sous-traitants (pour prod) ayant engagé un SME • % de sous-traitants (pour prod) ayant engagé un SME
			Développer un système d'écologie industrielle avec les industries et/ou collectivités voisines	<ul style="list-style-type: none"> • qté de matière et énergie gérer selon ppes écologie industrielle

Suite du tableau ...

Aspects environnementaux	Indicateurs AE (Indic. de référentiel)	Stratégies	Lignes directrices de niveau 1 (LD1)	Indicateurs LD1 (indic. de suivi)
Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • kWh / UF • ddv (années) • kg déchets / UF 	Réduire l'impact de l'utilisation	Réduire la consommation d'énergie (éco-efficacité)	<ul style="list-style-type: none"> • qté énergie / UF • rdt énergétique (%) • poids, pertes de charge, ...
			Utiliser de l'énergie moins polluante	<ul style="list-style-type: none"> • qté GES (t eq CO2) / UF • indicateur qualitatif énergie renouvelable / énergie NR
			Optimiser le rendement du produit par rapport au système « supérieur » dans lequel il est inclus	<ul style="list-style-type: none"> • rdt du produit / fonctionnement du système « supérieur »
			Diminuer l'utilisation de consommables**	<ul style="list-style-type: none"> • qté consommable / UF • rdt utilisation du consommable
			Utiliser des consommables moins polluants	<ul style="list-style-type: none"> • nbre consommables polluants / UF • % consommables polluants/ UF • % massique de DIS / ddv prod
			Réduire les émissions et déchets liés à la consommation	<ul style="list-style-type: none"> • qté (kg) déchets / ddv prod • qté (kg) émissions non polluantes / ddv prod • qté (kg) émissions polluantes / ddv prod
			Favoriser une utilisation environnementalement correcte du produit (surconsommation ou production de déchets)	<ul style="list-style-type: none"> • % de bon usage parmi les utilisateurs / prod
		Optimiser la durée de vie	Durabilité et fiabilité du produit	<ul style="list-style-type: none"> • ddv programmée du produit (années) • ddv effective produit (années)
			Faciliter la maintenance et la réparation	<ul style="list-style-type: none"> • taux de prod effectivement réparés • Délai entre 2 maintenances • Temps de réparation • Coût (répar. + mainten.) / ddv produit
			Structure modulaire du produit	<ul style="list-style-type: none"> • nbre de modules interchangeables / prod • % massique des modules interchangeables
			Penser au design (effet de mode, ...)	<ul style="list-style-type: none"> • obsolescence prévue du produit (années) / cycle de mode dans lequel il s'inscrit • indicateur (qualitatif ?) mesurant la neutralité / effet de mode ??????
			Renforcer le lien produit-utilisateur	<ul style="list-style-type: none"> • Taux de satisfaction des utilisateurs • Indicateur de Qualité perçue / utilisateurs

Suite du tableau ...

Aspects environnementaux	Indicateurs AE (Indic. de référentiel)	Stratégies	Lignes directrices de niveau 1 (LD1)	Indicateurs LD1 (indic. de suivi)
Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • kWh / UF • ddv (années) • kg déchets / UF 	Développer de nouveaux concepts	Dématérialisation	• masse (kg) / UF
			Utilisation partagée du produit	• taux d'usage moyen (h utilisation prod / jour) • nbre de personnes ayant accès au produit (pers / produit)
			Intégration de fonctions	• nbre de fonctions / produit
			Optimisation fonctionnelle du produit ou des composants	• nbre de fonctions / produit (ou / composant)
FV-Recyclabilité	<ul style="list-style-type: none"> • taux recyclabilité • taux réutilisation • taux valorisation 	Optimiser la fin de vie du produit	Produit réutilisable	• taux de réutilisation du produit (nbre prod réutilisés / 10 ³ prod)
			Remise à niveau du produit	• taux de remise à niveau potentiel du produit (nbre prod ràn / 10 ³ prod)
			Réutiliser des pièces du produit pour la fabrication de nouveaux produits	• nbre de pièces réutilisables / prod • % massique de pièces réutilisables
			Recyclage des matériaux	• % massique de matériaux recyclables • taux de recyclabilité réelle • % massique de recyclage matière • % massique de recyclage « dégradé »
		Développer un système de récupération des produits	• système de récupération créé : O / N • % de produits propres récupérés / an • qté totale de produits (toud prod) récupérés / an	
FV-Substances	<ul style="list-style-type: none"> • taux de SD / prod • nbre SD / prod 	Optimiser la fin de vie du produit	Substances dangereuses (SD)	• nbre de SD / prod • % massique SD / prod
			Incinération « sûre » (moins polluante)	• nbre matériaux contribuant à la formation de SD lors de l'incinération • % massique de matériaux contribuant à la formation de SD lors de l'incinération
			Mise en décharge « sûre » (moins polluante)	• nbre matériaux contribuant à la formation de SD lors de la mise en décharge • % massique de matériaux contribuant à la formation de SD lors de la mise en décharge

Suite du tableau ...

Aspects environnementaux	Indicateurs AE (Indic. de référentiel)	Stratégies	Lignes directrices de niveau 1 (LD1)	Indicateurs LD1 (indic. de suivi)
Transports	<ul style="list-style-type: none"> t.km / prod km / prod 	Optimiser la logistique	Opter pour des modes de transport moins polluants (bateau + train)	<ul style="list-style-type: none"> taux de transports moins polluants (% t.km) / prod
			Optimiser la logistique	<ul style="list-style-type: none"> t.km / prod taux de chargement potentiel (kg ou m3) des moyens de transport expéd / prod taux d'approvisionnement / zone (région, France, Europe, monde) / prod taux d'emballages standardisés
Emballages	<ul style="list-style-type: none"> Nbre total emball / prod Taux recyclabilité emball Masse emball (kg) / prod 	Minimiser et optimiser les emballages	Réduire la quantité d'emballages	<ul style="list-style-type: none"> nbre d'emballages poids (kg) volume (l)
			Concevoir des emballages moins polluants (MP et FV)	<ul style="list-style-type: none"> taux d'emb recyclables / prod (% mass) taux d'emb biodégradables / prod (% mass)
			Concevoir des emballages réutilisables	<ul style="list-style-type: none"> taux d'emballages réutilisables / prod (% massique)
		Concevoir des emballages optimisés pour la logistique	<ul style="list-style-type: none"> taux de chargement potentiel (kg ou m3) des moyens de transport expéd / prod taux de vide par empilement / prod 	
		Développer de nouveaux concepts	Intégration de fonctions	<ul style="list-style-type: none"> nbre emballages nbre de fonctions assurées par l'emb / emb

Déclinaison des stratégies environnementales en lignes directrices (LD).

(Référence : figure 38, chap. 3, page 155)

Sources : [Hemel 98 ; Wimmer 01]

Stratégie	LD niveau 1	LD niveaux sup et exemples
Sélectionner des matériaux à moindre impact environnemental	Matériaux moins polluants	<ul style="list-style-type: none"> • Ne pas utiliser de matériaux ou de substances qui peuvent être interdits ou explicitement visés comme toxiques sous une forme ou une autre. Ex : PCB, PCT, Pb (dans PVC, colorants, batteries), Cd (pigments, colorants et batteries), Hg (thermomètres, interrupteurs, tubes fluorescents), CFC, ... • Éviter les substances ou matériaux problématiques pour la couche d'ozone (molécules halogénées Cl, Br, F) tels que halons, méthylbromure, aérosols pour réfrigérants, mousses plastiques, solvants, ... • Éviter les substances hydrocarbonées (CxHy) dans laques, solvants, mousses plastiques ... • Éviter les TS comme la galvanisation, électrozingage, chromage, ... • Trouver des alternatives aux métaux non ferreux comme le Cu, Zn, laiton, bronze, Cr et Ni (à cause des émissions lors de leur fabrication).
	Matériaux renouvelables	<ul style="list-style-type: none"> • Trouver des alternatives pour les matériaux à base de ressources fossiles (plastiques), bois rares tropicaux, et ressources minérales, notamment métaux rares tels que Cu, Zn, Sn, Pt.
	Matériaux recyclés	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser le plus souvent possible des matériaux recyclés (plastiques recyclés, matériaux de seconde fusion, etc.) notamment pour les pièces du produit ne nécessitant pas de caractéristiques particulières telles que des caractéristiques mécaniques, d'aspect, ou d'hygiène. • Faire appel le plus possible aux caractéristiques « particulières » des matériaux recyclés (variation de couleurs, de texture, ...).
	Matériaux recyclables	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser le plus possible des matériaux dont on sait qu'ils sont réellement recyclables en fonction des filières existantes (métaux, certains plastiques pour certaines applications, matériaux d'emballage).
	Matériaux à moindre contenu énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • Éviter les matériaux ayant un contenu énergétique élevé (ex : aluminium pour des produits à durée de vie courte, ...) • Éviter les matériaux issus de l'agriculture intensive.
Réduire l'utilisation des matériaux	Réduction en poids	<ul style="list-style-type: none"> • Obtenir la rigidité souhaitée par une conception au plus juste plutôt que par « surdimensionnement » (ex : utiliser des liens de renforcement, ...). • Viser à obtenir une qualité de produit par une conception au plus juste plutôt que par « surdimensionnement ».
	Réduction en volume (transport)	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire l'espace requis pour le transport et le stockage en réduisant la taille du produit et son volume total. • Rendre le produit pliable et/ou approprié pour l'emboîtement. • Prévoir un transport du produit en pièces détachées qui peuvent être assemblées par un tiers voire par l'utilisateur final.

Suite du tableau ...

Stratégie	LD niveau 1	LD niveaux sup et exemples
Optimiser les techniques de production	Technologies de production alternatives (MTD)	<ul style="list-style-type: none"> • Préférer les techniques de fabrication propres requérant le minimum de substances dangereuses (CFC dans les solvants de dégraissage, agents blanchissants chlorés, ...) • Sélectionner les techniques générant le moins possible d'émissions (ex : cintrage au lieu de soudage, vissage au lieu de collage). • Sélectionner les techniques les plus économes en matière (ex : peinture poudre par électrodéposition plutôt que peinture solvantée par aspersion).
	Diminuer les étapes de production	<ul style="list-style-type: none"> • Combiner les différentes fonctions en un composant unique pour réduire les étapes de fabrication nécessaires. • Préférer les matériaux ne nécessitant pas de traitement. • Standardiser les pièces / éléments / composants pour des produits différents (ex : même moteur pour voitures différentes)
	Réduire la consommation d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser / concevoir des process économes en énergie (éco-efficacité).
	Opter pour des énergies propres	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des sources d'énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, biogaz) ou faiblement émissives en soufre (gaz naturel, fuel ou charbon à faible teneur en soufre).
	Réduire les déchets	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir le produit / process de manière à minimiser les déchets de matières (chutes de production, copeaux, etc.). • Diminuer la quantité de déchets générés sur le(s) site(s) de production. • Recycler en interne les déchets de matières premières ;
	Diminuer l'utilisation des consommables	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire l'utilisation des consommables nécessaires pour la fabrication (systèmes fermés, recyclage en interne) et pour l'entretien de l'usine (ex : bonne pratiques en interne, moins de lavage des sols si les machines ne fuient pas).
	Choisir des consommables moins polluants	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des consommables sans substances dangereuses (solvants chlorés, CFC, ...).
Optimiser la logistique	Emballages <ul style="list-style-type: none"> • Moins d'emballages • Moins polluants • Réutilisables 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimiser les quantités d'emballage à la fois en poids et en volume. • Penser la forme des emballages pour une logistique optimisée. • Adapter les matériaux en fonction du type d'emballage (ex : pas de PVC ou d'aluminium pour des emballages non réutilisables). • Concevoir des emballages hautement recyclables pour les emballages individuels et les emballages collectifs qui ne peuvent pas être réutilisés • Concevoir des emballages biodégradables • Si l'emballage doit revêtir une fonction d'estime pour le produit, concevoir cet emballage de manière minimaliste. • Pour le transport et les emballages de lots, utiliser des emballages réutilisables et prévoir un système de collecte et de retour de ces emballages. • S'assurer que l'emballage est approprié au plus juste pour le produit tel qu'il a été conçu selon les règles édictées ci-dessus.
	Opter pour des modes de transport moins polluants	<ul style="list-style-type: none"> • Eviter les transports par avion. • Préférer les transports par bateau ou train plutôt que par camion. • Pour les expéditions longue distance préférer les modes de transport les moins polluants.

Suite du tableau ...

Stratégie	LD niveau 1	LD niveaux sup et exemples
Optimiser la logistique	Optimiser la logistique	<ul style="list-style-type: none"> • Encourager la coopération avec des fournisseurs locaux, les plus proches possible. • Optimiser les trajets en favorisant le remplissage maximum des moyens de transport plutôt qu'en multipliant les trajets à faible charge. • Utiliser des systèmes d'emballage standardisés.
Réduire l'impact de l'utilisation	Réduire la consommation d'énergie (éco-efficacité)	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser les moyens (composants) les plus économes en énergie disponibles sur le marché. • Incorporer des modes « faible consommation par défaut » (mode veille). • S'assurer que l'utilisateur puisse éteindre les systèmes de veille, horloges, et autres systèmes. • Si le produit utilise de l'énergie pour se déplacer, concevoir un produit le plus léger possible. • Si le produit comprend un système de chauffage, concevoir un système d'isolation performant.
	Optimiser le rendement du produit par rapport au système « supérieur » dans lequel il est inclus	<ul style="list-style-type: none"> • D'une manière générale, si le produit est en interaction avec un système d'ordre « supérieur » dans lequel il est inclus, penser à optimiser le rendement énergétique du produit par rapport à ce système (ex réduction des pertes de charges d'une vanne dans un circuit hydraulique, roulements à billes, etc.)
	Utiliser de l'énergie moins polluante	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser la source d'énergie la moins polluante localement (ex : gaz naturel aux Pays-Bas, électricité en France). • Utiliser des sources d'énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, biogaz, bois) ou faiblement émissives en soufre (gaz naturel, fuel ou charbon à faible teneur en soufre).
	Diminuer l'utilisation de consommables*	<ul style="list-style-type: none"> • Prévoir une utilisation du produit requérant un minimum de consommables (ex : cafetière avec filtre permanent plutôt que filtre papier). • Prévoir un système de détection des fuites pour les produits concernés. • Prévoir un système de réutilisation / recyclage des consommables (ex : lave-vaisselle qui réutilise l'eau).
	Utiliser des consommables moins polluants	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir une utilisation du produit avec les consommables les moins polluants.
	Réduire les émissions et déchets liés à la consommation	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire les émissions générées par l'utilisation du produit. • Réduire le caractère polluant des émissions. • Pour les produits comprenant des sources d'énergie type piles / batteries, favoriser l'utilisation de piles / batteries rechargeables.
	Favoriser une utilisation environnementalement correcte du produit (surconsommation ou production de déchets)	<ul style="list-style-type: none"> • Eviter une mauvaise utilisation du produit en donnant à l'utilisateur des instructions claires. • Concevoir le produit de telle sorte que l'utilisateur ne puisse pas jeter ou perdre de consommable (ex : tous les orifices d'admission pour remplir le produit doivent être suffisamment grands). • Utiliser des repères pour indiquer le dosage juste à l'utilisateur (ex : poudre machine à laver). • Prévoir le fonctionnement par défaut comme étant le meilleur d'un point de vue environnemental (ex : gobelet non fourni automatiquement pour les distributeurs de boisson, option copies recto/verso, etc.).

Suite du tableau ...

Stratégie	LD niveau 1	LD niveaux sup et exemples
Optimiser la durée de vie	Durabilité et fiabilité du produit	<ul style="list-style-type: none"> • Accroître la durée de vie du produit • Ajuster la durée de vie du produit aux cycles technologique, esthétique (mode), ... • Ajuster la durée de vie du produit (si composant) à la durée de vie du système « supérieur » • Améliorer la fiabilité (qualité) du produit
	Faciliter la maintenance et la réparation	<ul style="list-style-type: none"> • Minimiser les besoins en maintenance. • Indiquer clairement sur le produit les endroits pour le démontage pour nettoyage et entretien. • Indiquer clairement sur le produit les pièces / composants nécessitant un nettoyage ou entretien particulier. • Indiquer clairement sur le produit les pièces / composants qui doivent être régulièrement vérifiés. • Les composants les plus vulnérables doivent pouvoir être démontés et remplacés facilement. • Permettre que les endroits susceptibles de défaillance soient détectés et remplacés à temps. • Placer les pièces / composants susceptibles de défaillance proches les uns des autres pour pouvoir les remplacer rapidement.
	Structure modulaire du produit	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir une structure modulaire du produit de manière à pouvoir remplacer / ajouter facilement des composants neufs / nouvelles fonctions pour une mise à niveau (technique, esthétique) du produit (ex : cartes mémoires dans unités centrales, garnitures (dossier / fauteuil) de sièges).
	Penser au design (effet de mode, ...)	<ul style="list-style-type: none"> • S'assurer que les effets de mode ne réduiront pas la durée de vie du produit sur le marché (obsolescence programmée).
	Renforcer le lien produit-utilisateur	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir le produit de telle sorte qu'il satisfasse les attentes de l'utilisateur (peut être même des attentes non explicitées) pour une période la plus longue possible • Faciliter la prise en main (compréhension) / appropriation du produit par l'utilisateur. • Concevoir le produit pour une adaptation optimisée multi-utilisateurs • Faire en sorte qu'entretenir et réparer le produit soit plus un plaisir qu'une charge pour l'utilisateur. • Donner au produit une valeur d'estime (technique, esthétique) de telle sorte que l'utilisateur soit réticent (hésite) à le remplacer.

Suite du tableau ...

Stratégie	LD niveau 1	LD niveaux sup et exemples
Optimiser la fin de vie du produit	Recyclage des matériaux	<ul style="list-style-type: none"> • Favoriser, tant que possible, le recyclage primaire par rapport au recyclage secondaire et au recyclage tertiaire**. • Concevoir pour le désassemblage (produit / sous-ensembles / éléments) : <ul style="list-style-type: none"> ○ Concevoir un produit à la structure hiérarchique et modulaire ; les modules doivent pouvoir être retirés, réutilisés, recyclés selon la technique appropriée ○ Regrouper les éléments polluants dans un même endroit pour faciliter la dépollution ○ Utiliser des liaisons réversibles et non destructives ○ Utiliser des liaisons standard nécessitant un minimum d'outils universels pour le désassemblage (ex : utiliser un seul type et taille de vis) ○ Faciliter l'accès aux éléments de liaisons (accès, direction, espace de manipulation, ...) ○ S'il n'est pas possible de concevoir un désassemblage non destructif, prévoir des points de fragilisation de telle sorte que par désassemblage destructif on obtienne des ensembles homogènes avec des matériaux compatibles pour le recyclage matière • Utiliser des matériaux recyclables <ul style="list-style-type: none"> ○ Utiliser des matériaux pour lesquels un système de collecte et des techniques de recyclage existe déjà (ou au moins, sont attendues) ○ Utiliser des matériaux pour lesquels il existe un marché pour le matériau recyclé ○ S'assurer que les TS sont compatibles avec le recyclage du(des) matériau(x) ○ Pour les plastiques : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Utiliser des TP ▪ Eviter les composites, laminés, chargés, avec RF, avec FV • Concevoir le plus possible selon une approche monomatériau (réduire le nombre de matériaux différents): <ul style="list-style-type: none"> ○ Intégrer le plus possible de fonctions dans des éléments unitaires ○ Sélectionner un unique type de matériau pour l'ensemble du produit ou à défaut pour le plus grand nombre de sous ensembles ○ Si monomatériau impossible, utiliser des matériaux compatibles ○ Utiliser des plastiques pouvant être triés par densimétrie ○ Eviter l'insertion d'éléments « polluants » (par ex étiquettes, autocollants, inserts) pouvant nuire au procédé de recyclage • Marquage des matériaux non métalliques selon les normes ISO.

Suite du tableau ...

Stratégie	LD niveau 1	LD niveaux sup et exemples
Optimiser la fin de vie du produit	Produit réutilisable	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir un produit avec un design classique (universel) de telle sorte qu'il ne devienne pas obsolète esthétiquement dans le cadre d'une deuxième vie. • Concevoir des produits robustes de telle sorte qu'ils ne deviennent pas techniquement obsolètes prématurément.
	Remise à niveau du produit	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir pour le désassemblage (du produit en sous-ensembles) de telle sorte que le produit puisse facilement (le plus rapidement possible) être inspecté, nettoyé, réparé et que les sous-ensembles ou composants susceptibles de défaillance ou vieillissement puissent être remplacés : <ul style="list-style-type: none"> ○ Concevoir un produit à la structure hiérarchique et modulaire ; les modules doivent pouvoir être retirés pour refabrication ○ Utiliser des liaisons réversibles et non destructives ○ Utiliser des liaisons standard nécessitant un minimum d'outils universels pour le désassemblage (ex : utiliser un seul type et taille de vis) ○ Faciliter l'accès aux éléments de liaisons (accès, direction, espace de manipulation, ...) • Placer toutes les parties susceptibles d'être remplacées proches les unes des autres. • Indiquer directement sur le produit les parties qui doivent être nettoyées ou entretenues de manière spécifique.
	Réutiliser des pièces du produit pour la fabrication de nouveaux produits	
	Substances dangereuses	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter ou interdire l'usage des métaux lourds Hg, Cr6, Cd, Pb • Limiter ou interdire l'usage de retardateurs de flamme (RF), de pigments, de substances halogénées (Cl, Br, F) • Limiter ou interdire l'usage de substances reconnues dangereuses par des directives ou des listes internes entreprises (ex : phtalates, ...)
	Incinération « sûre » (moins polluante)	<ul style="list-style-type: none"> • Si le produit ne peut être recyclé, éviter d'utiliser des matériaux et/ou substances susceptibles de générer des émissions toxiques lors de l'incinération <ul style="list-style-type: none"> ○ Si de tels matériaux / substances ne peuvent être évités, concevoir de telle sorte qu'ils soient regroupés proches les uns des autres pour faciliter la phase de dépollution
	mise en décharge « sûre » (moins polluante)	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des matériaux biodégradables. • Eviter l'utilisation de matériaux / substances susceptibles de générer des émissions dangereuses par lixiviation.

Suite du tableau ...

Stratégie	LD niveau 1	LD niveaux sup et exemples
Développer de nouveaux concepts	Dématérialisation	<ul style="list-style-type: none"> • Réseau internet pour la communication : évite utilisation de papier et les messages / fax • Les répondeurs personnels peuvent être remplacés par des services de messagerie centralisés
	Utilisation partagée du produit	<ul style="list-style-type: none"> • Mise à disposition de parcs de voitures • Concevoir le produit pour une adaptation optimisée multi-utilisateurs
	Intégration de fonctions	<ul style="list-style-type: none"> • Machines uniques téléphone/fax/répondeur • Couteau suisse
	Optimisation fonctionnelle du produit ou des composants	<ul style="list-style-type: none"> • 1 produit ou composant = plusieurs fonctions (par ex : éviter le suremballage)
Pratiques de management	Engager un SME (EMAS ou ISO 14001)	
	Préférer des sous-traitants certifiés ISO 14001 ou EMAS	
	Inciter les sous-traitants à engager un SME	
	Ecologie industrielle	Développer un système d'écologie industrielle avec les industries et/ou collectivités voisines
Développer un système de récupération des produits		

- * Lorsque l'on souhaite améliorer un consommable du produit, celui-ci doit être considéré séparément du produit, avec son propre cycle de vie. Dans ce cas, les LD s'appliquent séparément pour le consommable considéré alors en tant que produit.
- ** recyclage primaire : les matériaux recyclés sont utilisés pour le même usage que le matériau d'origine / recyclage secondaire : matériau recyclé utilisé pour une application dont les caractéristiques exigées sont moindres (recyclage dégradé) / recyclage tertiaire : feedstock ou décomposition chimique : décomposition des molécules de plastiques en molécules élémentaires (elementary raw materials). Source : Nijkerk 1995 cité dans [Hemel 98].

ANNEXE 4

Liste des outils support BE pour
l'intégration des contraintes
environnementales dans l'entreprise

Liste des outils support BE pour l'éco-conception dans l'entreprise

Outil support BE		Existant		A faire ?		Action	Sources documentaires identifiées
		Oui	Non	Oui	Non		
1	Support sensibilisation / formation EC-	?		X		Création support powerpoint	
2	Tableau compatibilité chimique des plastiques	X			X	-	Norme XP R 10-402
3	Table de tri densimétrique des plastiques	X			X	-	Norme XP R 10-402
4	Mode de calcul de la recyclabilité	X			X	-	Norme ISO/DIS 22628
5	Contenu énergétique des matériaux	X		X		Compilation	Logiciel matériaux CES 4.5 Logiciel EuroMat, ...
6	Eco-indicateur (matériaux, procédés, ...)	X				Compilation	EI 95, EI 99, ...
7	Table « contenu moyen en matériau recyclé »		X	X		Compilation	sources dispo. à l'ENSAM
8	Liste des matériaux recyclables en l'état actuel des techniques au stade industriel et performance des filières de recyclage	?		X		Compilation	sources dispo. à l'ENSAM
9	Liste des matériaux renouvelables		X	X		Compilation	
10	Listes des matériaux rares		X	X		Compilation	
11	Listes des matériaux potentiellement polluants		X	X		Compilation	
12	Liste des substances interdites et/ou limitées	X				Compilation et adaptation au public visé	Directives VHU, LSD, emballages, 76/769/CEE
13	Banque d'idées de solutions alternatives pour une meilleure conception environnementale (matériaux, procédés, principes de conception, ...)	X		X		compilation ou renvoi sous forme de liens internet	sites web
14	Synthèse des directives produit		X	X		Synthèse de textes	Directives VHU, DEEE, LSD, emballages, EuP
15	Liste (non exhaustive) d'indicateurs (et de leurs unités)		X	X		Compilation	
16	Mode de calcul de l'indicateur t.km pour le transport	X				explication mode de calcul	
17	Base de données des procédés de la mécanique	X ¹			X	Capitalisation des retours d'expériences	
18	Règles de préférence des liaisons mécaniques (assemblage / désassemblage)	X		X		Compilation	docs internes ENSAM, guides entreprises

¹ E. Virot, « Informatisation de la méthode EDIMS et réalisation d'une base de données environnementales des procédés de l'industrie mécanique », PFE ENSAM, Chambéry, juin 2005.

ANNEXE 5

Synthèse des résultats ACV pour les 10 produits tests

Éléments de synthèse des rapports ACV des 10 produits tests étudiés (Référence : tableau 23, chap. 3, page 166)

Siège de bureau PLEASE	Steelcase
-----------------------------------	------------------

Informations générales

- UF : *siège de bureau avec les caractéristiques de confort affichées, pour une personne moyenne (poids entre 45 et 110 kg) utilisant le siège 8 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 15 ans.*
- Vente à des professionnels
- Durée de vie = 15 ans
- Poids total hors emballages = 23,7 kg
- Emballages (2 matériaux)
- 112 pièces et composants
- Fournisseurs : Europe (grande majorité)
Monde
- Clients : Europe (> 70 % ventes)
Monde
- Recyclage < 68 % (en broyeur)

Résultats ACV

- Consommation d'énergie primaire
MP + F + T + FV = 45,8 MJ

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé	Pondéré	Précisions
Ressources	Zn (54 mPE) Fe (9 mPE) Gaz (4 mPE)	Zn (2,7 mPR) Fe (0,1 mPR) Gaz (0,1 mPR)	- Zn et Fe = MP - Gaz = Fab
Impacts	HT (16 mPE) Effet serre (14 mPE) ETA (12 mPE) ETC (13 mPE)		- Toxicité = matériau PU majoritairement, et acier (élect) et bois aggro - Effet de serre = acier et transport

- Impacts (pondérés) par phases cycle de vie
 - MP 76 mPE
 - Fab 13 mPE
 - Transp 3 mPE
 - FV < 0 (récup)
- Voies d'amélioration
 - MP : Réduire la quantité de Zn et PU et bois aggro
Réduire quantité acier pour conso énergie
Utilisation de matériaux recyclés

Canette boisson Aluminium, 33 cl (1000 litres)	???? (Denmark)
---	---------------------------------

Les chiffres sont donnés pour 1 000 litres de boisson, soit 3030 canettes.

Informations générales

- UF : emballage et distribution de 1 000 litres de boisson gazeuse.
- Poids total = 14,45 g
- 3 "composants" : corps alu, revêtement intérieur, languette ouverture
- Produite à partir de feuilles d'alu de 0,25 mm d'épaisseur
- Hypothèse de récupération des canettes en fin de vie : 90 % sont recyclées
- Emballages (conditionnement expédition) pris en compte
- Les process de lavage des canettes avant remplissage ne sont pas pris en compte
- Fournisseurs : Europe ?
Monde ? (cf mention "boat" dans l'inventaire des énergies fossiles)
- Clients : Danemark 100 %

Résultats ACV

- Conso énergétique
 - Electricité (process fab + FV) 1080 MJ (301 kWh)
 - Energie primaire (process fab + FV) 550 MJ
 - Energie primaire (transports) 452 MJ

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé	Pondéré	Précisions
Ressources	Alu (1840 mPE) Charbon (180 mPE) Gaz (40 mPE) Pétrole (40 mPE)	Alu (9 mPR) Charbon (1 mPR) Pétrole (0,9 mPR) Mn (0,6 mPR)	
Impacts	ETSC (970 mPE) HTS (76 mPE) Déchets (390 mPE) Effet serre (43 mPE)	ETSC (1850 mPET) HTS (180 mPET) HTW (120 mPET) Déchets (540 mPET) Effet serre (55 mPET)	Toxicité liée aux émissions des process (tox humaine) et aux transports (écotox chronique). Déchets liés à la prod et process d'alu + prod de résine pour revêtement int.

- Les 2 phases du CV prépondérantes sont la fabrication et le transport
- Voies d'amélioration
 - Produit : réduction du poids de la canette
 - Transport : mode de distribution (type de camion)
 - Matériaux : type et quantité du revêtement intérieur
 - FV : taux de collecte

Réfrigérateur LER200	GRAM (Denmark, 2 000 employés)
---------------------------------	--

Informations générales

- UF : réfrigération d'un volume de 200 litres à 5 °C pendant 13 ans et dans un environnement à 25 °C.
- Durée de vie = 13 ans
- Fournisseurs = Europe
- Clients = Europe (en majorité) et monde (quelques %)
- Environ 130 pièces et composants
- Poids total hors emballage # 54 kg (il a fallu environ 140 kg de MP pour produire les 60 kg, emballages compris)
- Poids emballages # 6 kg
- Recyclage max. = 70 %
- Recyclage min = 55 %

Résultats ACV

- Consommation d'électricité en phase d'utilisation = 3 120 MJ = 870 kWh
- Consommation d'énergie primaire
 - Utilisation 9 000 MJ
 - MP 3 410 MJ
 - Fab 590 MJ
 - Transports < 200 MJ

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé	Pondéré	Précisions
Ressources	Charbon (41 mPE) Alu (10 mPE) Fer (7 mPE)	Charbon (0,25 mPR) Cuivre (0,13 mPR) Ni (0,1 mPR) Fe, Al, Zn (# 0,05 mPR)	Charbon = 90 % élect Métaux = MP
Impacts	Couche O3 (240 mPE) Effet de serre (32 mPE) Acidif (4 mPE) Tox totale (10 mPE *)	Couche O3 (26 200 mPET) Effet de serre (44 mPET) Acidif (7 mPE) Tox totale (21 mPE *)	Couche O3 = 100 % CFC, dont 62 % FV et 33 % Util et 5 % F) Toxicité = FV (déchets dangereux) Effet de serre = 25 % élect et 75 % CFC

* a priori valeur surestimée : cf commentaire p 340

- Impact principal = couche d'ozone, dû à utilisation CFC (année de ref = 1992)
- Impacts (pondérés) par phases cycle de vie
 - FV # 16 300 mPET
 - Util # 8 700 mPET
 - Fab # 1 200 mPET
 - MP # 10 mPET
 - Transp** # 0

** Pour les transports, seule la consommation d'énergie correspondant au gasoil est prise en compte. L'impact des émissions et les impacts des infrastructures ne sont pas prises en compte.

Remarque :

Si l'on fait abstraction de l'IE du fluide frigo (que ce soit couche d'ozone ou effet de serre), la phase U devient prépondérante (conso électricité), les phases MP et FV (déchets dangereux) étant deuxièmes, à peu près équivalentes.

- Emballages : non significatifs (cf p 343)
- Analyse sensibilité sur les hypothèses

Si on remplace CFC par R134a (situation actuelle), alors :

- Couche d'ozone = 0
 - Effet de serre devient l'impact principal (conso électricité utilisation + GWP R134a)
 - Phase utilisation devient prépondérante, la phase FV reste importante si broyage sans dépollution (effet de serre GWP R134a),
 - et les phases MP et FV (si dépollution avant broyage) sont à peu près équivalentes et inférieures (facteur 3 environ) à la phase utilisation.
- Efficacité énergétique du LER200 (meilleur du marché) = 3-4 %
 - Voies d'amélioration (3 niveaux d'amélioration du produit : concept, structure du produit et composants)
 - Fluide frigorigène
 - Efficacité énergétique : isolation
 - mode d'utilisation
 - compresseurs, évaporateur, etc.
 - Désassemblage et dépollution avant broyage
 - Cu et PVC à éviter

Pompe
JetpaQ

Grundfos
(Denmark, 9 000 employés)

Informations générales

- UF : fournir 5 m3 d'eau par heure à une pression de 1,5 bar ou un volume inférieur mais à une pression supérieure (jusqu'à 5 bar), pendant une durée effective totale de 4 870 heures.
- Pompe à destination des ménages (usage domestique)
- Durée de vie = 5 ans
- Poids total = 9,3 kg
- 45 composants
- Fonction contrôle électronique
- Fournisseurs Europe
- Clients Europe (marché réparti entre France, Italie et Espagne)
- Recyclage < 55 %
- Emballage = 1 carton 300 g
- Conso énergétique : 230 kWh / an en mode fonctionnement
41 kWh / an en veille

Résultats ACV

- Consommation d'énergie primaire
 - Utilisation 22 160 MJ (96 %)
 - MP 550 MJ (1/40 Ut)
 - Fab 380 MJ
 - Transports 40 MJ
 - FV < 0 (recup)

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé	Pondéré	Précisions
Ressources	Charbon (140 mPE) Gaz (21 mPE) Ni (50 mPE) Cu (13 mPE)	Ni (0,85 mPR) Charbon (0,6 mPR) Cu = gaz = pétrole (0,35 mPR)	- Ni = présent dans inox - Charbon = 100 % élect - Gaz et pétrole = 90 % élect + 10 % matériaux
Impacts	Déchets (35 mPE) Effet serre (17 mPE)	Déchets (42 mPET) Effet serre (22 mPET)	- Effet de serre et acidification = élect - Déchets dangereux = composants

	Acidification (12 mPE)	Acidification (19 mPET)	électroniques - Autres déchets = élect
--	------------------------	-------------------------	---

- Impacts (pondérés) par phases cycle de vie
 - Util # 55 mPET
 - MP > 5 mPET
 - Fab # 0 mPET
 - FV < 5 mPET
 - Transports # 0 mPET
- Voies d'amélioration (3 niveaux d'amélioration du produit : concept, structure du produit et composants)
 - Ressources (Ni et Cu) : augmenter recyclabilité (démontabilité) et diminuer MP (matériaux alternatifs, etc)
 - Diminuer conso électrique (efficacité énergétique du fonctionnement et du système de veille)
 - Augmenter la durée de vie

Téléviseur Beovision LX 5500	BANG & OLUFSEN (Denmark, 2 500 employés)
---	--

Informations générales

- UF : Réception de programmes télé 6 heures par jour (18 heures de veille) pendant 10 ans sur un écran 28".
- Durée de vie > 10 ans
- Poids total = 42,7 kg
- Emballages non pris en compte
- Environ 70 composants dont partie électronique, et hors visserie
- Fournisseurs : Europe (111 comp)
Monde (16 comp)
- Clients : Europe 90 %
Monde 10 %
- Recyclage # 10 % (4,48 kg métaux / 42,7 kg)
- Conso électricité : 81 W utilisation
3 W veille
- MP (sur CV télé) : 630 kg matériau pour 42,7 kg télé
- 1,3 tonnes CO2 émises (81 % phase utilisation)

Résultats ACV

- Conso électricité en phase d'utilisation : $(81 \times 6 + 3 \times 16) \times 365 \times 10 = 1\,970$ kWh
- Consommation d'énergie primaire
 - Utilisation 16 580 MJ (78 % total dont 71 % util - 7 % veille)
 - MP 3 760 MJ
 - Fab 940 MJ
 - Transports 240 MJ
 - FV < 0 (récup)

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé	Pondéré	Précisions
Ressources	Charbon (101 mPE)	Cuivre (1,3 mPR)	Charbon = 100 % élect

	Cuivre (47 mPE) Gaz nat (35 mPE) Alu Pétrole	Gaz nat (0,6 mPR) Charbon Pétrole	Cu = MP Gaz = 50 % élect + 50 % MP
Impacts	Déchets (37 mPE) Effet de serre (15 mPE) Acidif (10 mPE)	Déchets (40 mPET) Effet de serre (18 mPET) Acidif (14 mPET)	Déchets = 85 % élect + 15 % MP Effet serre et acidif : > 85 % élect

- Impacts (pondérés) par phases cycle de vie
 - Util # 30 mPET
 - MP # 4 mPET
 - FV # 3 mPET (*résidus incineration*)
 - Fab # 3 mPET (*électricité – effet serre – et substances composants EE – O3 photochim et toxicité*)
 - Transp # 0
- Voies d'amélioration (*3 niveaux d'amélioration du produit : concept, structure du produit et composants*)
 - MP : nombre et quantité des matériaux (ressources et FV recyclabilité)
 - Consommation énergétique : solution technique (tube cathodique vs LCD)
mode d'utilisation (veille)
 - Utilisation : durée de vie
 - Substances : peinture, TS

Nettoyeur HP
Hobby 70

KEW Industri
(Denmark, 675 employés, 7 filiales)

Informations générales

- UF : *Nettoyage d'une surface sur une période totale de 125 heures réparties sur 5 ans, le nettoyage étant réparti en 7 catégories suivant le type d'objets nettoyés.*
- Durée de vie = 5 ans
- Poids total = 4,66 kg
- Environ 100 composants
- Fournisseurs : Europe (grande majorité)
Monde (1 pays)
- Clients : Europe principalement
Monde
- Recyclage < 73 %
- Emballages pris en compte
- Process sous-traitants non inclus dans ACV
- Transports partiellement pris en compte

Résultats ACV

- Consommation d'énergie primaire
 - Utilisation 1 350 MJ (77 %)
 - MP 320 MJ
 - Fab 60 MJ (# 1/5 MP)
 - Transports 20 MJ
 - FV < 0 (récup)

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé	Pondéré	Précisions
Ressources	Cuivre (47,9 mPE) Alu (30,2 mPE) Charbon Eau Ni	Cuivre (1,33 mPR) Alu (0,15 mPR) Ni Zn Charbon	- Charbon = 100 % élect - Métaux = MP
Impacts	Toxicité totale (30 mPE) Déchets (15 mPE) Effet serre (3 mPE)	Toxicité totale (70 mPET) Déchets (8 mPET) Effet serre (3 mPET) Acidification (2 mPET)	- Toxicité = phase util (produits chimiques pour lavage : détergents, etc) - Déchets, effet serre et acidif : majeure proportion élect

- Impacts (pondérés) par phases cycle de vie
 - Util # 5,2 mPET
 - MP # 0,4 mPET
 - Fab # 0,25 mPET
 - FV < 0,1 mPET
 - Transp # 0,02 mPET
- Voies d'amélioration (3 niveaux d'amélioration du produit : concept, structure du produit et composants)
 - Augmenter recyclabilité (ressources notamment Cu, démontabilité)
 - Diminuer conso électrique (efficacité énergétique)
 - Diminuer toxicité (usage, efficacité distribution –mode fonctionnement- et type de substances)
 - Augmenter la durée de vie
 - Diminuer conso eau (ressources)
 - Optimiser les emballages

Vanne électro-hydraulique PVEH	Danfoss (Denmark, 17 000 employés)
---------------------------------------	--

Informations générales

- UF : régulation d'une vanne hydraulique proportionnelle dans un système hydraulique pendant 5 ans.
- Applications industrielles uniquement
- Durée de vie = 5 ans
- Poids total = 1,36 kg (nécessite environ 3 kg MP)
- 86 composants répertoriés, dont circuits imprimés
- Fournisseurs : Europe (grande majorité)
Monde (composants électroniques)
- Clients : Europe principalement
Monde
- Recyclage < 66 %
- Quid emballages ?
- Puissance consommée = 8 W soit sur une durée vie de 5 ans (5 000 h) 40 kWh, fournis par gasoil (# 13 litres gasoil)

Résultats ACV

- Consommation d'énergie primaire

- Utilisation 510 MJ (70 %)
- MP 130 MJ
- Fab 90 MJ
- Transports 10 MJ
- FV < 0 (récup)

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé	Pondéré	Précisions
Ressources	Etain (15 mPE) Alu (4 mPE) Pétrole (4 mPE) Cu (2 mPE)	Ta (15 mPR) Etain (0,5 mPR) Ag (0,3 mPR) Pétrole (0,1 mPR)	- Etain = utilisé dans les process de fab (comp électron) - Ta, Ag, Cu = MP (Ta et Ag = comp électron)
Impacts	Effet serre (1,2 mPE) Acidification # eutroph # O3 photochim (< 1 mPE)	Effet serre (1,5 mPET) Acidification (1,1 mPET) O3 # eutroph (0,7 mPET)	- Effet de serre = 2/3 gazoil et 1/3 élect - Acidif = 80 % gazoil et 20 % élect - O3 et eutroph = gazoil

- Impacts (pondérés) par phases cycle de vie
 - Util # 1,9 mPET
 - Fab # 0,8 mPET
 - MP # 0,2 mPET
 - FV # 0 mPET
 - Transp # 0 mPET
- Voies d'amélioration (3 niveaux d'amélioration du produit : concept, structure du produit et composants)
 - Composant électronique : globalement, le composant électronique est le principal responsable des IE (ressources rares et impacts) ; recherche de solutions alternatives.
 - Augmenter la durée de vie
 - Fin de vie
- Choix de reconception
 - Emballages réutilisables
 - Démontabilité FV pour tri des composants
 - Choix de matériaux

Vérin Hydraulique
H 160 SBU

BOSCH REXROTH

Informations générales

- UF : Utilisation de la cafetière 2 fois par jour pendant 5 ans, soit l'équivalent de 10 tasses de café (2 x 5 tasses). Cafetière avec filtres papier.
- Durée de vie > 5 ans
- Poids total hors emballages = 15,5 kg
- Emballages (1 matériau = bois)
- Nombre de pièces et composants : > 100
- Fournisseurs : Europe
- Clients : Europe
- Recyclage > 95 % (hors emballage)

Résultats ACV

- Consommation d'énergie électrique phase d'utilisation = 8000 kWh
- 43 litres d'huile

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé (mPE)	Pondéré	Précisions
Ressources	Charbon (858) Ni (182) Pétrole (166) Fe (143)	Charbon (4,2 mPR) Pétrole (3,7 mPR) Ni (3,5 mPR)	
Impacts	ETW (567) HT (407) Effet serre (117)	ETW (1304 mPET) HT (1018 mPET) Effet serre (153 mPET)	Toxicité et effet de serre = consommation électricité

- Impacts (pondérés) par phase cycle de vie
 - Util (élec + huile) (2220 + 5) mPE
 - MP 271 mPE
 - Transp 78 mPE
 - FV 38 mPE
 - Fab 38 mPE
- Voies d'amélioration : cf rapport

Clapet non retour 402	DANFOSS SOCLA
--	----------------------

Informations générales

- UF : Assurer les fonctions d'un clapet de non retour.
- Usage industriel
- Durée de vie = au moins 10 ans
- Poids total hors emballages = 11 kg
- Nombre de pièces et composants : 7, hors pièces plastiques de protection emballage
- Fournisseurs : monde
- Clients : monde (plateformes européennes)
- Recyclage > 95 % (hors emballage)

Résultats ACV

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé	Pondéré	Précisions
Ressources	Etain (341 mPE) Cuivre (197 mPE) Fer (109 mPE)	Sn (12,6 mPR) Cu (5,5 mPR) Zn (3,4 mPR)	
Impacts	Déchets extract (33 mPE) ETW (12 mPE) ETSc (5 mPE) Acidif (3 mPE)	Déchets extract (36 mPE) ETW (27 mPE) ETSc (10 mPE) Acidif (4 mPE)	- Déchets extract = déchets de Cu - ETW = électricité - Acidification = Cu

- Impacts (pondérés) par phases cycle de vie
 - MP 51 mPE
 - FV (recycl) 25 mPE
 - T 8 mPE
 - F 2 mPE
- Voies d'amélioration envisagées : portent dans un premier temps sur la phase de fabrication et les MP par le biais de la fin de vie.

Cafetière électrique
Modèle SIMA

PRé Consultants

Informations générales

- UF : *Utilisation de la cafetière 2 fois par jour pendant 5 ans, soit l'équivalent de 10 tasses de café (2 x 5 tasses). Cafetière avec filtres papier.*
- Usage domestique
- Durée de vie = 5 ans
- Poids total hors emballages = 2,035 kg
- Emballages (3 matériaux) = 500 g
- Nombre de pièces et composants : ?
- Fournisseurs : non précisé
- Clients : non précisé
- Recyclage < 36 % (hors emballage)
< 47 % (emb compris)

Résultats ACV

- Consommation d'énergie électrique phase d'utilisation = 375 kWh
- 3650 filtres à papier utilisés

Impacts normalisés et pondérés (world, year 1990)

	Normalisé	Pondéré	Précisions
Ressources	Charbon (255 mPE) Cu (48 mPE) Gaz (26 mPE)	Zn (1,3 mPR) Charbon (0,9 mPR) Pétrole (0,6 mPR)	
Impacts	ETW (111 mPE) HT (69 mPE) Effet serre (21 mPE)	ETW (17 mPET) HT (4 mPET) Effet serre (1 mPET)	Toxicité et effet de serre = consommation électricité

- Impacts (pondérés) par phases cycle de vie
 - Util (élec + filtr) (359 + 128) mPE
 - Fab + MP 14 mPE
 - Emb 1 mPE
 - FV < 0,1 mPE
 - Transp 0 mPE
 -
- Voies d'amélioration : non précisées

Tableau récapitulatif

Critère discriminant		Siège bureau	Canette ²	Réfrigérateur	Pompe	Téléviseur	Nettoyeur HP	Electro-vanne	Vérin Hydraulique	Clapet non retour	Cafetière électrique
Durée de vie	ans	15	-	13	5	> 10	5	5	> 5	> 10	5
Poids	kg	24	14	52	9	43	5	1	16	11	2
Pièces / composants		110	3	130	45	70	100	90	> 100	7	?
Tx recyclage	% max	68	100	70	55	10	73	66	> 95	> 95	36
Heures utilisation effectives	8 h/j	-	-	113 900	4 870 (fct)	21 900 (fct) 65 700 (veille)	125	5 000	16 h / j ???	-	> 1 825
Conso énergie / utilisation	kWh élect	-	-	870	1355 (1 150 + 205)	1970 (1774 + 197)	?	40	8000 ??	-	375
Conso énergie primaire	MJ / Phase	?	550 / MP + F + FV 450 / T	9 000 / U 3 400 / MP 600 / F < 200 / T	22 200 / U 600 / MP 400 / F 40 / T	16 600 / U 3 800 / MP 900 / F 200 / T	1 350 / U 320 / MP 60 / F 20 / T	510 / U 130 / MP 90 / F 10 / T	?	?	?
IE (normalisé)	mPE	• Toxicité • Effet serre	• Toxicité • Déchets • Effet serre	• Couche O3 • Effet serre • Acidification	• Déchets (élect) • Effet serre • Acidification	• Déchets (élect) • Effet serre • acidification	• Toxicité Déchets (élect) • Effet serre • Acidification	• Effet de serre • Acidification • O3 photoch	• Toxicité • Effet de serre	• Déchets MP (Cu) • Ecotoxicité (eau-sol) • Acidification	• Toxicité • Effet de serre
Ressources (normalisé)	mPE	• Zinc • Fer • Gaz	• Aluminium • Charbon • Gaz • Pétrole	• Charbon • Aluminium • Fer	• Charbon • Gaz • Nickel • Cuivre	• Charbon • Cuivre • Gaz	• Cuivre • Aluminium • Charbon • Eau	• Etain • aluminium • Pétrole • Cuivre	• Charbon • Pétrole • Nickel	• Etain • Cuivre • Fer	• Charbon • Cuivre • Gaz
Total conso ressources	mPR	2,9	12,6 (0,004 / canette)	0,9	2,7	3,3	1,9	16,1	17,9	24,9	2,8
Phases CV (pondéré)	mPET	MP – 76 F – 13 T – 3	F et T	FV – 16300 U – 8700 F – 1200 MP – 10 T – 0	U – 55 MP – 5 FV – 5 F – 2 T – 0	U – 30 MP – 4 FV – 3 F – 3 T – 0	U – 5 MP – 0,4 F – 0,3 FV – 0,1 T – 0	U – 2 F – 1 MP – 0,2 FV – 0 F – 0	U – 2225 MP – 271 T – 78 FV – 38 F – 38	MP – 51 FV-R – 25 T – 8 F – 2	U – 487 MP+F – 15 FV – 0,1 T – 0
Voies d'amélioration préconisées par les auteurs	(à titre indicatif)	• MP (Zn, PU, aggro, acier, ...)	• Réduction poids • T (mode distrib) • MP (revêt int) • FV collecte	• Fluide frigo • Eff. Energie • Désassemblage et dépollution • Cu et PVC	• MP (Ni et Cu) • Conso En • Durée vie	• MP (ress / FV) • Conso En • Durée vie • Substances Fab	• Recyclabilité • Conso élect • Substances U • Durée vie • Ressources • Emballages	• Emballages réutilisables • Démontabilité comp FV • MP	cf. rapport SLP	F et MP	Non précisé

² Pour 1000 litres soit 3030 canettes

ANNEXE 6

Synthèse des résultats d'analyse environnementale obtenus

avec ATEP pour les 10 produits tests

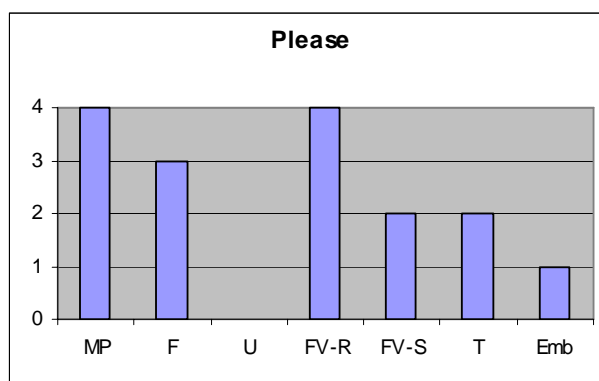
(Référence : tableau 23, chap. 3, page 166)

Siège de bureau
PLEASE

Steelcase

ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	4	
F	3	
U	0	
FV-R	4	
FV-S	2	
T	2	
Emb	1	



NON SOUMIS A REGLEMENTATION

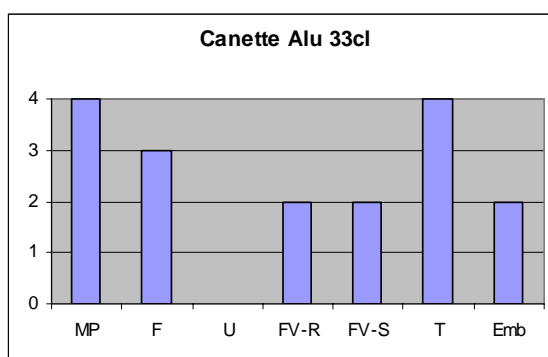
(cf. champ d'application DEEE – art. 2 et annexe IA)

Canette boisson
Aluminium, 33 cl

????
 (Denmark)

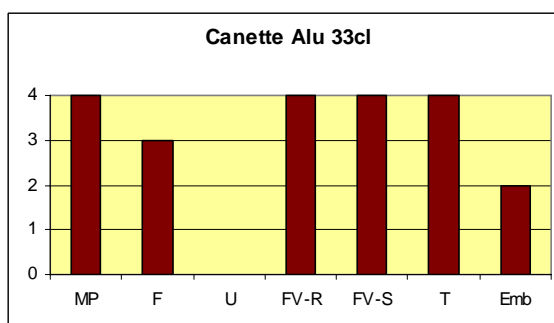
ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	4	
F	3	
U	0	
FV-R	2	
FV-S	2	Substance « autre », réponse par défaut
T	4	
Emb	1	



ANALYSE GLOBALE (AVEC REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	4	Soumis à directive emballages.
F	3	
U	0	
FV-R	4	
FV-S	4	
T	4	
Emb	2	

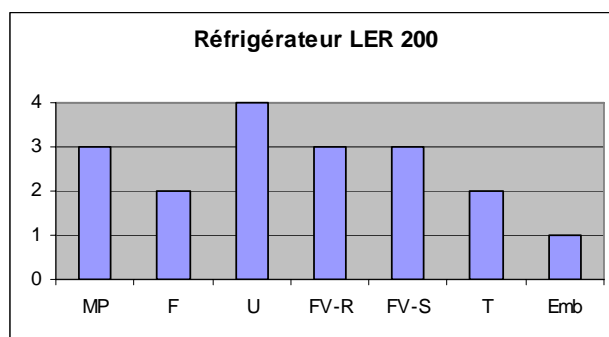


Réfrigérateur
LER200

GRAM
(Denmark, 2 000 employés)

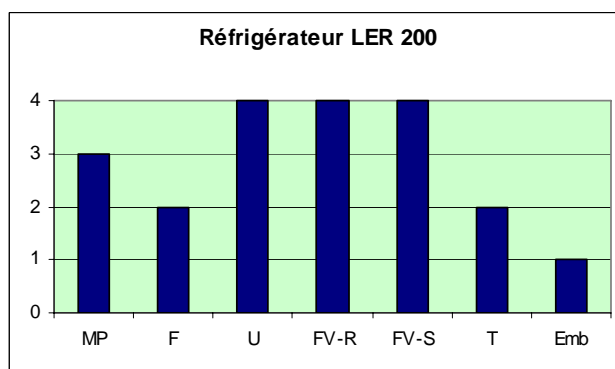
ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	3	
F	2	
U	4	
FV-R	3	
FV-S	3	
T	2	
Emb	1	



ANALYSE GLOBALE (AVEC REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	3	Soumis à DEEE et à LuSD.
F	2	
U	4	
FV-R	4	
FV-S	4	
T	2	
Emb	1	

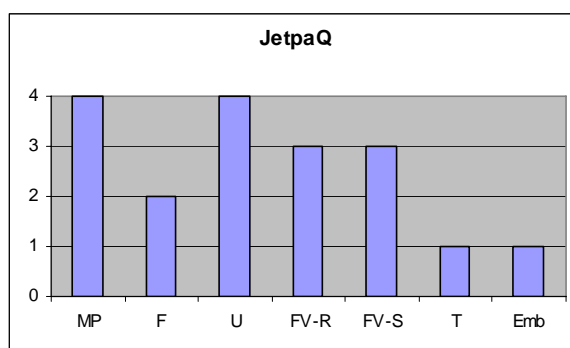


Pompe
JetpaQ

Grundfos
(Denmark, 9 000 employés)

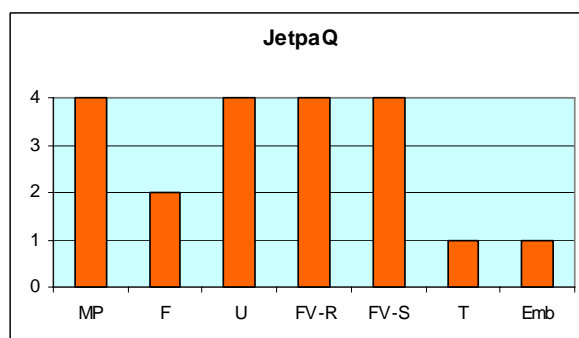
ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	4	
F	2	
U	4	
FV-R	3	
FV-S	3	
T	1	
Emb	1	



ANALYSE GLOBALE (AVEC REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	4	Soumis aux directives DEEE et LuSD. <i>(art 6 annexe B : Équipements pour la pulvérisation, l'étendage, la dispersion ou d'autres traitements de substances liquides ou gazeuses par d'autres moyens)</i>
F	2	
U	4	
FV-R	4	
FV-S	4	
T	1	
Emb	1	

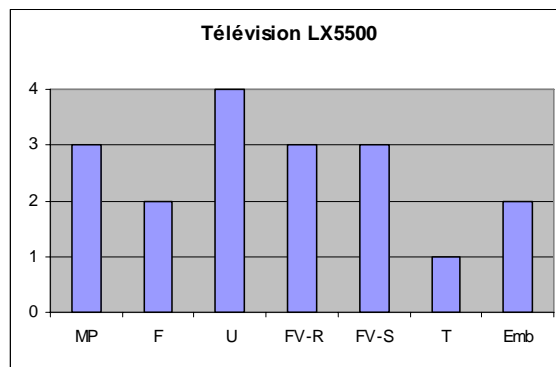


Téléviseur
Beovision LX 5500

BANG & OLUFSEN
(Denmark, 2 500 employés)

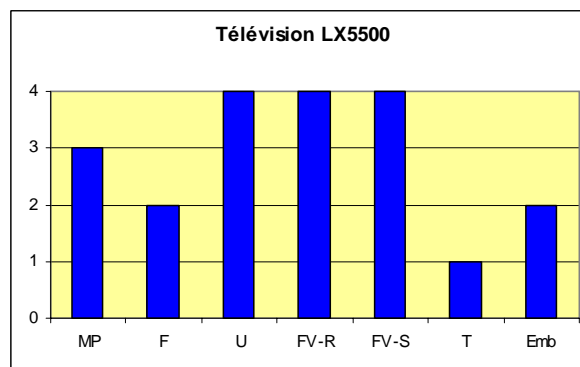
ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	3	
F	2	
U	4	
FV-R	3	
FV-S	3	
T	1	
Emb	2	



ANALYSE GLOBALE (AVEC REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	3	Soumis à DEEE et à LuSD.
F	2	
U	4	
FV-R	4	
FV-S	4	
T	1	
Emb	2	

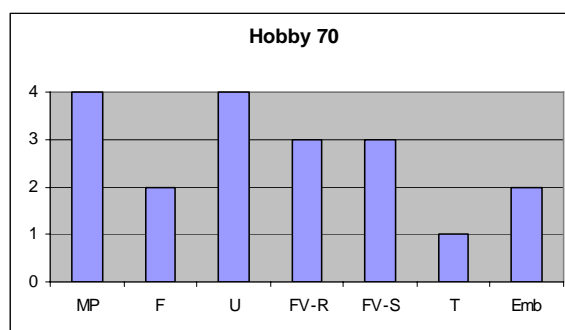


Nettoyeur HP
Hobby 70

KEW Industri
(Denmark, 675 employés, 7 filiales)

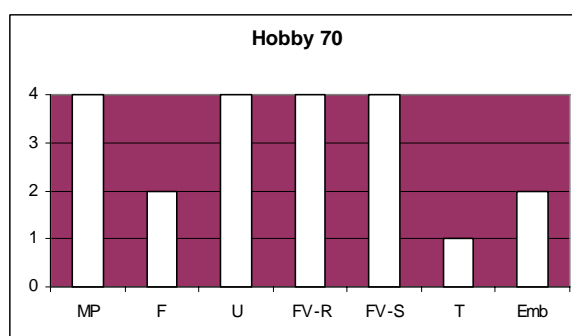
ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	4	
F	2	
U	4	
FV-R	3	
FV-S	3	
T	1	
Emb	2	



ANALYSE GLOBALE (AVEC REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	4	Soumis à DEEE et à LuSD.
F	2	
U	4	
FV-R	4	
FV-S	4	
T	1	
Emb	2	

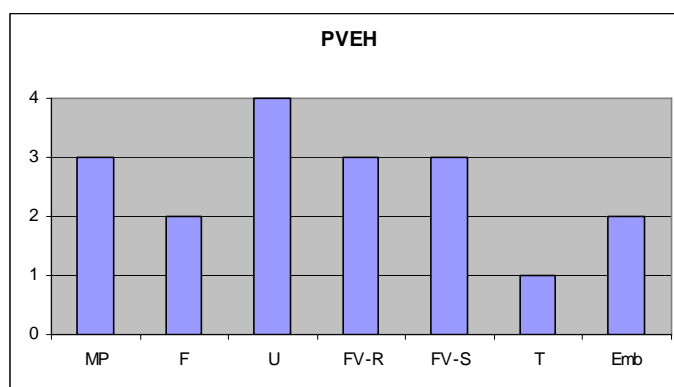


Vanne électro-hydraulique
PVEH

Danfoss
(Denmark, 17 000 employés)

ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	3	
F	2	
U	4	
FV-R	3	
FV-S	3	
T	1	
Emb	2	> 1 emballage, < 100 % recyclable



NON SOUMIS A REGLEMENTATION

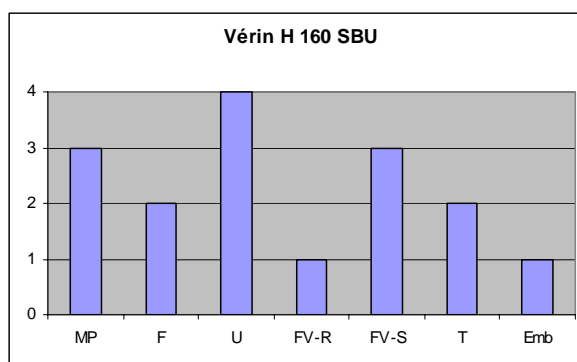
(cf. champ d'application DEEE – art. 2 et annexe IA)

Vérin Hydraulique
H 160 SBU

BOSCH REXROTH

ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	3	
F	2	
U	4	
FV-R	1	
FV-S	3	
T	2	
Emb	1	>1 emballage, < 100% recycl



NON SOUMIS A REGLEMENTATION

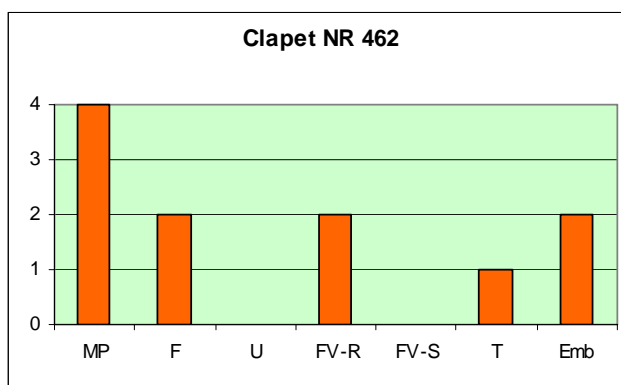
(cf. champ d'application DEEE – art. 2 et annexes IA et IB)

Clapet non retour
402

DANFOSS SOCLA

ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	4	
F	2	
U	0	
FV-R	2	
FV-S	0	
T	1	
Emb	2	



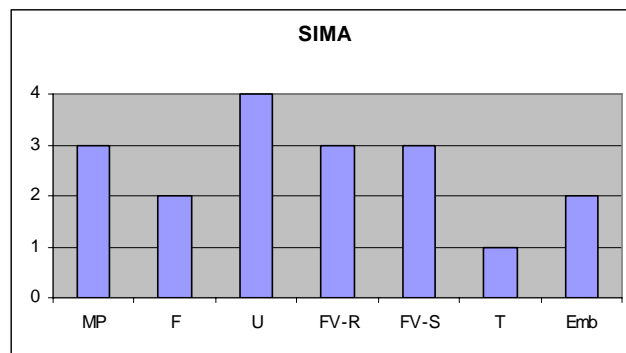
NON SOUMIS A REGLEMENTATION

Cafetière électrique
Modèle *SIMA*

PRé Consultants

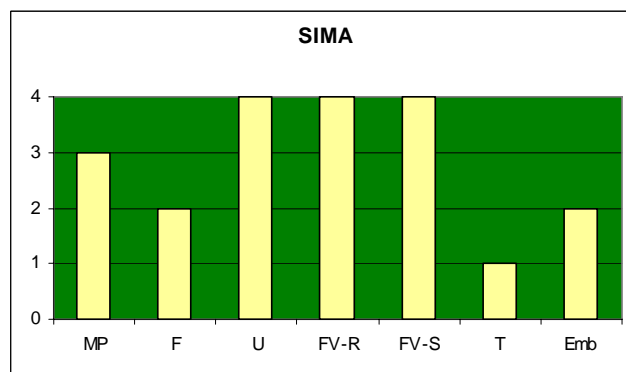
ANALYSE ENVIRONNEMENTALE STRICTE (SANS REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	3	
F	2	
U	4	
FV-R	3	
FV-S	3	Contient des RF
T	1	
Emb	2	



ANALYSE GLOBALE (AVEC REGLEMENTATION)

Aspect environnemental	Note	Hypothèses
MP	3	Soumis à DEEE et à LuSD.
F	2	
U	4	
FV-R	4	
FV-S	4	
T	1	
Emb	2	



ANNEXE 7

Comparaison des résultats EDIP / ATEP

pour les 10 produits tests

Tableaux comparatifs des résultats obtenus avec la méthode ACV EDIP prise comme méthode de référence et l'outil ATEP

1. Siège de bureau

Siège PLEASE, société STEELCASE

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	MP	1	MP, FVR				
2	F	3	F				
3	T	4	FVS, T				
4	FV	6	Emb				

2. Canette Aluminium

Canette Alu., 33 cl

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	MP	1	MP, T	1	FV, MP	1	FVR, FVS, MP, T
2	F, T	3	F	3	F, T	5	F
		4	FVR, FVS, Emb			6	Emb

3. Réfrigérateur

Réfrigérateur LER200, société GRAM

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	FV	1	U	1	FV	1	U, FVR, FVS
2	U	2	MP, FVR, FVS	2	U	4	MP
3	F	5	F, T	3	F	5	F, T
4	MP	7	Emb	4	MP	7	Emb
5	T			5	T		

4. Pompe de relevage*Pompe JetpaQ, société GRUNDFOS*

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	U	1	MP, U	1	U, FV	1	MP, U, FVR, FVS
2	MP	3	FVR, FVS	3	MP	5	F
3	FV	5	F	4	FV	6	T, Emb
4	F	6	T, Emb				

5. Téléviseur*Téléviseur LX5500, société BANG & OLUFSEN*

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	U	1	U	1	U, FV	1	U, FVR, FVS
2	MP	2	MP, FVR, FVS	3	MP	4	MP
3	FV	5	F, Emb	4	F	5	F, Emb
4	F	7	T	5	T	6	T
5	T						

6. Nettoyeur haute pression*Nettoyeur HP Hobby 70, société KEW Industri*

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	U	1	MP, U	1	U, FV	1	MP, U, FVR, FVS
2	MP	3	FVR, FVS	3	MP	5	F, Emb
3	F	5	F, Emb	4	F	7	T
4	FV	7	T	5	T		
5	T						

7. Vanne électro-hydraulique*Electrovanne PVEH, société DANFOSS*

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	U	1	U				
2	F	2	MP, FVR, FVS				
3	MP	5	F, Emb				
4	FV	7	T				
5	T						

8. Cafetière électrique*Cafetière SIMA, exemple Pré Consultants*

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	U	1	U	1	U, FV	1	U, FVR, FVS
2	MP	2	MP, FVR, FVS	3	MP	4	MP
3	F	5	F, Emb	4	F	5	F, Emb
4	FV	7	T			7	T

9. Vérin Hydraulique*Vérin H160SBU, société BOSCH REXROTH*

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	U	1	U				
2	MP	2	MP, FVS				
3	T	4	F, T				
4	FV	6	FVR, Emb				
5	F						

10. Clapet de non retour*Clapet NR 402, société DANFOSS SOCLA*

SANS REGLEMENTATION				AVEC REGLEMENTATION			
ACV EDIP		ATEP		ACV EDIP		ATEP	
Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase	Rang	Phase
1	MP	1	MP				
2	FV-R	2	F, FV-R, Emb				
3	T	5	T				
4	F						

ANNEXE 8

Stratégie globale de développement durable de DANFOSS

SOCLA (extrait) – annexe 8A

Volet éco-conception du dossier d'étude DANFOSS SOCLA

(extrait) – annexe 8B

Base de données environnementale matériaux (extrait) –

annexe 8C

Cahier des charges de la procédure de gestion des données
environnementales – annexe 8D


Annexe 8A – Extrait de la stratégie globale de développement durable de DANFOSS SOCLA



Politique de développement durable Danfoss Socla - sites de Virey et Méry Pour l'ensemble de la gamme Danfoss Socla

ANP = Aspect Non liés à nos Produits ou Non Pris en compte
ADI = Aspect Déjà Intégré partiellement
NAS = Nouvel Aspect Stratégique
ADI = Aspect Déjà Intégré totalement
AOR = Aspect sous Obligation Réglementaire

Aide à la décision						RC = Réduction des Coûts (matière première, production, logistique, ...)		NM = Accès à de Nouveaux Marchés, marchés émergents		AMV = Argumentaire Marketing Vendable		AM = Argumentaire Marketing		stratégie globale de développement durab				Indicateurs		Objectifs	
		1=faible 3=moyen 5=fort	1=faible 3=moyen 5=fort	O=Oui N=Non																	
Aspects Environnementaux	Importance Environnementale	Faisabilité technico-économique	Contraintes réglementaire	Elément stratégique	Document(s) d'aide à la décision ou Hypothèses et raisonnement		Synthèse		Classification pour 2005 (pilots)		2004	2005	2006	2007							
Matériaux :																					
Utiliser des matériaux recyclés	5	3	N	RC	Aucune base de données n'existe actuellement.		Nous pouvons dénombrer dans un ensemble les pièces en matériaux recyclés. Notre typologie de produit nous laisse penser que ce pourcentage devrait être acceptable sans pour autant vouloir l'améliorer.		BET/Commercial												
Utiliser des matériaux recyclables	5	3	N	AM	Une base de données "BDD Matériaux" est fournie par l'ENSAM de Chambéry		Courant 2005 nous enrichissons notre base de données matériaux recyclables. Notre objectif est de trouver un organisme qui puisse compléter et mettre à jour cette base de donnée. Nous pouvons dénombrer dans un ensemble les pièces en matériaux recyclables. Notre typologie de produit nous laisse penser que ce pourcentage devrait être acceptable sans pour autant vouloir l'améliorer.		BET/Commercial												
Utiliser des matériaux renouvelables	5	1	N	AM	Nous ne pouvons pas faire évoluer les matériaux utilisés pour nos produits vers des matériaux renouvelables		Cet aspect n'est pas pris en compte		ANP												
Limiter l'emploi de matériaux rares	5	3	N	AM	Document "Réserves matières"		Cet aspect est partiellement pris en compte lors des conceptions. Ce n'est pas un aspect que nous prenons comme prioritaire mais la documentation support existe et peut être utilisée.		BET/Commercial												
Choisir des matériaux à contenu énergétique moindre	5	1	N	AM	Document "Eco indicateur"		Cet aspect est partiellement pris en compte lors des conceptions. Ce n'est pas un aspect que nous prenons comme prioritaire mais la documentation support existe et peut être utilisée.		BET/Commercial												
Concevoir un produit réutilisable (remise à neuf)	5	3	N	AMV	Aujourd'hui seuls les disconnecteurs sont retournés à l'usine pour être remis à neuf (contrat CRAN)		Aspect à étudier de prêt en fonction des produits, de leur coût, de la valeur de leurs composants et des marchés		BET/Commercial												
Fabrication :																					
ISO14001 (interne)	5	5	N	AM	Norme ISO 14001		Tous les sites Danfoss Socla sont certifiés ISO14001		Qualité												
Choisir les sous-traitants ayant les meilleures pratiques de production (composante du Global Compact)	3	5	N	AM	Global Compact		Il est difficile de contrôler l'application du Global Compact chez les fournisseurs. Par contre, nous pouvons en donner l'information, et vérifier succinctement son application durant les visites		Achats/Qualité							Mesurer le % de sous-traitants N-1 ayant reçu l'information sur le Global Compact	40% à fin 2005 80% à fin 2006 100% à fin 2007				
Inclure les sous-traitants à engager un SME (par exemple certification ISO14001)	5	5	N	AM	Classement des fournisseurs en 3 catégories: 1- indifférents à l'environnement. 2- sensibilisés et ayant mis en place des actions environnementales (tri des déchets, ...) 3- certifiés ISO14001.		Nous évaluons nos fournisseurs par rapport à ces 3 catégories. Notre objectif est de les faire évoluer afin de répondre, s'il en est, à une demande future de notre direction groupe.		Achats/Qualité							Faire un état des lieux des fournisseurs (cat. 1, 2, 3)	40% à fin 2005 80% à fin 2006 100% à fin 2007				
Diminuer le nombre d'opérations de production	5	3	N	RC			Aspect déjà pris en compte pour la réduction des coûts (ex: pap. Lycéne monobloc, usinage composants VP)		Méthodes/BET												
Utilisation																					
Augmenter la durée de vie du produit	5	3	N	AMV	Nous savons que la durée de vie est importante d'un point de vue environnemental. La durée de vie de nos produits est très variable en raison de la diversité des cas possibles d'utilisation. Aujourd'hui nous répondons aux exigences du marché et donnons des garanties de durée de vie.		Ce point est étroitement lié à l'aspect "Concevoir un produit réutilisable (remise à neuf)". Il sera automatiquement pris en compte lorsque nous traiterons des produits réutilisables.		Commercial/BET												
Ajuster la durée de vie du produit à celle du système "supérieur"	1	3	N	AMV	On peut estimer que généralement la durée de vie du système (tuyauterie) est supérieure à la durée de vie du produit.		Cet aspect est lié et sera traité avec l'aspect précédent.		Commercial/BET												
Réduire l'interaction énergétique (consommation, pertes de charges, ...)	5	3	N (à venir)	AMV	Logiciel de simulation écoulement fluide Plateforme d'essai hydraulique Caractérisation des couples		Pris en compte de la réduction des pertes de charges et des couples lors des re-conception et des nouvelles conceptions		Commercial/BET												
Transport :																					
Diminuer le nombre de kilomètres parcourus	3	1	N	RC	Notre politique d'achat ne nous permettent pas de jouer sur ces critères. D'autre part nous ne sélectionnons pas nos clients en fonction de leur éloignement par rapport aux centres logistiques.		Cet aspect n'est pas pris en compte		ANP												
Optimiser le taux de chargement effectif (Forme emballages, logistique A/R, ...)	3	1	N	AMV / RC			Nous sommes désormais organisé avec 4 centres logistiques dans le monde. Ces regroupements vont déjà dans le sens d'une optimisation du taux de chargement des expéditions.		Logistique/Méthodes												
Diminuer le poids produit + emballage	3	3	N	RC			Cet aspect est partiellement pris en compte lors des conceptions dans un objectif de réduction des coûts. Ce n'est pas un aspect que nous prenons comme prioritaire pour l'instant.		BET/Méthodes												
Emballages :																					
Emballages réutilisables	5	3	N	RC(f) / AMV(c)			Cet aspect est déjà partiellement pris en compte. Nous réutilisons certains emballages de nos fournisseurs comme certains de nos clients le font. Ce sont des actions d'opportunité motivées par la réduction des coûts et des déchets.		Méthodes/Commercial												
Emballages en matériaux recyclables	5	3	N	RC / AMV	Base de données "Matériaux recyclables"		Cet aspect est déjà partiellement pris en compte. Courant 2005 nous enrichissons notre base de données emballages recyclables.		Méthodes/Commercial												
Limiter le nombre d'emballages	3	3	N	AMV			Cet aspect est partiellement pris en compte lors des conceptions dans un objectif de réduction des coûts. Ce n'est pas un aspect que nous prenons comme prioritaire pour l'instant.		Méthodes/Commercial												
Réduire le nombre de matériaux d'emballage différents	1	3	N	RC			Cet aspect est partiellement pris en compte lors des conceptions dans un objectif de réduction des coûts. Ce n'est pas un aspect que nous prenons comme prioritaire pour l'instant.		Méthodes/Commercial												
Limiter l'utilisation des matériaux problématiques en fin de vie	5	3	O	AMV	Veille sur la réglementation Française et Européenne. Liste négative Danfoss		Nos emballages sont conformes à la réglementation sur cet aspect. Le suivi de la réglementation maintiendra à nos emballages conformes.		Méthodes/Commercial								Réglementation				
Fin de vie																					
Diminuer le nombre de matériaux différents	1	1	N	AMV			Nos produits finis comportent déjà un nombre faible de matériaux. Néanmoins les aspects "Diminuer le nombre de liaisons" et "Compatibilité chimique des plastiques" peuvent aider à diminuer ce nombre.		BET/Commercial												
Diminuer le nombre de liaisons	3	1	N	RC / AMV	Réduction des coûts par diminution du nombre de pièces		Aspect déjà pris en compte pour la réduction des coûts (ex : 462, Pulsair, axe/papillon Lycene, ...)		BET/Commercial												
Interdire l'utilisation des substances dangereuses	5	3	O	AMV	Veille sur la réglementation Française et Européenne. Liste négative Danfoss		Nos produits sont conformes à la réglementation sur cet aspect. Le suivi de la réglementation maintiendra nos produits conformes.		BET/Commercial								Réglementation				

	ENVIRONMENT GUIDELINES Voies d'amélioration environnementales	PROJECT TITLE Titre de l'étude	PROJECT MANAGER Chef de projet	Date
		Page 1/1		

La politique Danfoss Socla concernant le Développement Durable est décrite dans le document "Politique de développement durable".
 Les voies d'amélioration environnementales y sont classées en 5 catégories

- ANP = Aspect Non liés à nos Produits ou Non Pris en compte
- ADI = Aspect Déjà Intégré totalement
- ADI = Aspect Déjà Intégré partiellement
- AOR = Aspect sous Obligation Réglementaire
- NAS = Nouvel Aspect Stratégique

Au cours d'une études tous les Aspects Environnementaux suivants doivent être pris en compte. Les éléments de réponse (mesure, commentaires) doivent être explicités pour chaque aspects environnementaux.

Aspects Environnementaux	Classification (pilots)	Eléments de réponse: mesure, commentaires	
Matériaux	Utiliser des matériaux recyclés	BET/Commercial Evaluer le taux de matériaux recyclés / autres matériaux constituant l'assemblage (en nombre); Commentaire:	
	Utiliser des matériaux recyclables	BET/Commercial Evaluer le taux de matériaux recyclables / autres matériaux constituant l'assemblage (en nombre); Commentaire:	
	Choisir des matériaux à contenu énergétique moindre	BET/Commercial	
	Concevoir un produit réutilisable (remise à neuf)	BET/Commercial Tous ensembles démontable peut être intégré dans un système de réutilisation des composants. Ensemble démontable: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Commentaire:	
Fabrication	ISO 14001 (interne)	Qualité Tous les sites Danfoss Socla sont certifiés ISO14001 pour la fabrication. Appliquer les procédures du SME de l'entreprise.	
	Choisir les sous-traitants ayant les meilleures pratiques de production (composante du Global Compact)	Qualité/Achats Indicateur suivi par le service Achat (pas de réponse spécifique demandée aux agents BET).	
	Diminuer le nombre d'opérations de production	Méthodes/BET	
	Éviter les procédés de traitement (TTH, TS, revêtement)	Méthodes/BET Traitement prévu sur le produit: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Si oui, pourquoi:	
Cycle de vie	Utilisation	Augmenter la durée de vie du produit	Commercial/BET Se reporter au cahier des charges commercial si demande spécifique.
		Ajuster la durée de vie à la période d'évolution technologique	Commercial/BET Se reporter au cahier des charges commercial si demande spécifique.
		Réduire l'interaction énergétique (consommation, pertes de charges, ...)	Commercial/BET Se reporter au cahier des charges commercial si demande spécifique ou à la normalisation. Utilisation de Floworks: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Utilisation de moyens de mesure et de test: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
Transport	Optimiser le taux de chargement effectif (Forme emballages, logistique A/R, ...)	Logistique/Méthodes Aspect géré par les services Méthodes et logistique (pas de réponse spécifique demandée aux agents BET).	
	Diminuer le poids produit + emballage	BET/Méthodes Se reporter au cahier des charges commercial si demande spécifique.	
	Diminuer le volume produit + emballage	BET/Méthodes Se reporter au cahier des charges commercial si demande spécifique.	
Emballages	Emballages réutilisables	Méthodes/Commercial Aspect géré par le service Méthodes. Le concepteur apporte une solution relative à cet aspect: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Si oui, laquelle:	
	Emballages en matériaux recyclables	Méthodes/Commercial Aspect géré par le service Méthodes. Le concepteur apporte une solution relative à cet aspect: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Si oui, laquelle:	
	Limiter le nombre d'emballages	Méthodes/Commercial Aspect géré par le service Méthodes. Le concepteur apporte une solution relative à cet aspect: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Si oui, laquelle:	
	Limiter l'utilisation des matériaux problématiques en fin de vie	Méthodes/Commercial Aspect géré par le service Méthodes. Le concepteur apporte une solution relative à cet aspect: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Si oui, laquelle:	
Fin de vie	Diminuer le nombre de matériaux différents	BET/Commercial Faire comparatif avec le produit à remplacer de notre gamme ou le(s) produit(s) concurrent(s). Ce produit comporte moins de matériaux différents: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	
	Diminuer le nombre de liaisons	BET/Commercial Faire comparatif avec le produit à remplacer de notre gamme ou le(s) produit(s) concurrent(s). Ce produit à moins de liaisons: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	
	Interdire l'utilisation des substances dangereuses	BET/Commercial Obligatoire: respect de la liste négative Danfoss. <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	

PICTOGRAMMES

DOCUMENTS



Base de données matériaux d'après la liste des matériaux
du BET DANFOSS SOCLA (extrait)

Métaux					Note environnementale	
					EI 99 *	Commentaires
Inox						
GX2CrNi19-11 (304L)	Acier inoxydable	1.4309	8 kg/dm ³	EN 10283		
X10CrNi18-8 (302)	Acier inoxydable	1.431	8 kg/dm ³	EN 10088-1		
X5CrNi18-10 (304)	Acier inoxydable	1.4301	8 kg/dm ³	EN 10088-1	0,401	X5CrNi18
X2CrNi19-11 (304L)	Acier inoxydable	1.4306	8 kg/dm ³	EN 10088-1		
X2CrNi18-9 (304L)	Acier inoxydable	1.4307	8 kg/dm ³	EN 10088-1		
X5CrNiMo17-12-2 (316)	Acier inoxydable	1.4401	8 kg/dm ³	EN 10088-1	0,478	X5CrNiMo18 (316)
X2CrNiMo17-12-3 (316L)	Acier inoxydable	1.4432	8 kg/dm ³	EN 10088-1	0,467	X2CrNiMo1712 (316L)
X30Cr13 (420)	Acier inoxydable	1.4028	8 kg/dm ³	EN 10088-2	0,0871	
X5CrNiCuNb16-4 (630)	Acier inoxydable	1.4542	8 kg/dm ³	EN 10088-1		
Aluminium						
EN AW-AI99.5	Aluminium (plaque)	EN AW-1050A	2.7 kg/dm ³	EN 573-3	0,564	Aluminium 99% purity. Recycling percentage 15%.
EN AC-AI Si10Mg(b)	Aluminium moulé	EN AC-43100	2.7 kg/dm ³	EN 1706		
EN AW-AICu4MgSi(A)	Aluminium décollété	EN AW-2017A	2.7 kg/dm ³	EN 573-3	0,64	Alloy Si 0.2%, Fe 0.2%, Mn 0.05%, Zn 0.1%, Mg 0.2%, Cu 4.5%. AISI 204
Cuivre						
Cuivre	Cuivre		8.96 kg/dm ³		2,36	scrap 20% according to the world average.
CUB H12	Cuivre		8.96 kg/dm ³			
.....			
Plastiques						
					Note environnementale	
					EI 99 *	Commentaires
ABS GRIS RAL 7035	Plastique/composite		1.10 kg/dm ³		0,303	
Arnite TV4 261 naturel	Plastique/composite	PBTP	1.52 kg/dm ³			
Delrin 577 BK00	Plastique/composite	POM	1.56 kg/dm ³			
HDPE KT 10000 Naturel	Plastique/composite	HDPE	0.95 kg/dm ³		0,250	
Hostacom G3 N01 Noir 102297	Plastique/composite		0.98 kg/dm ³			
Hostaform C13031 Naturel	Plastique/composite	POM	1.44 kg/dm ³			
Hostalen GD 7255 naturel	Plastique/composite	HDPE	0.954 kg/dm ³		0,250	
Hytrel G3548L	Plastique/composite		1.15 kg/dm ³			
Inspire C715-12N HP	Plastique/composite	PP	0.9 kg/dm ³		0,282	non chargé
IXEF 50 FV	Plastique/composite	IXEF 50 FV (Polyaryl)	0.99 kg/dm ³	Non défini		
Noryl 731S noir 701	Plastique/composite	PPE	1.06 kg/dm ³		0,299	
NORYL GFN2V 73701 NOIR	Plastique/composite	PPE 20%FV	1.25 kg/dm ³			
PA6 Nylon	Plastique/composite		1.16 kg/dm ³		0,657	
PA6 50%FV	Plastique/composite		1.45 kg/dm ³		0,47	PA6 GF30
PUR 70 shore A	Plastique/composite		1.10 kg/dm ³		0,464	mousse rigide
PVC Rigide RAL 7011	Plastique/composite		1.45 kg/dm ³	Non défini	0,176	
.....			

Informations environnementales d'après une base de données matériaux générique

Métaux	énergie d'obtention *	intervalle selon sources	EI 99	Fraction recyclable*	sources	commentaires
	MJ/kg	MJ/kg	mpt/kg			
Fonte	25	16 - 66			1	
Fonte			240		4	fonte avec >2% carbone
Fonte grise (flake graphite, BS grade 250)	16 - 18			0,85 - 0,95	2	
Acier	45	30 - 72			1	
Acier			86		4	80% acier primaire, 20% recyclé
Acier (89 % primaire)	40	34 - 52			1	
Acier stell plate (90 % recyclé)	18	16 - 18			1	
Inox	70	46 - 115			1	
Inox 316L	73 - 81			0,65 - 0, 75	2	
Acier fortement allié			910		4	lingot 71% acier primaire, 16% Cr, 13% Ni
Aluminium (100 % primaire)	199	148 - 260	780	0,8 - 0,9	1, 4	
Aluminium (50 % recyclé)	96	96		0,8 - 0,9	1	

Polymères	énergie d'obtention *	feedstock *	contenu énergétique total *	Fraction recyclable *	EI 99	Sources	commentaires
	(résine) MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg		mpt/kg		
PEHD	33	48	82		330	1	
PEHD (uhmw)	96 - 106			0,45 - 0,55		2	
PS	30	72	102		370	1	utilisation générale
PVC (high impact)					280	4	sans métal stabilisateur (Pb ou Ba) et sans plastifiant)
PA (nylon)	127	29	156			1	
ABS	49	46	95		400	1	
NBR	96 - 106			0,02 - 0,04		2	

La gestion des informations environnementales de la base de données matériaux

QUESTIONS ASSOCIEES A LA GESTION DE LA BASE DE DONNEE MATERIAUX

- Quelles sont les informations / données nécessaires (fonction des voies d'amélioration retenues) ?
- Où peut-t-on trouver ces données (sources) ?
- Qui est chargé / responsable de la gestion de cette base de données ?
- Quelle doit être la fréquence de mise à jour de cette base de données ?

EXEMPLE DE FORMAT DE LA BASE

Matériaux		Contenu énergétique ³	Contenu recyclé ⁴	Taux de recyclabilité ⁵	PCI ⁶	Eco-indicateur ⁷
Métaux	Métaux Ferreux					
	Métaux non Ferreux					
Plastiques	Thermoplas.					
	Thermodur.					
Emballages	Carton					
	Film PEBD					
	PU					
.....						

ACTIONS POUR LA GESTION DE CETTE BASE DE DONNEES

1) Constituer la base de données

- Délai (*1 an ?*)
- Qui (*en interne ou prestataire ?*)
- Comment (*sources ?*)
 - En interne (*par exemple : contenu recyclé – info auprès des fournisseurs, ou PCI – données génériques*)
 - En externe (*exemple : contenu énergétique, taux de recyclabilité, éco-indicateurs*)

2) Mise à jour de la base de données : nouveaux matériaux, nouvelles données, ...

- Fréquence (*1 fois par an ?*)
- Qui (*en interne ou prestataire ?*)

³ Contenu énergétique = énergie nécessaire pour l'extraction et la fabrication/mise en forme du matériau de base (MJ/kg).

⁴ Contenu en matière recyclée incorporé à la matière vierge (ou primaire) lors de la fabrication du matériau (% en masse).

⁵ % du matériau qui peut être effectivement recyclé compte tenu du scénario de fin de vie du produit (récupération ferraille et broyage) et des filières et technologies existantes (données moyennes France, Europe, Monde - % en masse).

⁶ Pouvoir Calorifique Inférieur (MJ/kg). Donnée nécessaire pour calculer un taux de valorisation (valorisation énergétique).

⁷ Un éco-indicateur est un indicateur environnemental « adimensionnel » exprimé en points (Pt). C'est un indicateur agrégé de l'ensemble des impacts environnementaux. Son avantage est sa facilité de manipulation car il s'agit d'une note unique. Il existe plusieurs éco-indicateurs qui diffèrent selon les types d'auteurs et de méthodes employés.

ANNEXE 9

Démarche d'accompagnement type par le CETIM auprès des
PME mécaniciennes

CLASSE CONFIDENTIEL PAR LE CETIM