

Méthodologie d'éco-conception orientée utilisation

Lucie Domingo

▶ **To cite this version:**

Lucie Domingo. Méthodologie d'éco-conception orientée utilisation. Autre. Université de Grenoble, 2013. Français. NNT : 2013GRENI066 . tel-00957579

HAL Id: tel-00957579

https://theses.hal.science/tel-00957579

Submitted on 10 Mar 2014

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

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

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Spécialité : **Génie Industriel**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Lucie DOMINGO

Thèse dirigée par **Daniel BRISSAUD** et
codirigée par **Fabrice MATHIEUX**

préparée au sein du **Laboratoire G-SCOP**
dans **l'École Doctorale I-MEP2**

Méthodologie d'éco-conception orientée utilisation

Thèse soutenue publiquement le **20 novembre 2013**,
devant le jury composé de :

Madame Nadège TROUSSIER
Professeure à l'Université de Technologie de Troyes, Rapporteur et Président

Monsieur Samuel GOMES
Professeur à l'Université de Technologie de Belfort Montbéliard, Rapporteur

Monsieur Améziane AOUSSAT
Professeur aux Arts et Métiers Paritech, Examinateur

Monsieur Daniel BRISSAUD
Professeur à l'Université de Grenoble, Directeur de thèse

Monsieur Fabrice MATHIEUX
Chercheur au Joint Research Center de la Commission Européenne - Ispra, Co-Encadrant de thèse

Quelle que soit la liberté relative conquise par notre intelligence et notre volonté propres, nous n'en restons pas moins des produits de la planète.
Elisée Reclus
« Du sentiment de la nature dans les sociétés modernes »

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Nadège Troussier pour avoir, dans un premier temps, accepté de rapporter mes travaux de thèse, puis pour avoir présidé mon jury au pied levé, après que les intempéries aient réduit celui-ci d'un tiers. Je remercie également Samuel Gomes d'avoir rapporté mes travaux : vos contributions ont permis de clarifier et d'ouvrir des perspectives à ces travaux. Je tiens à remercier Améziane Aoussat pour sa participation de dernière minute.
Je remercierais ensuite Fabrice Mathieux et Daniel Brissaud de m'avoir permis de réaliser ces travaux. Grâce à la confiance que vous m'avez accordée, j'ai pu construire cette thèse de bout en bout : financement, gestion d'un projet de recherche, mise à profit de vos contacts académiques et industriels. Merci à Fabrice de m'avoir permis de mener une partie de ce projet au Brésil.

En évoquant le Brésil, muito obrigada a todos os que me ajudaram no Brasil: à Casia Ugaya Lie pela oportunidade de trabalhar na UTFPR e com algumas empresas brasileiras, à Silvia pela hospitalidade, ao pessoal do CTI, especialmente à Sabrina Rodrigues Sousa, à equipe de Metrologia e Qualidade do DAMEC e a Maggie, com sua pequena familia..

Merci aux membres du projet EcoUse, Francis Rasamoelina, Livier Serna-Mansoux, Carole Bouchard, Dominique Millet : vos idées se retrouvent éparpillées tout au long de ce manuscrit. Je tiens par ailleurs à remercier Hélène Bortolli et l'ADEME d'avoir financé ce projet de thèse.

Merci aux éco-concepteurs de G-SCOP : ceux qui sont partis en cours de route, Jérémy, Aurélie, Damien, Jorge, et ceux qui continuent leur bout de chemin, Peggy, Alan, Guillaume, Natalia, Maud, Emmanuelle, Feng, Yacine et tous les autres. C'est qu'on est devenu nombreux en quatre ans !
Merci à tous les collaboratifs et intégrateurs : Chloé, Golnoosh, Mathieu, Benjamin, Samira, Hélène, Iris… Et puis les autres : Laura, Pauline A., Francielly, Bertrand, Greg...

Je remercie tous ceux qui ont contribué à ce projet en s'investissant directement ou sans s'en rendre bien compte : Julie O., Julie R., Marie, Ruben, Nora, Aurel, Pauline M., Manu, les grenoblo-champenois : Marion, Romain, Rogelio, les quatre amies des bouts des mondes : Maud, Chloé, Emilie, Delphine, les F200iens : Alex, Lucile, Gab, et plus particulièrement à Ingwild (et nos semaines au « frais » en plein mois d'août).
Et bien sûr ma famille : mes parents et mes petites sœurs Emma et Alice, lâchez pas la patate, d'abord, et puis les autres qui m'ont accompagné (les tatas, Aude, Nils…).

Résumé et mots clefs

En intégrant le cycle de vie d'un bien dans son processus de développement, l'éco-conception permet d'améliorer la performance environnementale de ce futur produit. La combinaison, dans cette thèse, des notions de la conception centrée utilisateur et de la pensée cycle de vie, permet de proposer une méthode pour l'intégration de la phase d'utilisation en éco-conception.
La méthode repose sur la proposition de nouveaux modèles pour représenter l'utilisation adaptés aux spécificités de l'éco-conception. A partir du modèle de produit, un modèle de la phase d'utilisation, connectée aux phases de distribution et de fin de vie, permet d'associer l'utilisation du produit à son cycle de vie complet. Le modèle de contexte permet de positionner la performance environnementale du produit en utilisation par rapport à des paramètres associés à l'utilisateur et à l'environnement d'utilisation. L'évaluation environnementale du scénario d'utilisation regroupant tous ces modèles permet d'adapter les stratégies d'amélioration de la méthode à l'utilisation d'un produit en conception.
Une application de la démarche à la re-conception d'un réfrigérateur pour la France et le Brésil permet d'illustrer le fonctionnement de la méthode.

Mots clés : Eco-conception, Cycle de vie de produit, modèle de l'utilisation, Comportement des utilisateurs, Amélioration environnementale.

Abstract and key-words

By integrating product life cycle into the development process, ecodesign enables the environmental improvement of the product to be. The combination of user-centered design proposition and life cycle thinking allows us to propose a method for use phase integration in ecodesign.
This method is built on new models to represent product use that are compatible with ecodesign specificity. Based on the product model, the use phase model, which is connected to the distribution and end-of-life phases, facilitates the attachment of product use to the complete life cycle. Context model aims at positioning the product use environmental performance according to influencing parameters related to the user and it environment. Environmental assessment is made based on the use scenario, a combination of the three previous models. This assessment enables to adapt the improvements strategies to the specificity of a product use phase.
A case study has been perform to illustrate the capability of the new proposal to ecodesign a refrigerator for Brazil and for France.

Key words: Ecodesign, Product life cycle, Use model, User behavior, Environmental improvements.

Table des matières

Résumé et mots clefs 5
Abstract and key-words 7
Table des matières 9
Table des figures 12
Table des tableaux 14
Glossaire 15

Chapitre 1 Impact environnemental de l'utilisation des produits 17
1.1 Activités humaines et équilibre des écosystèmes 18
1.2 Contribution des produits aux déséquilibres des écosystèmes 18
1.3 Responsabilisation de la société : individus et industriels 19
1.3.1 Les moyens de l'émergence des citoyens - consommateurs responsables 19
1.3.2 Modes de consommations pro-environnementaux 20
1.3.3 Economie de fonctionnalité 21
1.4 Eco-conception : cycle de vie de produits et diminution de l'impact environnemental 22
1.4.1 Définition du cycle de vie d'un produit 22
1.4.2 Modèles pour le cycle de vie de produit et solutions d'éco-conception 24
1.4.2.1 Phases en amont de l'utilisation 24
1.4.2.2 Phases en aval de l'utilisation 24
1.4.2.3 Phase d'utilisation 25
1.4.3 Performance environnementale des produits éco-conçus 25
1.5 Conclusion et question de recherche 27

Chapitre 2 Modèles de l'utilisation : les apports de la littérature 29
2.1 Difficulté de développement de modèles « réalistes » de l'utilisation 30
2.1.1 Les temps du produit : conception et vie 30
2.1.1.1 Conception et cycle de vie 30
2.1.1.2 Conception et pratiques sociales 31
2.1.2 Variabilité de la conception produit et des utilisations 32
2.1.2.1 Evolution des représentations de produit en conception 32
2.1.2.2 Variabilité en utilisation 32
2.1.3 Supporter les activités de conception 33
2.1.3.1 Processus de conception 33
2.1.3.2 Acteurs de la conception 35
2.1.3.3 Supporter les acteurs de la conception 36
2.1.4 Verrous à lever pour un modèle « réaliste » de l'utilisation 37
2.2 Apport de la littérature à la levée des verrous 37
2.2.1 Utilisation : Utilisateur, Contexte et Interactions 37
2.2.1.1 Modèle de l'utilisateur 38
2.2.1.2 Modèle couplé contexte et utilisateur 39
2.2.1.3 Modèle des interactions 41
2.2.2 Instanciation des modèles d'utilisation 42
2.2.2.1 Données d'utilisation 42
2.2.2.2 Représentativité des données 43
2.2.3 Segmentation : réduire la variabilité de l'utilisation 43
2.2.3.1 Comportements pro-environnementaux 44
2.2.3.2 Segmentation par cultures 46
2.2.3.3 Culture, environnement et comportements 46
2.2.3.4 Segmentation pour l'éco-conception orientée utilisation 48

2.2.4 Diagnostic environnemental du modèle de l'utilisation 48
2.2.4.1 Evaluation des flux environnementaux en conception 48
2.2.4.2 Indicateurs environnementaux 50
2.2.5 Amélioration de la performance environnementale 50
2.2.5.1 Les propositions de l'éco-conception cycle de vie 51
2.2.5.2 Les propositions de la conception pour les comportements soutenables 52
2.2.5.3 Les propositions des politiques publiques et du green-marketing 54
2.3 Conclusions : cahier des charges de la méthode 55

Chapitre 3 Proposition d'une méthode d'éco-conception orientée utilisation 57
3.1 Variabilité et Temporalité : un modèle de l'utilisation 58
3.1.1 Complémentarité des modèles 58
3.1.2 Modèle de produit : centre des activités de conception 59
3.1.3 Modèle des interactions : une description temporelle de la phase d'utilisation 59
3.1.4 Modèle de l'utilisateur en contexte 64
3.1.5 Instanciation des modèles 68
3.1.5.1 Segmentation 68
3.1.5.2 Guider le choix des outils pour instancier les modèles de l'utilisation 70
3.1.5.3 Les manuels d'utilisation des outils pour l'éco-conception orientée utilisation 74
3.2 Diagnostic environnemental 76
3.2.1 Scénario d'utilisation : Instanciation du modèle de la phase d'utilisation pour le diagnostic environnemental 76
3.2.2 Choix des indicateurs 78
3.2.3 Modèle de scénario : présentation du diagnostic 79
3.2.4 Amélioration de la performance 80
3.3 Méthode de conception 83
3.3.1 Acteurs 83
3.3.2 Outils de la méthode d'éco-conception orientée utilisation et acteurs de la conception 85
3.3.2.1 Les modèles : un support pour l'opérationnel 85
3.3.2.2 Instanciation des modèles de l'utilisation : le rôle des experts dans la relation avec les utilisateurs 85
3.3.2.3 Le diagnostic environnemental 85
3.3.2.4 L'amélioration environnementale 85
3.3.3 Processus de conception 85
3.3.3.1 Planification 86
3.3.3.2 Conception préliminaire 88
3.3.3.3 Conception détaillée 88
3.3.3.4 Prototypage 91
3.4 Conclusions 91

Chapitre 4 Application de la méthode 93
4.1 Choix du cas d'étude 94
4.2 Instanciation des modèles de l'utilisation pour agir sur la temporalité 95
4.2.1 Modèle de la phase d'utilisation pour un réfrigérateur 96
4.2.2 Modèle de contexte Brésil 97
4.2.2.1 Le choix des entretiens semi-directifs 97
4.2.2.2 Organisation de la collecte de données 98
4.2.2.3 Construction du modèle de contexte 98
4.2.3 Modèle de contexte France 100
4.2.3.1 Le choix de l'analyse préliminaire 100
4.2.3.2 Compilation des données de l'analyse préliminaire 101

4.2.3.3 Construction du modèle de contexte 101
4.2.4 Instanciation du modèle de scénario 103
4.2.4.1 Construction de la structure du modèle à partir des paramètres produit et phase d'utilisation 103
4.2.4.2 Hypothèses de modélisation communes aux deux modèles 107
4.2.4.3 Modèle de scénario Brésil 108
4.2.4.4 Modèle de scénario France 108
4.3 Réduction de la variabilité dans les évaluations environnementales 109
4.3.1 Comparaison de l'évaluation environnementale des modèles de scénarios Brésil et France 109
4.4 Proposition de solutions d'éco-conception en fonction de l'évaluation environnementale 115
4.4.1 Solutions d'éco-conception associées aux modèles Brésil 116
4.4.2 Solutions d'éco-conception associées aux modèles France 118
4.4.3 Comparaison des performances environnementales sur les deux segments après application des solutions 119
4.5 Evaluation du cas d'étude : adéquation à la conception de produit 120
4.5.1 Levée des verrous 120
4.5.2 Support au processus de conception complet 121
4.5.3 Acceptabilité terrain des solutions d'éco-conception 122
4.6 Conclusion 122

Chapitre 5 Conclusions 125
5.1 Apport de la thèse 126
5.2 Apports de la proposition méthodologique à l''évaluation environnementale 126
5.2.1 Un moyen de mieux prendre en compte l'utilisation dans l'unité fonctionnelle 126
5.2.2 Une meilleure appréhension des incertitudes sur la phase d'utilisation 127
5.3 Apports de la proposition méthodologique à l'éco-conception 128
5.3.1 Concevoir avec l'utilisateur 128
5.3.2 Adapter la conception au contexte d'utilisation 128
5.4 Limites de la proposition méthodologique 129
5.4.1 Application à des produits innovants 129
5.4.2 Application à des produits à très longue durée de vie 129
5.4.3 Application à des produits avec peu d'impact en phase d'utilisation 130
5.5 Perspectives 130
5.5.1 Interface avec les phases amont et aval à l'utilisation 130
5.5.2 Contribution à la création de comportements soutenables 131
5.5.3 La responsabilité élargie du producteur à l'utilisation : les systèmes produit-services 131

Bibliographie 133
Annexes 143
A.1 Manuel d'utilisation : Entretiens semi-directifs 144
A.2 Questionnaire de collecte de données Brésil 148
A.3 Manuel d'utilisation : Analyse préliminaire 163
A.4 Liste complète des parties habitudes et culture du modèle de contexte Brésil 165
A.5 Liste complète des parties habitudes et culture du modèle de contexte France 169
A.6 Modélisation Bilan Produit 173
A.6.1 Fabrication 173
A.6.2 Utilisation Brésil 174
A.6.3 Utilisation France 176

Table des figures

Figure 1 : Définition des biens environnementaux adaptées d'Eurostat (Eurostat 2009) 21
Figure 2 : Cycle de vie de produit de l'ISO 14062 23
Figure 3 : Evaluation des améliorations faites grâce à l'éco-conception (PEC & IDP 2009) 26
Figure 4 : Comparaison des processus de conception incrémentale et de conception innovante de (a) Pahl et al (2007) et (b) Veryzer (1998) 34
Figure 5 : Processus à mettre en œuvre pour améliorer l'impact environnemental des produits (Brezet 1998) 35
Figure 6 : Modèle de comportement de Triandis (Triandis 1979) 40
Figure 7 : Cadre méthodologique pour une analyse de cycle de vie 48
Figure 8 : Stratégies de DfSB: relation Utilisateur- Produit en conception - Produit 53
Figure 9 : Les 3 composantes du modèle de l'utilisation : Produit, Interactions et Utilisateur en Contexte 58
Figure 10 : Formalisation d'un moment de la phase d'utilisation 59
Figure 11 : Caractéristiques du moment installation 61
Figure 12 : Caractéristiques de l'apprentissage 61
Figure 13 : Caractéristiques d'une tâche d'usage 62
Figure 14 : Caractéristiques de la maintenance et nettoyage 62
Figure 15 : Caractéristiques du stockage 62
Figure 16 : Caractéristique de l'amélioration 63
Figure 17 : Caractéristique de la mise au rebut 63
Figure 18 : Exemple d'enchaînement de moments pour modéliser la phase d'utilisation d'un produit 64
Figure 19 : Représentation schématique des composants du modèle de contexte 65
Figure 20 : Format de documentation des habitudes 65
Figure 21 : Format de documentation des connaissances et des compétences 66
Figure 22 : Format de documentation de la démographie 66
Figure 23 : Format de documentation des infrastructures externes 67
Figure 24 : Format de documentation des infrastructures internes 67
Figure 25 : Format de documentation des conditions atmosphériques 67
Figure 26 : Format de documentation de la culture 68
Figure 27 : Combinaison des modèles de l'utilisation pour générer un scénario 76
Figure 28 : Format de documentation du scénario pour l'évaluation environnementale 78
Figure 29 : Echelle de couleur pour les contributions 79
Figure 30 : Contribution des paramètres par action, des actions et des moments à un indicateur environnemental 79
Figure 31 : Copie d'écran de l'outil stratégies: Choix par moments et par volonté d'agir de l'utilisateur 82
Figure 32 : Copie d'écran de l'outil stratégies: Choix par étapes du processus de conception 83
Figure 33 : Copie d'écran de l'outil stratégies et des exemples d'applications 83
Figure 34 : Processus d'éco-conception orientée utilisation 86
Figure 35 : Etape de planification 87
Figure 36 : Déroulement de l'étape de conception préliminaire 88
Figure 37 : Déroulement de l'étape de conception détaillée 90
Figure 38 : Déroulement de l'étape de prototypage 91
Figure 39 : Profil énergétique d'un produit électrique et électronique 95
Figure 40 : Représentation du modèle de la phase d'utilisation pour le réfrigérateur, exemple d'enchaînement possible 97
Figure 41 : Liste des 8 types d'habitudes identifiés pour le moment d'installation. 98
Figure 42 : Liste des connaissances exprimées dans les entretiens 99

Figure 43 : Démographie du modèle de contexte Brésil 99
Figure 44 : Infrastructures du modèle de contexte Brésil 100
Figure 45 : Conditions atmosphériques du modèle de contexte Brésil 100
Figure 46 : Habitudes associées au moment Courses pour le modèle France 101
Figure 47 : Démographie du modèle de contexte France 102
Figure 48 : Infrastructures internes pour le modèle de contexte France 102
Figure 49 : Conditions atmosphériques pour le modèle de contexte France 103
Figure 50 : Mise en forme de moments dans le scénario d'utilisation 104
Figure 51 : Format du scénario d'utilisation 106
Figure 52 : Résultats de l'évaluation environnementale pour le scénario Brésil sur l'indicateur écotoxicité aquatique 110
Figure 53 : Résultats de l'évaluation environnementale pour le scénario France sur l'indicateur Effet de serre à 100 ans 111
Figure 54 : Résultats de l'analyse des contributeurs à la consommation d'énergie pour le Brésil 113
Figure 55 : Résultats de l'analyse des contributeurs à la consommation d'énergie pour la France 114
Figure 56 : Liste des stratégies applicables à l'amélioration des tâches d'usage et la volonté d'agir des utilisateurs visés 116
Figure 57 : Situation de conception du cas d'étude 121

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des paramètres utilisateurs pour la conception orientée agent, l'ISO 9241-210 et les personas 39
Tableau 2 : Paramètres du modèle de contexte pour l'ISO 9241-210 et le contexte de Maguire..... 40
Tableau 3 : Comparaison de la segmentation DEFRA et ADEME-Ethicity 45
Tableau 4 : Comparaison des approches Egalitariste et Individualiste 47
Tableau 5 : Segmentation selon les variables individuelles (l'exemple de (Ethicity 2011) pour l'ADEME) 69
Tableau 6 : Sélection des outils- Partie 1/2 72
Tableau 7 : Sélection des outils- Partie 2/2 73
Tableau 8 : Type de question par paramètre des modèles 75
Tableau 9 : Liste des stratégies regroupées pour l'amélioration 81
Tableau 10 : Représentation schématique du modèle de scénario 103
Tableau 11 : Liste des paramètres produit pour le cas d'étude 105
Tableau 12 : Résumé des solutions d'éco-conception pour le Brésil 118
Tableau 13 : Résumé des solutions d'éco-conception pour la France 119

Glossaire

Nom	Définition
Activité	Se rapporte aux actions réalisées par les concepteurs
ACV Analyse de cycle de vie	Compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie
Affordance	Ensemble des aspects psychologiquement pertinents et significatifs de l'environnement d'un être vivant
Comportement	Manifestation cognitive, affective et motrice mise en œuvre par un individu en relation avec son environnement
Concepteur	S'intéressent aux dimensionnements des systèmes mécaniques, électroniques, logiciels
Conception	Ensemble de processus qui transforme des exigences en caractéristiques spécifiées ou en spécification d'un produit, d'un processus ou d'un système
Consommateur	Personne qui consomme la fonction du produit et qui part la même la détruit
Contexte	Eléments de l'utilisateur et de l'environnement qui influence l'utilisation d'un produit
Culture	Ensemble des phénomènes matériels et idéologiques qui caractérisent un groupe ethnique par opposition à un autre groupe.
Designer	S'intéressent aux besoins esthétiques, ergonomiques et d'interfaces des clients
Eco-conception	Intégration des caractéristiques environnementales dans la conception de produit en vue d'améliorer sa performance environnementale tout au long de son cycle de vie
GCVP Gestion du cycle de vie de produit	PLM - Product Life Cycle Management
Habitude	Comportement qui est devenu une routine et qui est répété fréquemment
Impact environnemental	Toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme
Modèle	Formalisation d'un concept qui peut évoluer dans sa forme au cours du processus de conception
Moment	Bloc élémentaire composant le scénario, pouvant être qualifié de sous-phase d'utilisation
Outil	Objet permettant de transformer une donnée d'entrée en une donnée de sortie
Produit	Tout bien ou service qui réalisera une ou des unités fonctionnelles au long de son cycle de vie
Scénario	Formalisation des interactions probables entre le contexte et le produit qui auront lieu lors de la phase d'utilisation

Nom	Définition
Sensibilité environnementale	Relatif à la perception de l'importance des problématiques environnementales par les individus
Unité Fonctionnelle	Performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie
Usage	Moment de l'utilisation au cours duquel les interactions avec le produit sont des habitudes
Utilisateur	Personne qui interagit avec le produit pour lui faire réaliser tout ou partie de son unité fonctionnelle, sans obligatoirement détruire ce dernier
Utilisation	Représente la phase d'utilisation du produit et est bornée par la première installation du produit et la mise au rebut de celui-ci par l'utilisateur

Chapitre 1 Impact environnemental de l'utilisation des produits

1.1 Activités humaines et équilibre des écosystèmes

Une pollution est définie comme la dégradation d'un milieu, en tant qu'écosystème à l'équilibre, par l'introduction d'un agent (physique, chimique ou biologie) (adapté de Robert et al. 2013).
Une pollution peut être d'origine naturelle (par exemple, les éruptions volcaniques libérant du dioxyde de soufre) ou d'origine anthropique (par exemple, la combustion du charbon libérant des métaux lourds).

La contribution des êtres humains à la dégradation des écosystèmes a été en constante augmentation depuis la sédentarisation et l'expansion démographique de notre espèce.
Ramade (2013) fait remonter les premières pollutions anthropiques à l'établissement des cités de la protohistoire. Ces pollutions étaient liées à des émissions de substances, notamment les déjections et les déchets, avec des conséquences locales principalement sur la qualité des eaux.
A l'ère industrielle, la densification des populations en ville et la multiplication des activités manufacturières ont fait changer d'échelle les problèmes de pollution. D'une source de pollution locale ayant des conséquences sur les écosystèmes locaux, l'industrialisation a fait passer à la fois les sources de pollution, mais aussi leurs conséquences à l'échelle régionale voire globale. La généralisation des systèmes de production d'énergie à partir de combustibles fossiles a non seulement créé des sources de pollution dispersées sur l'ensemble de la planète, mais a également entrainé des modifications d'écosystèmes éloignés des sources de pollutions. C'est le cas, par exemple, des pluies acides avec le transport des polluants par voie aérienne. Ce changement d'échelle, d'une pollution locale ayant des conséquences locales à une pollution globale aux conséquences globales, a modifié la place de l'être humain dans les écosystèmes à l'équilibre.

L'augmentation de ces pollutions est devenue une menace pour le maintien des être humains dans les écosystèmes existants. Face à la montée de cette menace environnementale, les sociétés humaines ont proposé des solutions à deux niveaux : la remédiation et la prévention.
La remédiation vise à restaurer l'état d'origine d'un écosystème pollué. Les technologies déployées visent à améliorer l'efficacité du fonctionnement de l'écosystème, soit en éliminant les substances, soit en introduisant des espèces capables de transformer ces substances en prenant le relais des organismes déjà présents.
La prévention vise, quant à elle, à améliorer la performance environnementale des activités industrielles. En rendant ces activités plus efficaces ou moins nocives, leur pression environnementale diminuera.
En analysant en quoi les activités industrielles perturbent le fonctionnement normal des écosystèmes, la société cherche des solutions pour pouvoir maintenir les êtres humains dans un environnement hospitalier. Le paragraphe suivant détaillera en quoi les produits peuvent être à l'origine d'une partie des pollutions industrielles.

1.2 Contribution des produits aux déséquilibres des écosystèmes

L'avènement des industries manufacturières a permis de rendre plus accessible à la société des produits et des services, avec un coût économique réduit.
Ces progrès dans les moyens de production ont transformé l'organisation de la société en permettant la naissance de la société de consommation. L'accès aux produits industriels a été facilité par les améliorations techniques et logistiques, impliquant des modifications de la société, notamment une adhésion plus forte à la valeur de possession des objets.
Cette augmentation de la production de biens s'est accompagnée d'une intensification de la consommation de ressources naturelles et des pollutions liées aux processus de transformation de ces ressources. La gêne provoquée par ces pollutions est devenue une source de préoccupation des populations.

Ces préoccupations environnementales se sont d'abord focalisées sur les pollutions industrielles. Elles peuvent être séparées en deux catégories : la pollution accidentelle et la pollution chronique.
Dans le premier cas, les accidents sur des sites industriels, comme celui de Seveso en 1976, sont traités par des politiques de gestion de risque. Les industriels ont l'obligation de maîtriser les paramètres de leur production qui peuvent conduire à une augmentation du risque de pollution exceptionnelle et importante.
Dans le second cas, c'est une contamination chronique, liée à une accumulation dans le temps de substances nocives, qui est mise en cause. Les industriels sont invités à mettre en œuvre des processus de traitement de ces substances afin de les éliminer ou d'en diminuer la concentration. Ce sont des solutions dites de « end of pipe » - fin de tuyaux -, car elles sont initialement des moyens de filtrage placé à la fin de tuyaux pour les émissions dans l'eau et des cheminées pour les émissions dans l'air.

Avec la diminution des pollutions liées aux sites de production, une autre pollution, diffuse géographiquement, a été la source de préoccupations environnementales : les déchets. L'accumulation de produits non utilisés a été à l'origine d'un nouveau défi pour le maintien de la société de consommation. Pour faire face à l'accumulation de biens sans valeur économique, la société a développé des systèmes de réintroduction de valeur par le tri, la réutilisation, le recyclage, etc. (Gouhier 2013). Comme pour les pollutions des sites de fabrication, les industriels doivent diminuer ou éliminer la production des déchets (European Commission 1975), que deviendront leurs produits.

C'est à partir de la conférence de Rio en 1992 que les industriels et les politiques mettent en avant une proposition originale : en complément des mesures sur les sites de production, une approche intégrée prenant notamment en compte la fabrication et la fin de vie, peut être adoptée. En attribuant les pollutions à l'unité économique correspondante, c'est-à-dire le produit, la coordination des efforts de diminution de la détérioration des écosystèmes sera améliorée.
Cette approche intégrée permet de faire participer tous les acteurs préoccupés et / ou responsables des pollutions liées à la société de consommation dans le processus de limitation de ces dernières.

1.3 Responsabilisation de la société : individus et industriels

1.3.1 Les moyens de l'émergence des citoyens - consommateurs responsables

Face au constat que la société de consommation a fait augmenter les sources de pollution, des initiatives citoyennes ont émergé.
Le constat alarmant du rapport Meadows sur l'état des écosystèmes et des ressources naturelles a permis le développement d'initiatives politiques de grande envergure (Meadows et al. 1972). Pour leur rapport, (Meadows et al. 1972) ont modélisé la pression sur les écosystèmes, et notamment sur les ressources alimentaires, de la croissance démographique et économique. Le paradigme de croissance économique des années 1970, uniquement soutenu par une exploitation croissante des ressources, devient une menace à son propre maintien d'après les modèles de Meadows.
Les Nations-Unies publient en 1987 leur réponse au rapport Meadows : le rapport Brundtland, qui introduit la notion de développement soutenable. Pour continuer à subsister, l'espèce humaine doit poursuivre « un mode de développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (Brundtland 1987).
Le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 est l'occasion de définir les moyens d'atteindre cette nouvelle stratégie de développement. Le programme d'action Agenda 21 propose 2500 solutions à mettre en œuvre pour atteindre un développement soutenable (UN DESA 1992).
Le développement soutenable sera atteint si des efforts conjoints sont faits pour arriver à l'équilibre économique, environnemental, social. Cet équilibre est appelé la « triple bottom line ».

En ce qui concerne la société de consommation, mise en cause dans la pollution liée aux produits, l'action 4 de l'agenda 21 « modification des modes de consommation » propose deux types de solution : l'analyse des modes de production et de consommation insoutenables et les stratégies à mettre en œuvre pour encourager des modes de consommation plus soutenables (UN DESA 1992).
Pour répondre à l'action 4, les Nations Unies proposent des actions à la fois à destination des consommateurs en modifiant leurs pratiques quotidiennes, et des industriels, en les incitant à la provision de produits « soutenables ».
Dans la suite de ce manuscrit, nous limiterons la notion de soutenable à sa composante environnementale. Les produits « soutenables » seront restreints aux produits environnementaux et les comportements « soutenables » seront limités aux comportements pro-environnementaux.

1.3.2 Modes de consommations pro-environnementaux.

La transition vers un nouveau mode de consommation est supportée par des incitations des gouvernements à créer et maintenir des comportements moins impactant sur l'environnement. Le DEFRA, le ministère de l'environnement britannique, a divisé ces comportements en 5 domaines d'importance : l'efficacité énergétique, les déchets et le recyclage, l'efficacité en eau, le transport personnel et l'achat de produits environnementaux (DEFRA 2008). Sur ces 5 domaines, certaines actions sont purement comportementales, comme celle de moins gâcher de nourriture, d'autres sont basées à la fois sur un comportement et sur des produits, comme l'installation d'une meilleure isolation ou l'achat de produits environnementaux. Les actions comportementales s'adressent aux citoyens et les actions se basant sur l'achat de produits s'adressent aux consommateurs. Les actions combinant comportements et produits autre que l'achat s'adressent aux utilisateurs. Un individu, tout au long de sa vie, sera à tour de rôle un citoyen, un consommateur et un utilisateur et la transition vers un mode de vie soutenable repose en grande partie sur ces actions.
Afin de supporter les comportements qui nécessitent des produits, les gouvernements mettent en place des politiques d'incitations, fiscales notamment, pour le développement de l'offre de produits environnementaux. Eurostat, l'institut européen de statistique, présente une typologie de tous les produits ou services qui peuvent être classés comme environnementaux (Eurostat 2009), comme présenté à la Figure 1 et ainsi bénéficier des incitations gouvernementales.
Pour les industriels, il s'agit de pouvoir proposer des produits de substitution à ceux qui génèrent le plus de pollutions, ou bien de nouveaux produits supportant la transition vers des modes de consommation soutenables.

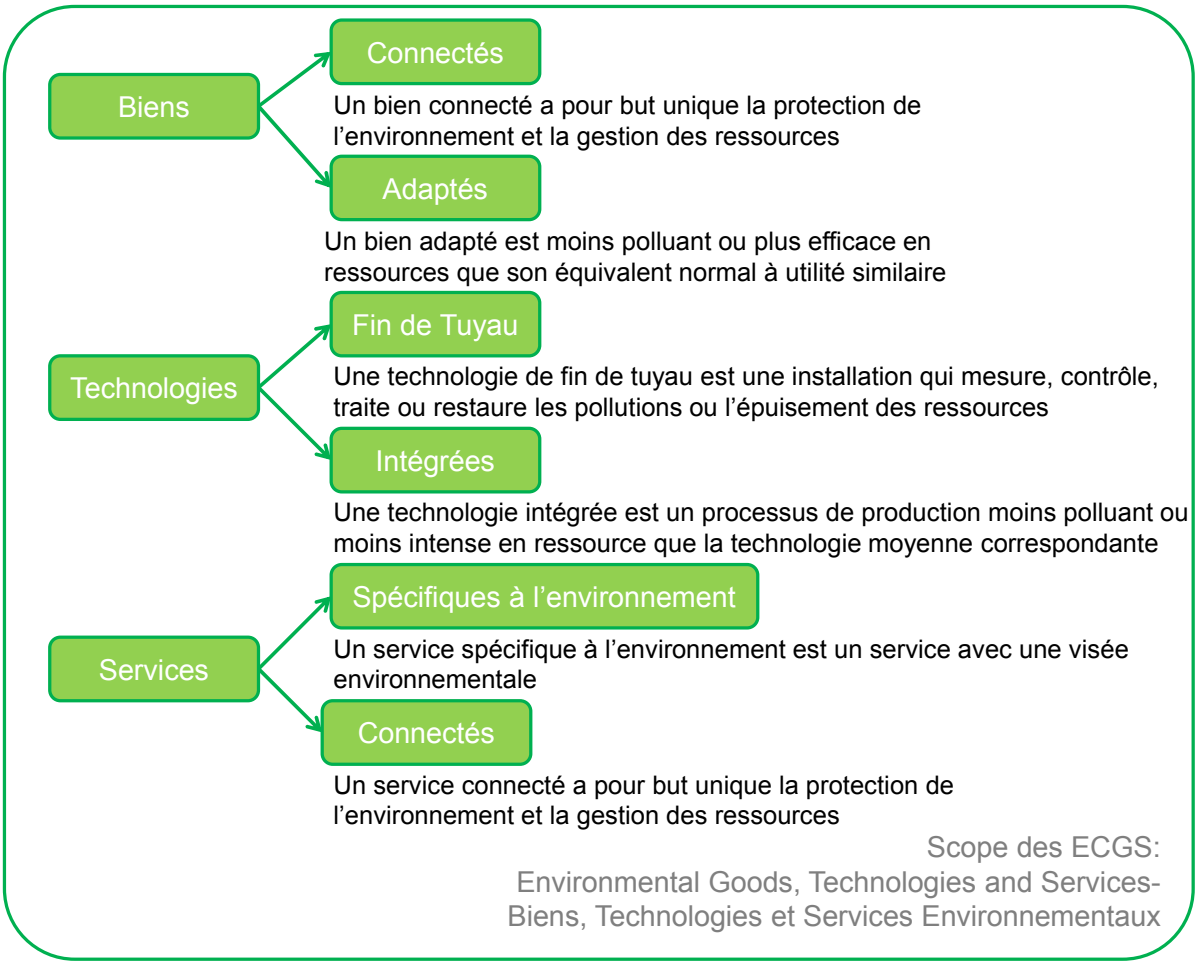


Figure 1 : Définition des biens environnementaux adaptées d'Eurostat (Eurostat 2009)

Les biens et les services connectés proposent des solutions permettant le suivi et la gestion des ressources et de l'environnement. On peut citer par exemple les offres de surveillance de la pollution de l'air se basant sur le service connecté de communication de résultats d'émissions de substance et sur le bien connecté capteur d'émissions.
Les biens environnementaux adaptés sont définis comme des produits qui sont moins polluants ou plus efficace en ressource que leurs équivalents classiques et qui fournissent une utilité similaire. Eurostat cite notamment les savons biodégradables, les voitures propres et les réfrigérateurs efficaces.
Les technologies sont essentiellement des solutions visant à maîtriser l'impact sur l'environnement des sites de fabrication des biens.

L'importance des produits environnementaux dans la transition vers des modes de consommation soutenables incite les gouvernements et les industriels à développer ce type de biens.

1.3.3 Economie de fonctionnalité

Les enjeux environnementaux liés à la consommation de produits sont d'abord liés à la transformation de flux entrants d'énergie et de matière, qui génèrent des pollutions. Mais plus récemment, l'importante pression des industries sur les flux entrants eux-mêmes a remis en cause la viabilité des pratiques industrielles. L'épuisement des ressources énergétiques et matérielles, dû à une surexploitation industrielle, pose un problème supplémentaire au modèle de la société de consommation.
Pour répondre à ces enjeux en matière d'environnement, un nouveau modèle économique est proposé : l'économie de fonctionnalité. Ce modèle ambitionne de découpler la croissance

économique de la croissance du nombre de produits, en basant cette dernière sur un échange de service entre producteur et consommateur et non plus sur la vente de produits pour réaliser une fonction (Bourg & Buclet 2005). En effet, les consommateurs n'achètent pas un produit en tant qu'objet quelconque, mais pour sa capacité à réaliser une fonction, une utilité. En proposant un service pour réaliser cette fonction, la demande en produits devrait diminuer et du même coup la pression environnementale de l'industrie sera atténuée.
Cette approche répond aussi aux aspirations d'une société post-matérialiste, c'est-à-dire post-consommation (Dunlap & York 2008). En effet, Inglehart (1990) a montré un détachement de la société moderne des valeurs de possession, pour s'orienter vers des valeurs de bien-être et de qualité de vie. Ce changement sociétal peut favoriser la mise en place d'une économie de fonctionnalité et contribue à des modes de consommations plus soutenables
L'économie de fonctionnalité est aussi un moyen pour les industriels de modifier leurs pratiques de développement de produit. Le but de ces derniers n'est plus de vendre des produits mais de proposer des services basés sur des produits. L'industrie passe donc d'un système mettant à disposition des produits à un système mettant à disposition des fonctions supportées par des produits. Cette notion est centrale dans la réponse que l'industrie apporte aux citoyens-consommateurs responsables.

1.4 Eco-conception : cycle de vie de produits et diminution de l'impact environnemental

Afin d'apporter une réponse à l'initiative des Nations Unies de supporter des modes de consommation soutenables, le World Business Council for Sustainable Development a proposé, en marge du sommet de la Terre de 1992, l'éco-conception comme approche pour le développement de produits soutenables.
L'éco-conception vise à intégrer, les impacts environnementaux tout au long du cycle de vie du produit dès la phase de conception de produit afin de les diminuer (Brezet 1998). Le choix de la phase de conception pour intégrer la problématique environnementale chez les industriels vient du constat que 80% des impacts futurs du produit sont définis par des décisions prises lors de la conception de ce dernier (Wenzel et al. 2000) .
L'éco-conception se différencie de la conception classique sur 2 points :

- La conception et l'évaluation à unité fonctionnelle équivalente. Ce choix permet de rester conforme au concept d'économie de fonctionnalité en légitimant la comparaison d'une solution de conception basée sur la mise en vente d'un produit physique avec une solution basée sur la réalisation d'un contrat de service.
- L'analyse du cycle de vie du produit. L'évaluation de la pollution associée au produit ou au service se fait sur plusieurs indicateurs d'impacts environnementaux, ie. représentant différents types de pollution, et sur toute la vie du produit, dès sa « naissance » à sa « mort ». Le paragraphe suivant détaille ce que comprend la vie du produit.

1.4.1 Définition du cycle de vie d'un produit

La définition du cycle de vie des produits physiques nécessaires à la réalisation de l'unité fonctionnelle est la première étape d'un processus d'éco-conception. Elle consiste à lister de façon chronologique les étapes qui composeront le parcours du produit de sa naissance à sa mort.
Le cycle de vie de produit est donc souvent défini comme allant du berceau à la tombe. Le sens du mot berceau est relativement accepté par la communauté Cycle de vie, en ce qui concerne les matières premières vierges : il représente les étapes d'extraction des matières premières des mines, puits, réserves naturelles… En ce qui concerne le mot tombe, le consensus est plus difficile à obtenir : pour certains, il s'agit de la mise en décharge seule du produit, pour d'autres il inclut les processus de recyclage et la valorisation énergétique…

Cet exemple montre qu'une définition formelle de ce qu'est la vie d'un produit peut être laborieuse. Un compromis, cependant, existe sur la formulation de ses grandes étapes. Voici le découpage proposé par le rapport technique ISO/TR 14062 (ISO 2003):

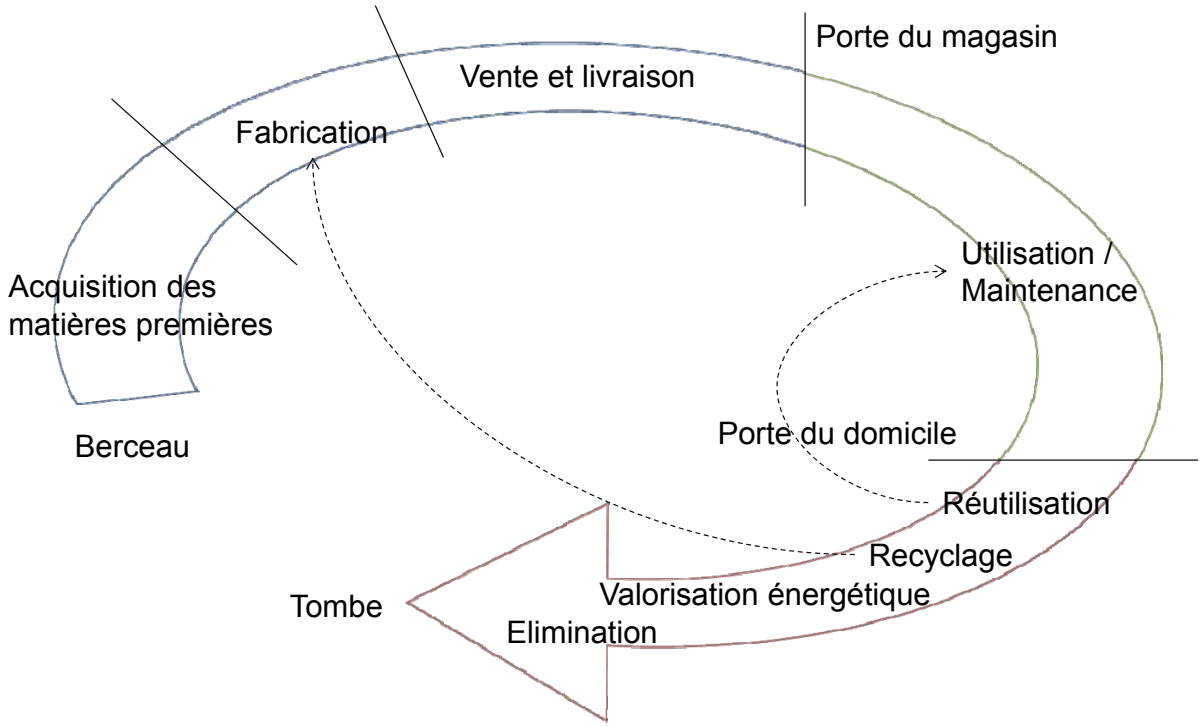


Figure 2 : Cycle de vie de produit de l'ISO 14062

La phase d'acquisition des matières premières recouvre les processus nécessaires à l'obtention des matériaux semi-transformés pour la fabrication. Il peut s'agir d'activités extractives, de recyclage de matériaux ou de foresterie. Cette phase se termine à la porte de l'usine de transformation des matériaux.
La phase de fabrication regroupe toutes les étapes de mise en forme des matériaux en produit fini. Elle commence à la première usine de mise en forme des matériaux et se termine à la sortie de la dernière usine de conditionnement du produit pour sa distribution.
La phase de vente et livraison recouvre toutes les étapes logistiques pour accéder de la dernière usine aux sites de vente, ainsi que toutes les étapes de promotion et de marketing du produit. Elle commence à la sortie de l'usine de conditionnement et se termine à la sortie du magasin où le client final acquiert le produit.
La phase d'utilisation/maintenance commence à la sortie du magasin et se termine lorsque le produit est considéré comme un déchet, c'est-à-dire n'est plus utilisé ou est jeté dans une poubelle.
La phase réutilisation/recyclage/valorisation énergétique/élimination (appelée par la suite fin de vie) recouvre toutes les activités de traitement du déchet, soit pour le remettre en état de fonctionnement, soit pour en récupérer des matériaux ou de l'énergie, soit pour l'éliminer par des processus mécaniques, chimiques ou biologiques. Elle commence par la collecte du produit jeté et se termine, soit par l'entrée dans d'autres phases (de distribution pour la réutilisation, de fabrication pour le recyclage et la valorisation énergétique), soit par sa mise en décharge.

Le paragraphe suivant analyse les modèles existants dans la littérature sur les différentes phases du cycle de vie du produit, ainsi que les solutions d'amélioration proposées.

1.4.2 Modèles pour le cycle de vie de produit et solutions d'éco-conception

L'éco-conception a donc pour but de proposer un modèle des entrants / sortants environnementaux pour chacune des phases du cycle de vie afin d'en limiter l'intensité et la nocivité pour l'environnement.
Certaines méthodes d'éco-conception présentent des stratégies qui peuvent s'appliquer à toutes les phases du cycle (Telenko et al. 2008). Ces listes de stratégies peuvent être appliquées directement sur le produit, indépendamment des modèles utilisés pour le cycle de vie de produit. Malgré tout, leur efficacité dans l'amélioration de l'impact environnemental est conditionnée par l'influence du paramètre amélioré sur la performance environnementale du cycle de vie de produit.

Pour surmonter cette difficulté, les approches intégrées proposent de commencer une démarche d'amélioration par l'établissement d'un constat sur le produit existant, ou sur un produit similaire. Une fois le constat établi, l'approche intégrée proposera des stratégies d'amélioration adaptées au constat fait sur le produit.
En éco-conception, il s'agira de coupler une évaluation environnementale des modèles de cycle de vie aux stratégies d'éco-conception afin de choisir le bon paramètre produit à modifier. Par bon paramètre, on entend, en éco-conception, le paramètre du produit dont l'impact environnemental sera amélioré de façon significative par la stratégie appliquée (Holt & Barnes 2010). La démarche proposée par l'ISO 14062 (Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit) propose un processus itératif d'évaluation des impacts environnementaux à partir de modèles de phases, puis d'amélioration des impacts environnementaux les plus significatifs pour le produit ou la catégorie de produit étudiée (ISO 2003).

1.4.2.1 Phases en amont de l'utilisation

Les phases amont du cycle de vie sont la plupart du temps prédominantes en nombre, dans les modèles de cycle de vie proposés. Le schéma proposé par l'ISO 14062 (Figure 2) propose 3 phases avant l'utilisation : acquisition des matières premières, fabrication, et vente et livraison. Quand à Wenzel et al. (2000), ils proposent aussi 3 phases en amont de l'utilisation : l'extraction des matériaux, la production des matériaux et la fabrication du produit.
Cette attention particulière aux phases amont de la vie du produit peut être expliquée par leur appartenance à des processus de nature industrielle. En tant que première source de préoccupation environnementale, les éco-concepteurs ont proposé des réponses rapides aux préoccupations de la société. Holt & Barnes (2010) présentent les méthodes de conception pour la fabrication et l'assemblage -DfMA- et la conception pour la fabrication propre - DfCP, comme outils intégrés pour les phases en amont.
Ces phases sont aussi uniquement pilotées par des acteurs économiques, c'est-à-dire que leurs comportements sont largement déterminés par les échanges économiques entre eux. A partir de données économiques, un modèle des processus d'extraction des matériaux, de production, de fabrication et de vente/livraison peut être établi.
De plus, les instruments règlementaires de diminution de l'impact environnemental existent depuis un certain nombre d'années pour inciter les industriels à limiter les pollutions (European Commission 1996; European Commission 2005; European Commission 1970). Ils sont donc en mesure de fournir des données pour modéliser l'incidence de leurs activités et proposer des pistes d'amélioration.

1.4.2.2 Phases en aval de l'utilisation

Plus récemment, les modèles de cycle de vie ont fait des propositions pour différencier les phases en aval de l'utilisation. La définition d'une phase unique de fin de vie n'était pas conforme à la complexité des processus de traitement des produits devenus déchets. C'est ainsi que l'ISO 14062 propose une phase à 4 composantes : la réutilisation, le recyclage, la valorisation énergétique et l'élimination. Contrairement aux propositions plus anciennes (Wenzel et al. 2000), les nouveaux

modèles de cycle de vie affinent leur vision de la phase de fin de vie afin de se conformer aux obligations réglementaires (European Commission 2003).
Afin de refléter l'évolution des procédés de fin de vie, passant d'une mise en décharge systématique à des systèmes complexes de valorisation du produit, les éco-concepteurs ont enrichi les modèles existants. La conception pour le désassemblage, le recyclage et le remanufacturing - Df3R, apportent des solutions basées sur une évaluation préalable (Holt & Barnes 2010).

L'obligation pour les industriels de considérer la fin de vie dans leur processus de développement a aussi joué en faveur du développement de modèles plus précis sur les phases en aval de l'utilisation. En effet, le législateur a rendu responsable l'industriel des pollutions générées lors de l'abandon du produit par son acheteur (European Commission 2003).
La construction de ces modèles est aussi facilitée par le développement de filières économiques et industrielles de gestion de la fin de vie. En se professionnalisant, les acteurs de la fin de vie sont devenus des acteurs économiques générant des données de même ordre que celles de la fabrication.

1.4.2.3 Phase d'utilisation

En ce qui concerne la phase d'utilisation, la littérature propose peu de détails. La norme ISO 14062 découpe la phase d'utilisation en deux éléments : l'utilisation et la maintenance (ISO 2003).
Ce manque de spécifications de l'utilisation est lié à deux difficultés : la non-responsabilité du producteur sur cette phase de la vie du produit et les spécificités d'acteurs de l'utilisation (Sauer et al. 2002).

La responsabilité environnementale des industriels n'étant pas engagée sur la phase d'utilisation, cette responsabilité est transférée aux utilisateurs. Ce désengagement des industriels les a conduits à ne pas approfondir les modèles concernant cette phase. A l'exception de la maintenance, qui est souvent du ressort du producteur de biens, notamment pendant la garantie, l'utilisation est généralement du domaine de responsabilité du consommateur/utilisateur.

Les acteurs de l'utilisation, contrairement à ceux des autres phases, peuvent difficilement être réduits à des acteurs économiques. En effet, le comportement des utilisateurs aux produits n'est pas uniquement piloté par son coût d'acquisition et son coût de fonctionnement. Jackson (2005) montre que les modèles de comportement des consommateurs, et par extension des utilisateurs de produits, sont déterminés par une liste de critères qui n'est pas encore définitive, faute de modèle irréfutable. On peut citer parmi ces critères spécifiques à l'utilisation les habitudes ou les conditions sociales.

Malgré tout, l'influence de la conception dans la performance environnementale de la phase d'utilisation est aussi importante que pour les autres phases (Wenzel et al. 2000). Pour remédier à ce problème, de nouvelles réglementations remettent la performance environnementale de l'utilisation dans le champ de compétence des industriels. Du fait de la contribution importante de cette phase pour les équipements électriques et électroniques, la directive sur l'éco-conception des produits liés à l'énergie est la première à impliquer les industriels sur la phase d'utilisation en incitant à l'efficacité énergétique des produits (European Commission 2009). Des approches récentes de conception pour l'efficacité énergétique ont été développées (Domingo et al. 2011; Li et al. 2007). Le manque de méthodes DfX pour la phase d'utilisation est un reflet du manque de modèle pour cette phase.

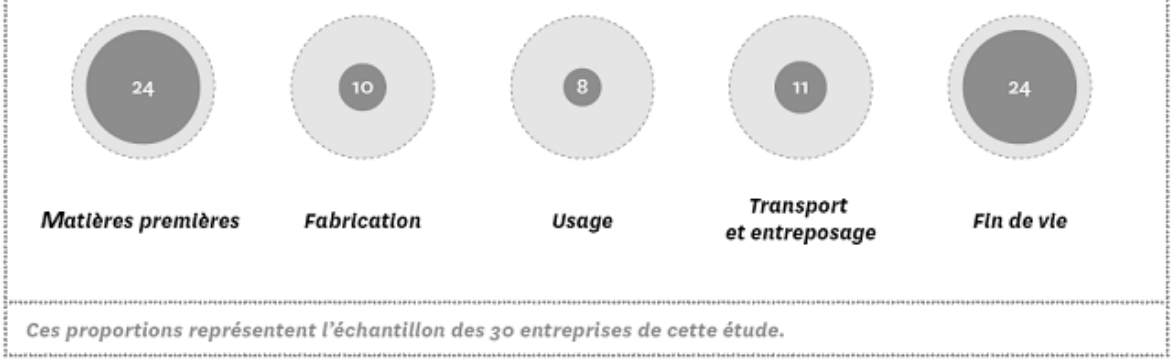
1.4.3 Performance environnementale des produits éco-conçus

PEC & IDP (2009) et Plouffe et al. (2011) ont étudié différentes démarches d'éco-conception en entreprise, au Québec et en France. Les bénéfices environnementaux ont été évalués en fonction de la phase du cycle de vie améliorée. Les gains environnementaux les plus importants ont été faits sur les phases d'extraction des matières premières ainsi que sur la fin de vie. En deuxième position, on

retrouve les phases de « transport et entreposage », appelées vente et livraison par l'ISO 14062 et de fabrication. La phase où ils enregistrent le moins de gains est la phase d'utilisation.
Cette étude souligne que certaines phases ont réussi à être intégrées en éco-conception mais qu'un effort supplémentaire est à faire pour les phases ou la démarche n'a pas été efficace. Elle montre, comme le paragraphe précédent, que la phase d'utilisation reste une des phases les plus difficiles à améliorer en éco-conception puisque seulement 8 entreprises sur les 24 ont réussi à faire baisser ses impacts.

Tableau 11 : Baisses d'impacts sur l'environnement

	Total	Québec	France
Matières premières	24	10	14
Fabrication	10	5	5
Usage	8	4	4
Transport et entreposage	11	2	9
Fin de vie	24	11	13



Ces proportions représentent l'échantillon des 30 entreprises de cette étude.

Figure 3 : Evaluation des améliorations faites grâce à l'éco-conception (PEC & IDP 2009)

Les approches visant à améliorer l'utilisation font aussi face à des difficultés de réalisation. Les spécialistes sont confrontés à la difficile mise en adéquation de préconisations en conception avec l'utilisation réelle finale du produit.
Dans certains cas, les solutions reposent uniquement sur le produit afin de lever les incertitudes liées à l'utilisateur. Le cas de la lampe Logidesk montre clairement que malgré un espace de solutions important (stratégies d'information, d'affordance…), les solutions mises en œuvre sont celles qui ne dépendent que du produit (capteurs de luminosité pour adapter la consommation d'énergie à l'environnement) (Schmalz & Boks 2010). Ces approches considèrent souvent l'utilisateur comme ayant des mauvaises habitudes à corriger et non comme une source potentiel d'amélioration (Schmalz & Boks 2010).
Dans d'autres cas, les modèles d'utilisation sont extrêmement éloignés de la réalité. C'est le cas pour les processus de normalisation des utilisations. Meier (1995) montre la volonté des concepteurs de réfrigérateurs de synthétiser des utilisations différentes dans un cas standard facile à mettre en œuvre en laboratoire. Le modèle de l'utilisation obtenu est complètement déconnecté d'une utilisation réelle et par conséquent les solutions d'amélioration le sont aussi. Dans le cas présenté par Meier (1995), le modèle d'utilisation du réfrigérateur est résumé par la consommation d'énergie sur un jour d'un produit, porte fermée, vide, avec une température extérieure de 34°C.
Enfin, d'autres modèles d'utilisation se montrent trop optimistes. Burgess & Hargreaves (2010) se sont intéressés à l'efficacité environnementale réelle de l'utilisation de compteurs d'énergie « intelligents » dans une famille. L'hypothèse de base était qu'en connaissant la consommation d'énergie de leur foyer, les familles allaient diminuer cette consommation. L'enquête faite après 2 ans d'installation montre que le compteur seul n'a pas aidé à diminuer la consommation d'énergie de façon significative.

Cette différence entre les modèles mis en œuvre au moment du développement du produit et la réalité de l'utilisation du produit peuvent expliquer le manque d'amélioration constaté sur la phase d'utilisation de ces produits.

Ces travaux de thèse s'inscrivent dans le cadre d'un projet de recherche visant à améliorer la performance environnementale des produits sur leur phase d'utilisation. Le projet de recherche EcoUse est un partenariat entre trois laboratoires de recherche :

- Le laboratoire G-SCOP - Grenoble Sciences pour la conception l'optimisation et la production - Université de Grenoble,
- Le LCPI - Laboratoire Conception Produits Innovation - Arts et Métiers Paritech,
- Le LISMMA - Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Mécaniques et des Matériaux - SupMéca Toulon.

Il est financé par :

- L'Agence Nationale de la recherche dans le cadre de l'appel à projet ECOTECH 2010 (1081C0212/ANR-10-ECOT-006-01),
- L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, finançant directement ces travaux par une bourse de thèse, dans le cadre de l'appel à candidature 2010 (ID 3195).

1.5 Conclusion et question de recherche

L'industrie a été identifiée comme un des responsables des déséquilibres des écosystèmes actuels. Après l'amélioration de ses processus de fabrication, elle s'est attelée à l'éco-conception, permettant l'amélioration des impacts environnementaux générés par des choix faits au moment de la conception de produit.
L'éco-conception permet d'améliorer de façon notable les impacts générés par la société de consommation. En modélisant les impacts environnementaux potentiels de la vie du produit, elle propose des alternatives de conception qui auront des conséquences moins néfastes sur les écosystèmes.
Cependant, toutes les étapes de la vie du produit ne bénéficient pas du même niveau de spécifications pour la conception. Le manque de détails de la phase d'utilisation du produit et la différence entre les modèles utilisés en conception et la réalité rendent difficile la proposition de moyens d'amélioration de son impact sur l'environnement.
Ce déficit d'intégration de la phase d'utilisation nous amène à nous poser la question de recherche suivante :

> Comment réduire la différence entre la modélisation de l'impact environnemental de l'utilisation et celui réellement occasionné lors de la phase d'utilisation du produit, afin de mieux piloter l'éco-conception de cette phase du cycle de vie ?

En introduisant un modèle de l'utilisation dynamique en relation avec le modèle de produit, nous pensons que la différence entre l'utilisation modélisée en conception et l'utilisation réelle du produit sera diminuée. En diminuant cette différence, les solutions d'éco-conception de la phase d'utilisation permettront de réduire de façon significative l'impact environnemental du produit.

Afin de répondre à cette question de recherche, nous nous proposons dans le chapitre 2 d'analyser la littérature existante sur les thématiques pouvant répondre à notre question de recherche. Dans un premier temps, nous établirons la liste des verrous au développement de modèle d'utilisation «réaliste». Dans un second temps, en analysant les propositions de domaines extérieurs à l'éco-conception ayant réussi l'intégration de l'utilisateur et de la phase d'utilisation en conception de produit, nous proposerons un cahier des charges pour notre méthodologie de conception.

Le chapitre 3 présentera notre proposition de méthodologie de conception et détaillera en quoi cette méthodologie lèvera les verrous identifiés au chapitre 2. Un nouveau modèle de l'utilisation sera proposé ainsi que la méthodologie de conception permettant de construire ce modèle conjointement au modèle de produit dans un processus de développement afin de diminuer l'impact environnemental sur le cycle de vie du produit.

Le chapitre 4 exposera un cas d'application de la méthodologie proposée au chapitre précédent. Il s'agira de montrer que dans une situation de conception réelle, l'application de la méthode proposée au chapitre 3 permet de répondre à la question de recherche. Une analyse détaillée de la levée des verrous identifiée au chapitre 2 sera faite sur ce cas d'étude.

Le chapitre 5 conclura cette thèse en présentant les apports et les limites de ces travaux. Les apports à l'évaluation environnementale ainsi qu'aux méthodes d'éco-conception seront présentés. Les limites de cette méthode, dans le cas notamment de produits à long durée de vie ou à faible impact en utilisation, seront discutées. Les perspectives de développement concluront ce manuscrit.

Chapitre 2 Modèles de l'utilisation : les apports de la littérature

2.1 Difficulté de développement de modèles « réalistes » de l'utilisation

2.1.1 Les temps du produit : conception et vie

2.1.1.1 Conception et cycle de vie

Concevoir est par essence une activité de projection. Il s'agit de projeter ce qui arrivera une fois que l'idée d'un produit sera devenue un produit afin que ce dernier puisse être viable économiquement, environnementalement ou socialement.
Le processus de conception suit l'évolution d'un modèle du produit grâce aux activités des concepteurs sur ce dernier. Un modèle est une représentation simplifiée de ce qu'il représente. Dans le cas du processus de conception, un modèle de produit peut être défini notamment comme une représentation multi-vue dépendant des métiers qui interviendront sur le produit durant son cycle de vie (Brissaud et Tichkiewitch 2001)
L'intégration de certaines phases du cycle de vie du produit en conception et des métiers associés a pu se faire grâce à la projection des paramètres du modèle de produit. La réussite des méthodes de DfA - Conception pour l'assemblage ou de DfM - Conception pour la fabrication est le résultat d'un travail de collaboration entre les acteurs de la conception et ceux de l'assemblage et de la fabrication (Ettlie 1997). Cette intégration a permis de réduire la complexité des produits, les étapes d'assemblage et donc les coûts de production mais aussi d'augmenter la qualité et de diminuer les délais de mise sur le marché (Boothroyd et Alting 1992).

Pour assurer la viabilité environnementale d'un produit, c'est le cycle de vie du produit complet qu'il faut projeter, au-delà des phases de fabrication. Le développement d'un modèle de cycle de vie est d'autant plus difficile que la durée de vie de produit sera longue (Höjer et al. 2008). Les phases de fin de vie sont particulièrement sujettes à ces difficultés car il faut envisager ce qu'il se passera d'ici cinq à quinze ans, voire plus pour des produits comme les infrastructures lourdes, par exemple les routes ou les moyens de production d'énergie.
Les méthodes de conception pour la fin de vie- Conception pour la réutilisation, le remanufacturing, le recyclage- intègrent dans leur projection des hypothèses quant à l'état des infrastructures de tri quand le produit arrivera en fin de vie (Mathieux 2002). Ces hypothèses portent notamment sur : la législation, l'environnement, la technologie, les économies d'échelle et le marché des matières premières (Boks et Stevels 2001). Ces hypothèses peuvent être combinées entre elles afin de proposer des scénarios de fin de vie différents avec des perspectives négatives ou positives sur les systèmes qui supporteront la fin de vie.
La phase d'utilisation s'expose aux mêmes difficultés de projection que celle de la fin de vie et particulièrement pour les produits avec une utilisation longue. La plupart des analyses de cycle de vie de produits se basent sur des systèmes d'aujourd'hui. Or ces hypothèses faites à partir de systèmes d'aujourd'hui ne resteront pas stables dans le temps et ne seront pas valables pour le futur. Tähkämö et al. (2013), dans leur ACV de luminaires à LED, modélisent l'utilisation par une consommation d'énergie constante sur toute la durée d'utilisation et un changement de certaines diodes qui seraient défaillantes. Aucun ajustement n'est fait pour représenter une baisse de l'efficacité énergétique due à l'usure des composants ou un changement dans le mix énergétique. González-García et al. (2013), dans l'ACV du yaourt, prennent en compte pendant l'utilisation des données de perte de yaourt périmé chez l'utilisateur à partir de statistiques datant de 2008.
Si certaines hypothèses peuvent être validées pour des produits à durée de vie courte, elles semblent plus hasardeuses pour des produits à longue durée de vie.

Le succès de l'intégration des phases d'assemblage et de fabrication en conception montre qu'il est possible de projeter une partie du cycle de vie à partir du modèle de produit. Cependant, comme le

montre la conception pour la fin de vie, l'intégration de phases plus lointaines dans le temps peut complexifier le travail prospectif. En établissant une liste des paramètres qui évolueront dans le temps, le concepteur peut cependant établir différentes projections, scénarios sur le futur cycle de vie du produit.

2.1.1.2 Conception et pratiques sociales

L'intégration des pratiques sociales, ou des usages dans la conception des produits est un point clé pour leur réussite (Veryzer et Borja de Mozota 2005).
Ces pratiques sociales sont l'objet d'études de certaines branches des sciences humaines et sociales. La relation entre un produit et un individu est étudiée par la psychologie ou l'ergonomie et la relation entre un produit et un groupe d'individu par l'ethnographie ou la sociologie (Simon et al. 2003).
Simon et al. (2003) montrent cependant que les outils mis en œuvre dans ces disciplines sont incompatibles avec les activités de conception. La raison principale est que ces approches se basent sur l'analyse de la relation entre un individu ou des individus avec un produit existant. L'ergonomie est la discipline la plus liée à la conception puisqu'elle intervient sur les produits eux même pour en améliorer l'utilisabilité. Or le diagnostic ergonomique ne peut se faire qu'en observant l'interaction entre produit et utilisateur lors de l'utilisation.
Une deuxième raison est la nature des données et des analyses faites à partir des outils des sciences humaines sociales. « Le recueil de données utilisateurs prend un temps trop important en vue de leur intégration dans le processus de conception » (Simon et al. 2003) et les concepteurs attendent des « conseils opérationnels » (Simon et al. 2003). De plus, les études des sciences humaines et sociales, à l'exception de l'ergonomie, n'ont aucune ambition prescriptive. Il s'agit essentiellement d'établir un constat sur la relation entre un individu ou un groupe avec un produit. Il faut donc que les concepteurs s'approprient cette description pour la transformer en prescription d'amélioration du produit.
Button (2000) montre que la conception s'est approprié les outils des sciences sociales pour améliorer les produits. Les « ethnométhodologies », comme Button les nomme, sont une appropriation des méthodes de l'ethnographie afin d'alimenter les processus de conception. Le contexte d'utilisation du nouveau produit est étudié via des observations du terrain de cette utilisation, il s'agit d'étudier le cadre social que le produit viendra modifier afin que cette modification se fasse sans opposition des individus. Cette approche par l'observation est assez similaire à l'approche ergonomique à ceci près que le produit n'est pas présent et par conséquent l'analyse de l'interaction produit/utilisateur ne peut avoir lieu directement.

Un autre point de vue peut être adopté : celui de la conception par les usages. En analysant les pratiques d'aujourd'hui et les objets mis en œuvre par les individus dans leur quotidien, les concepteurs vont proposer des objets ou des services supplémentaires qui amélioreront ou enrichiront ces pratiques (Akrich 1993).
Cependant, les comportements sociaux restent difficiles à anticiper. Malgré une analyse fine des pratiques actuelles et de leur amélioration potentielle par des produits ou des services, il se peut que le groupe social visé ne réagisse pas aux nouvelles propositions des concepteurs.

Les disciplines étudiant les pratiques sociales ont des temps d'analyse beaucoup plus long que les temps de conception de produit. Ces temps d'analyse sont longs car l'établissement de pratiques sociales stables est un processus long par nature. Cependant, certains outils et certaines analyses a priori des pratiques sociales liées au produit ont servi à leur conception. Il est donc possible de faire des projections à partir de l'existant pour considérer les pratiques sociales en conception.

2.1.2 Variabilité de la conception produit et des utilisations

2.1.2.1 Evolution des représentations de produit en conception

Les représentations du produit évoluent au cours du processus de conception allant d'une vue globale à une vue détaillée du modèle de produit (Pahl et al. 2007). Ces évolutions de représentation de l'objet produit ont une influence sur la vue du produit par chaque métier de la conception, c'est-à-dire sur le modèle de produit.

Par exemple, le choix de la couleur jaune par les designers pour le produit aura des conséquences sur son processus de fabrication. Le détail de cette couleur en formulation chimique des additifs est une évolution du modèle de produit de la fabrication et du design afin que les deux métiers trouvent un accord.

Cet exemple est aussi valable pour l'intégration du cycle de vie en conception. Afin d'obtenir la meilleure performance environnementale, des hypothèses sur sa forme future doivent être faites à tout moment de la conception et le plus tôt possible (Jeswiet et Hauschild 2005).

En se basant sur la forme du produit à ce moment de la conception, des «prédictions raisonnables», comme le proposent Jeswiet et Hauschild (2005), doivent être faites quant au cycle de vie. Le modèle de cycle de vie peut être considéré comme la vue produit de l'expert environnement. Il lui servira à interagir avec les autres métiers et les autres vues du modèle de produit.

La forme du produit variant au cours de la conception, le modèle du cycle de vie doit être capable de supporter une telle variabilité. L'exemple de l'application de l'analyse de cycle de vie en conception montre que cette tâche est difficile lorsque les modèles de produit sont partiels et peu détaillés (Millet et al. 2007). Cependant, un cycle de vie peu détaillé peut permettre à l'expert environnement, qui a les connaissances nécessaires à l'interprétation de cette vue, de faire des recommandations sur les autres vues des métiers de la conception.

Il est possible de lier la représentation du produit en conception sous toutes ses formes (cahier des charges, croquis, modèle 3D, prototype…) - vue du métier concepteur du produit- aux autres vues métiers du modèle de produit. La variabilité des formes du produit au cours de la conception doit aussi se retrouver dans les autres vues métiers et notamment dans la vue cycle de vie.

2.1.2.2 Variabilité en utilisation

Une même conception de produit peut être utilisée dans des situations très différentes. Ces différences de situation peuvent être liées au lieu d'utilisation et aux individus qui l'utilisent. Cette variabilité a une influence significative sur les performances environnementales du produit, indépendamment des problématiques de temporalité.

Le lieu d'utilisation peut avoir une influence à plusieurs niveaux : les impacts environnementaux, les infrastructures supportant les produits et la culture des utilisateurs.

Plusieurs indicateurs d'impacts environnementaux sont dits locaux. C'est-à-dire que leurs facteurs de caractérisation dépendent de l'endroit où l'émission a eu lieu. L'impact acidification des sols, par exemple, dépend notamment de la charge maximale que peuvent supporter les sols recevant les émissions acides (Civit, Arena, et Allende 2012). Les recherches récentes en analyse de cycle de vie proposent des solutions afin de localiser les émissions pour mieux caractériser les impacts environnementaux du cycle de vie de produit (Beloin-Saint-Pierre et Blanc 2011). Ce ne sont pas les uniques sources de variations géographiques dans les évaluations environnementales : les données de modélisation du cycle de vie doivent aussi être représentatives du lieu modélisé (Mutel et Hellweg 2009). Ainsi les réseaux de provision d'électricité, les systèmes de transport, les lois, les systèmes de gestion en fin de vie des produits sont différents d'un territoire à l'autre. La dimension de ce territoire peut varier de la région, au km² en allant jusqu'au pays. La dimension du territoire peut être définie en fonction des objectifs de l'étude et surtout des variations sur le territoire étudié (Beloin-Saint-Pierre et Blanc 2011).

Un autre facteur ayant un impact sur l'évaluation environnementale est la culture. En effet, l'enquête GOES -GlObal Environmental Survey- a montré que les problématiques environnementales d'importance pour la société civile varient d'un pays à l'autre du fait : des activités polluantes dans le pays et des infrastructures locales liées à l'environnement (Ester et al. 2003). Pour Ellen (2001), « la culture est un régulateur des systèmes dont les humains font partie » et donc le système « écosystèmes naturels proches » est régulé par des éléments de la culture locale. Le lien entre culture et environnement se retrouve notamment dans les pratiques d'achats durables et par extension dans les comportements d'utilisation des produits (Ester et al. 2003; Portilho 2004).

Ce qui nous amène à un autre élément de l'utilisation qui est influencé par la culture : les pratiques d'utilisation des produits. Plusieurs études interculturelles ont montré que l'utilisation et l'adhésion à un même produit varie selon la population qui l'utilise (Boztepe 2007; Lee et al. 2010; Shove 2003). En utilisant l'approche ethnographique, Boztepe (2007) a montré des utilisations significativement différentes des produits électroménagers entre la Turquie et les Etats-Unis. Ces différences sont telles que la conception des produits pour les deux marchés devraient être distinctes. Sur un réfrigérateur, on peut relever des différences de contenu (nourriture faite maison dans des boites en plastique pour la Turquie, plats préparés dans des boites en carton pour les Etats-Unis) ou de la valeur affective du produit pour la famille l'utilisant.

La culture peut s'envisager à différentes échelles. Un premier niveau est celui de la civilisation ou de la nation. La culture représente ici l'ensemble des aspects intellectuels propres à une nation. Le deuxième niveau s'applique aux sociétés humaines avec des frontières entre cultures plus difficiles à établir. Ici la culture d'une société humaine comprend l'ensemble des formes acquises de comportements (Robert, Rey-Debove, et Rey 2013). Dans la suite du manuscrit, la culture sera définie au niveau national.

En plus de ses variations entre groupes d'individus liés à une culture, une autre source de variations dans l'utilisation des produits se trouve au niveau des individus : il y a autant d'utilisations possibles d'une conception de produit que d'utilisateurs de cette même conception de produit. Afin de limiter cette variabilité des individus, l'hypothèse des cinq personnes a été souvent utilisée pour simplifier la conception de produit (Caulton 2001). Il s'agit de dire que cinq individus sont capables d'identifier 90% des problèmes lors de l'utilisation des produits. Caulton (2001) réfute cette supposition en limitant son efficacité à la condition que ces cinq personnes soient représentatives de tous les individus qui pourront utiliser ce produit. Cette notion de représentativité est centrale dans l'intégration de l'utilisation dans la conception de produit.

Chaque utilisateur aura une utilisation spécifique d'une même conception de produit, il faut donc trouver des moyens de cadrer cette variabilité de l'utilisation. Ces variations peuvent être liées notamment : au lieu d'utilisation, à la culture locale associée au produit et aux variables individuelles des utilisateurs. Une méthode de conception voulant intégrer l'utilisation doit pouvoir maîtriser cette variabilité pour développer un produit conforme à son utilisation.

2.1.3 Supporter les activités de conception

2.1.3.1 Processus de conception

Afin de rationaliser les activités de développement produit, des processus formels ont été proposés par les experts. Pahl et al. (2007) proposent, dans leur méthode « Engineering design », de séparer les activités de conception en cinq étapes pour passer d'une idée de produit à un produit en fin de chaîne de production -Figure 4 (a). La méthode d'éco-conception proposée par l'ISO 14062 est assez similaire à cette proposition. Des auteurs tels que (Ulrich et Eppinger 2004) ont proposé d'autres formalisations du processus de conception mais les propositions restent assez similaires : elles passent par un processus de formalisation des attendus par rapport au futur produit, aux concepts

de réalisation de cette idée, au détail de ces concepts en caractéristiques et dimensionnement produits pour finir par une étape de production du produit.
Ces approches sont très fréquemment implémentées dans les projets de conception incrémentale, appelés aussi re-conception. Ces projets visent à développer un nouveau produit en se basant sur un produit déjà conçu par l'entreprise. Pour Eppinger et al. (1994), c'est le cas de la majorité des projets de conception, que l'on nommera par la suite conception classique.
Pour une minorité de projets, on peut parler d'innovation. Dans ce cas, la rigueur des processus proposés ci-dessus n'est pas propice à l'émergence d'un produit qui sera nouveau, soit par sa technologie, soit par sa relation à l'utilisateur. Veryzer (1998) a formalisé, à partir de cas d'études, les conditions de l'émergence d'une innovation en entreprise -Figure 4 (b).

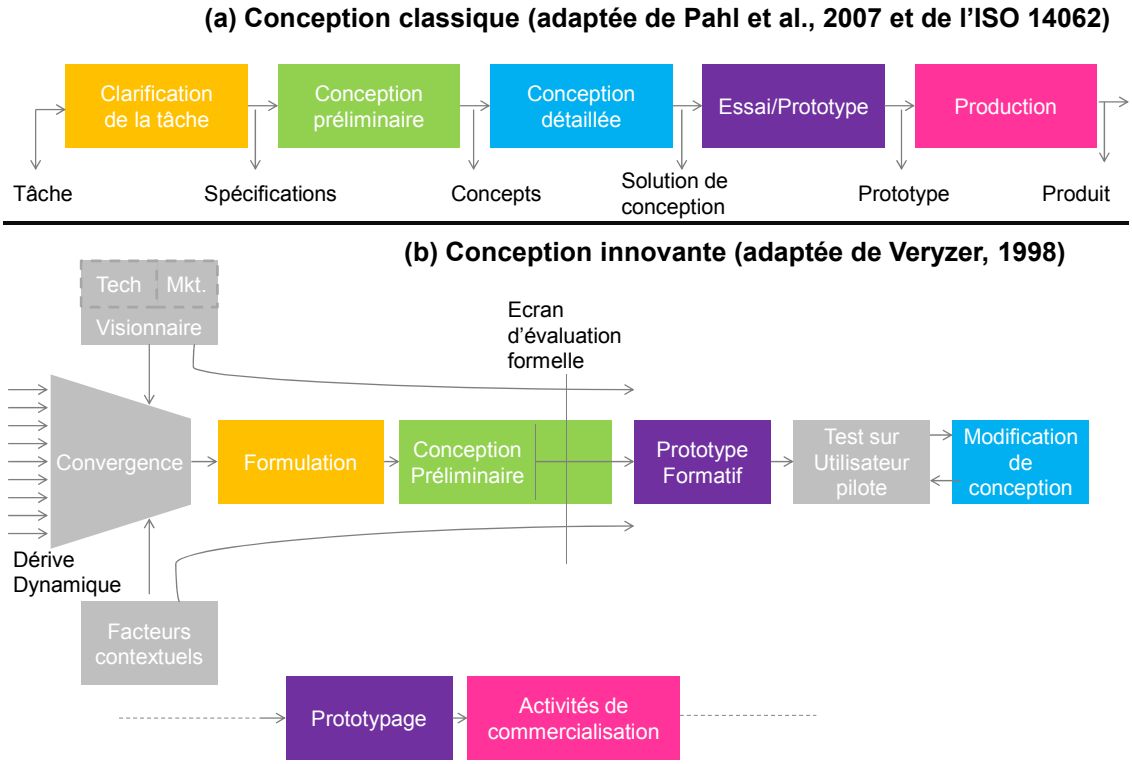


Figure 4 : Comparaison des processus de conception incrémentale et de conception innovante de (a) Pahl et al (2007) et (b) Veryzer (1998)

Les étapes de même couleur dans les deux processus sont composées d'activités similaires.

La Figure 4 met en lumière que les deux processus (conception classique et conception innovante) ont des étapes similaires mais que l'ordre de ces étapes est différent ainsi que les raisons du lancement d'un nouveau projet.
Un projet de re-conception de produit est lancé lorsqu'il y a une divergence entre les objectifs fixés par l'entreprise par rapport au produit sur le marché actuellement. Plus généralement pour le lancement d'un projet de conception classique, le lancement se fait par la volonté d'acquérir un nouveau marché, de se maintenir sur un marché existant ou de diversifier son offre de produit. Il s'agit de combler un vide.
Pour la conception innovante, c'est une combinaison des facteurs suivants qui vont lancer un nouveau projet : une vision nouvelle proposée soit par le marketing soit par la recherche et développement dans un environnement propice (facteurs contextuels) à l'émergence de nouveauté.
Une autre différence majeure est le besoin d'avoir un prototype au plus tôt pour la conception innovante. Cet avancement de la phase de prototypage permet d'évaluer auprès des utilisateurs la

validité de la nouvelle proposition de produit avant d'investir du temps et de l'argent dans le détail de la conception du produit (conception détaillée).

Pour améliorer l'impact des produits sur l'environnement, ie. éco-concevoir, Brezet (1998) propose de mettre en œuvre la conception classique ou la conception innovante - Figure 5- consécutivement afin d'augmenter le « facteur d'amélioration environnemental » par un facteur quatre. Pour atteindre un facteur 32, il faudra passer par des transformations au-delà des produits en impliquant la société dans le développement de nouvelles formes de consommation associées au produit, nommé Société durable.

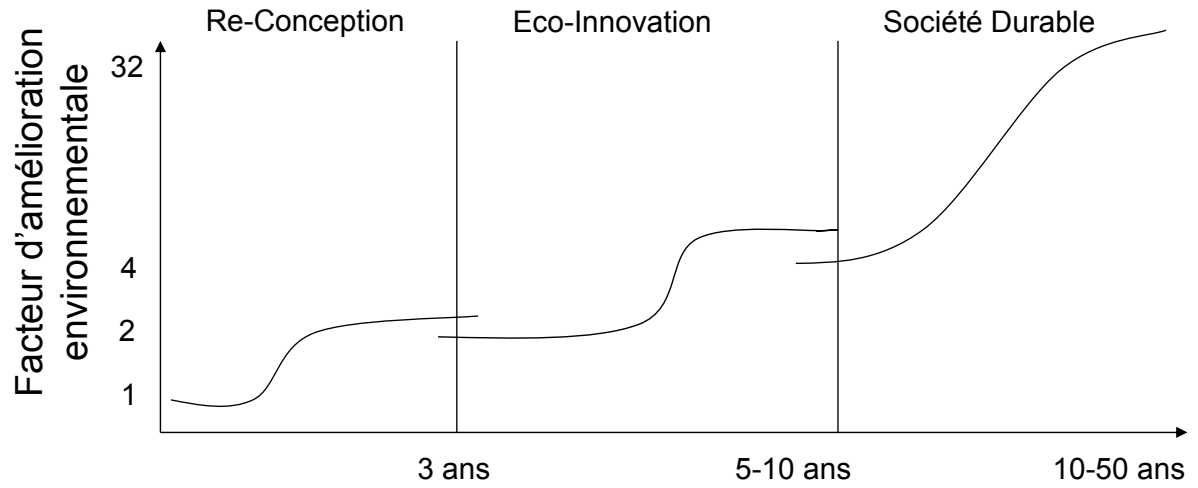


Figure 5 : Processus à mettre en œuvre pour améliorer l'impact environnemental des produits (Brezet 1998)

Aujourd'hui, il semble que le processus soit moins linéaire et que la re-conception, l'éco-innovation et la société durable cohabitent en même temps sur différents types de produit. Par exemple, dans le secteur de la mobilité, le secteur automobile fait à la fois de la re-conception des véhicules thermiques en améliorant les véhicules existants, de l'éco-innovation en produisant des voitures électriques et de la société durable en proposant des offres d'auto-partage.

Malgré tout, les formalismes proposés pour la conception classique ou innovante doivent pouvoir intégrer une certaine flexibilité pour s'adapter à chaque contexte industriel. En étudiant les processus de conception de deux entreprises du secteur électrique et électronique, le projet Synergico a montré que les grands traits des processus formalisés notamment par Pahl et al. (2007) étaient validés mais que ces derniers étaient adaptés à chaque contexte industriel (Evrard, Mathieux, et Domingo 2010).

Dans le développement d'une méthode de conception, il faut donc prendre en compte, à la fois des formalismes existants, tout en y laissant des possibilités d'adaptation à des contextes différents. L'éco-conception peut se mettre en place via des processus de conception classiques et des processus d'éco-innovation.

2.1.3.2 Acteurs de la conception

A la question « qui conçoit et développe des produits », Ulrich et Eppinger (2004) proposent de séparer les acteurs de la conception en trois catégories : Marketing, Conception et Fabrication.
Le marketing a pour mission de faire le lien entre l'entreprise et le client final. La conception définit la forme du produit qui remplira les besoins du client. La fabrication quant à elle dimensionnera la chaîne de production du bien à partir des spécifications de la conception.

En s'intéressant plus particulièrement à la catégorie conception, une distinction peut être faite entre les designers (industrial design) et les concepteurs (engineering design) (Ulrich et Eppinger 2004).
Les premiers vont s'intéresser aux besoins esthétiques, ergonomiques et d'interfaces des clients et les seconds vont s'intéresser au dimensionnement des systèmes mécaniques, électroniques, logiciels…

En éco-conception, ce sont les mêmes acteurs qui interviennent avec le support d'un expert environnement (Millet et al. 2007).
Plusieurs propositions ont été faites pour impliquer les acteurs classiques de la conception dans les processus d'éco-conception. Dans un premier temps, l'éco-conception a surtout sollicité les concepteurs car les méthodes s'orientaient essentiellement sur une augmentation de l'efficacité environnementale des systèmes physiques en soi (Lofthouse 2004). Aujourd'hui, les designers et les concepteurs sont sollicités dans les processus d'éco-conception, notamment pour passer d'une dynamique de re-conception (amélioration continue) à une dynamique d'éco-innovation (nouvelle proposition de forme de produit).
L'expert environnement quant à lui est un acteur essentiel de l'éco-conception. Son rôle consiste à la fois à évaluer l'impact environnemental du produit en cours de développement et à proposer des solutions et des stratégies d'amélioration de cet impact (Vallet et al. 2013).
L'expert environnement interagit avec la conception selon un axe global/local (Rio 2012) :

- La conception apporte la vision locale du projet, c'est-à-dire l'état du processus de conception du produit.
- L'expert environnement apporte la vision globale c'est-à-dire l'état de la conception du produit par rapport à l'enjeu environnemental global pour l'entreprise, par exemple les objectifs en terme de diminution des impacts environnementaux.

On peut séparer les acteurs de l'éco-conception en deux groupes : un groupe global (marketing et expert environnement) qui valident la conformité du processus de conception à la vision de l'entreprise et un groupe local (conception et fabrication) qui valident la conformité du produit à la vision du processus de conception.
Chaque acteur est supporté dans son activité par des outils avec des spécificités différentes en fonction de l'expertise dont il a la charge.

2.1.3.3 Supporter les acteurs de la conception

Une méthode de conception doit supporter les acteurs de la conception pour faire avancer le processus de développement de produit en introduisant notamment des nouveaux outils. Blessing et Chakrabarti (2009) proposent un cadre méthodologique afin de s'assurer que les outils et méthodes de conception atteignent bien les objectifs initiaux de la méthode : la DRM- méthodologie de recherche en conception. Afin de s'assurer de l'adéquation des outils à développer et développés, une étude descriptive du cadre d'utilisation des outils doit être menée avant et après l'implémentation de ces outils.
Un certain nombre d'auteurs ont étudié l'utilisation, ou la non-utilisation, d'outils et de méthode lors des processus de conception et particulièrement des outils d'éco-conception.
Lindahl (2006) a établi une liste de contraintes auxquelles un outil d'éco-conception doit se confronter pour réellement supporter les activités des concepteurs et non les surcharger de travail. Il note que la facilité d'utilisation, de compréhension des principes sous-jacents à l'outil et un temps de formation court sont primordiaux pour qu'un outil soit efficace. Même si les outils sont souvent utilisés pour faciliter la communication entre acteurs, ils ne doivent pas nécessiter beaucoup de coopération entre eux : une personne seule doit pouvoir utiliser l'outil.
Un outil doit aussi proposer des directions plus que des résultats. Cette assertion est validée par les travaux de (Lofthouse 2004) sur les designers. Pour faciliter leurs activités, les designers sont plus sensibles à des outils fournissant des illustrations, des exemples, des concepts généraux que des données chiffrées sur le produit.

Lindahl (2006) et Lofthouse (2004) s'accordent sur le fait que les outils proposés aux différents acteurs doivent être de même nature que les outils qu'ils utilisent en dehors de l'éco-conception afin de limiter le temps de formation à l'outil et de l'intégrer plus facilement au quotidien.
Pour chaque phase du processus, les outils doivent s'adapter à l'objet sur lequel travaillent les concepteurs. En conception préliminaire, les outils doivent être applicables sur des objets de type croquis, maquette ou dessin. En conception détaillée, les outils doivent permettre des applications sur des dessins techniques, des modèles CAO, ou des maquettes 3D (Lofthouse 2004).

Un facteur de succès pour une méthode de conception et les outils associés est son adéquation avec les méthodes et les outils déjà utilisés dans le cadre industriel. Une méthode ou des outils de conception doivent faciliter le travail des acteurs de la conception, en intégrant les contraintes du processus de développement produit.

2.1.4 Verrous à lever pour un modèle « réaliste » de l'utilisation

Pour répondre à notre question de recherche sur le développement d'un modèle d'utilisation « réaliste » pour l'éco-conception, il nous faudra répondre aux difficultés associées à l'exercice de modélisation du comportement des utilisateurs et aux activités de conception.
Ces difficultés sont résumées dans les verrous suivants, que devra lever notre proposition méthodologique (chapitre 3) :

- Temporalité : Modéliser est une activité de projection. Il faut évaluer les conséquences futures des décisions prises aujourd'hui sur l'impact environnemental de l'utilisation future du produit.
- Variabilité : L'utilisation d'une même conception de produit est différente pour chaque unité mise sur le marché. Cependant, il est impossible de concevoir un produit pour une personne dans une optique de production de masse. Il faudra donc trouver un moyen de rassembler les utilisations sous des traits communs.
- Conception : Les activités de conception sont des processus en partie normalisés, reposant sur les savoirs et savoir-faires de ces acteurs. La méthode proposée devra être en conformité avec les spécificités d'un processus de conception générique et de ses acteurs.

2.2 Apport de la littérature à la levée des verrous

2.2.1 Utilisation : Utilisateur, Contexte et Interactions

L'intégration de l'utilisation en conception a été identifiée comme un facteur de succès de produit une fois mis sur le marché. Des domaines tels que la conception centrée utilisateur -UCD, la conception de logiciels centrée sur l'humain ou la conception participative ont comme point commun la présence de l'utilisateur et de l'utilisation du produit comme paramètre ou contrainte de conception.
La conception centrée utilisateur, définie par exemple dans l'ISO 9241-210:2010 (ISO 2011), se base sur une implication active des utilisateurs dans les activités de conception afin de dimensionner un système adapté aux spécificités de l'utilisateur.
Dans le cas de la conception de logiciel centré sur l'humain (Maguire 2001a), il s'agit de vérifier l'adéquation de la logique du produit avec les capacités de l'utilisateur, c'est-à-dire de l'humain.
La conception participative (Schuler et Namioka 1993) vise à faire intervenir directement l'utilisateur dans les processus de conception. Sa représentation n'est plus déléguée à un tiers mais c'est un utilisateur qui viendra représenter ses pairs dans la conception.
Colle, Delarue, et Hoppenot (2007) proposent de classifier les approches de conception considérant l'utilisation en trois catégories :

- La conception centrée utilisateur, se basant sur la conception traditionnelle (Pahl et al. 2007) et intégrant l'utilisateur en tant que nouvelle variable de conception,
- La conception participative, où l'utilisateur est acteur du processus de conception,

- La conception par l'usage, où les besoins sont identifiés en observant l'usage réel et détourné des produits dans la vie quotidienne afin de créer des produits adaptés.

Redström (2006) précise qu'un utilisateur en conception est une création des concepteurs. En effet le produit n'existant pas, l'utilisateur n'existe pas non plus. Il existe cependant des personnes qui utiliseront potentiellement le produit ou des « utilisateurs imaginaires ». On peut donc considérer que toutes ses approches se basent sur des modèles de l'utilisation.
Certaines approches limitent l'utilisation aux acteurs de l'utilisation, les utilisateurs, mais d'autres approches élargissent le cadre de l'utilisation au contexte, d'autres ajoutent un modèle des actions ayant lieu entre le produit et l'utilisateur. Nous verrons dans les paragraphes suivants quelles formes peuvent prendre ces modèles des utilisations futures du produit.

2.2.1.1 Modèle de l'utilisateur

Un modèle d'utilisateur est une représentation de l'utilisateur qui sera utilisée dans le processus de conception. Ce terme regroupe plusieurs approches qui divergent par le support et par les paramètres qui définissent l'utilisateur.
Il peut servir à représenter l'utilisateur en lieu et place de ce dernier ou à sélectionner les utilisateurs « types » qui représenteront tous les utilisateurs potentiels du produit (Maguire, 2001b). Pour représenter les utilisateurs dans les processus de conception, deux grandes familles de représentations sont utilisées : les personas et les agents.

Les personas sont des représentations des utilisateurs dans les processus de conception en lieu et place d'un utilisateur réel. Ils servent d'objets intermédiaires pour éclairer les exigences des utilisateurs et à partager une image de l'espace et des personnes qui entoureront le produit (Arikoglu 2011; A. Cooper 2004).
Un persona représente un groupe d'utilisateurs ayant un certain nombre de caractéristiques communes. Ce type de modèle personnifie un groupe en un individu fictif avec une identité spécifique : un âge, un genre, un nom, un prénom et même une photographie d'identité (Pruitt et Adlin 2006). Même si les personas sont souvent des représentations stéréotypées des utilisateurs futurs, ils permettent de focaliser les discussions de conception sur des personnages réalistes (Blomquist et Arvola 2002).
A minima, un persona doit être décrit en terme de : besoins, d'objectifs par rapport au produit, de comportements, de genre, de nom, de relation hiérarchique et de rôle dans le contexte d'utilisation.

La conception orientée agent peut être vu comme l'évolution du persona de la version papier vers un support informatique. Il s'agit de modéliser le comportement d'utilisation sous la forme d'un avatar qui évoluera dans un environnement virtuel et qui répondra aux simulations de cet environnement (Sierhuis, Clancey, et Hoof 2009).
Un agent est une représentation de l'utilisateur qui est décrit en termes d'antécédents, d'appartenance à un groupe social, d'attributs, de cadre de pensées, de capacités de communication, de comportements cognitifs, de croyances, d'émotions, d'expériences, d'intentions, de psychologie et de trait de caractère. Tous ces paramètres permettent de simuler le comportement de différents agents lorsqu'ils sont en contact entre eux ou avec un environnement extérieur.

D'autres méthodes proposent des listes de paramètres utilisateur à identifier que l'on peut assimiler à des modèles. On peut notamment citer la norme ergonomique ISO 9241-210 (ISO 2011) qui fait référence en terme de conception centrée utilisateur.
Le Tableau 1 reprend une liste exhaustive des paramètres des modèles utilisateurs persona et agent ainsi que ceux proposés par l'ISO 9241-210.

Tableau 1 : Liste des paramètres utilisateurs pour la conception orientée agent, l'ISO 9241-210 et les personas

Conception orientée agent	**ISO 9241-210**	**Personas**
Antécédents	Aptitudes	Besoins
Appartenance à un groupe social	Caractéristiques physiques	Comportements
Attributs	Compétences	Nom
Cadre de pensées	Connaissances	Relations hiérarchiques
Capacités de communication	Education	**Rôle tenu (maintenance…)**
Comportement cognitif	Habitudes	
Croyances et faits	Préférences	
Emotion	**Rôle tenu (maintenance…)**	
Intentions		
Psychologie		
Traits de caractère		

Un modèle de l'utilisateur permet de représenter des individus qui pourront potentiellement entrer en contact avec le produit en cours de développement. Il s'agit de définir des personnages avec leur identité propre indépendamment du produit. Le support des modèles peut être différent mais le concept reste le même : ordonner des informations concernant les utilisateurs afin d'avoir un document de référence concernant les individus qui pourront se servir du produit.

2.2.1.2 Modèle couplé contexte et utilisateur

D'autres modèles se proposent de passer de l'utilisateur au contexte d'utilisation du produit. Ces modèles se focalisent à la fois sur les individus qui utiliseront le produit et sur les systèmes qui seront en contact avec le produit et les individus lors de la phase d'utilisation. Nous les appellerons modèles de contexte plutôt que d'environnement pour éviter la confusion (Maguire 2001b).

L'élargissement des modèles d'utilisateur aux modèles de contexte vient du constat que les comportements des utilisateurs ne sont pas uniquement déterminés par les caractéristiques des individus mais aussi par des facteurs environnementaux (ISO 2011).
Pour Maguire (2001b), le contexte comprend, en plus de l'utilisateur : les conditions ambiantes (température, pression…), l'attitude et la culture de l'organisation, les autres équipements (logiciels et matériels)…
Pour l' ISO (2011), le contexte, nommé environnement, doit comprendre : les conditions ambiantes, l'organisation de l'espace où sera utilisé le produit et les facteurs sociaux-culturels.
Le Tableau 2 fait une liste exhaustive des paramètres du contexte des modèles évoqués précédemment.

Tableau 2 : Paramètres du modèle de contexte pour l'ISO 9241-210 et le contexte de Maguire

Contexte de Maguire	**ISO 9241-210**
Atmosphérique	**Eléments logiciels = Software**
Attitude et Culture de l'organisation	Juridique
Auditif	Physique
Autres équipements	Socioculturel
Conception du travail	Technique
Eléments logiciels = Software	
Espace de travail	
Instabilité environnementale	
Matériel de référence	
Organisationnel	
Sécurité de l'espace de travail	
Structure organisationnel	
Thermique	
Visuel	

Le choix des paramètres des modèles dépend de leur fonction dans le processus de conception. Pour répondre à notre problématique de recherche, le modèle couplé utilisateur et contexte doit inventorier tous les paramètres qui pourront influencer l'éco-conception du produit. Pour réaliser cet inventaire, il faut prendre en compte à la fois les paramètres influençant les comportements utilisateurs et ceux influençant leur vision des problématiques environnementales.
L'objet d'étude de la psychologie environnementale est à la confluence de ces deux éléments. Elle étudie les comportements dits pro-environnementaux, c'est-à-dire les comportements qui ont une influence positive sur l'impact environnemental des activités humaines.
L'étude de Tim Jackson sur comment motiver la consommation durable propose un inventaire des propositions dans ce domaine (Jackson 2005). Des différentes approches proposées par les experts, la proposition de Triandis est celle qui montre la corrélation la plus forte entre le modèle proposé et les comportements exprimés par les personnes - Figure 6.

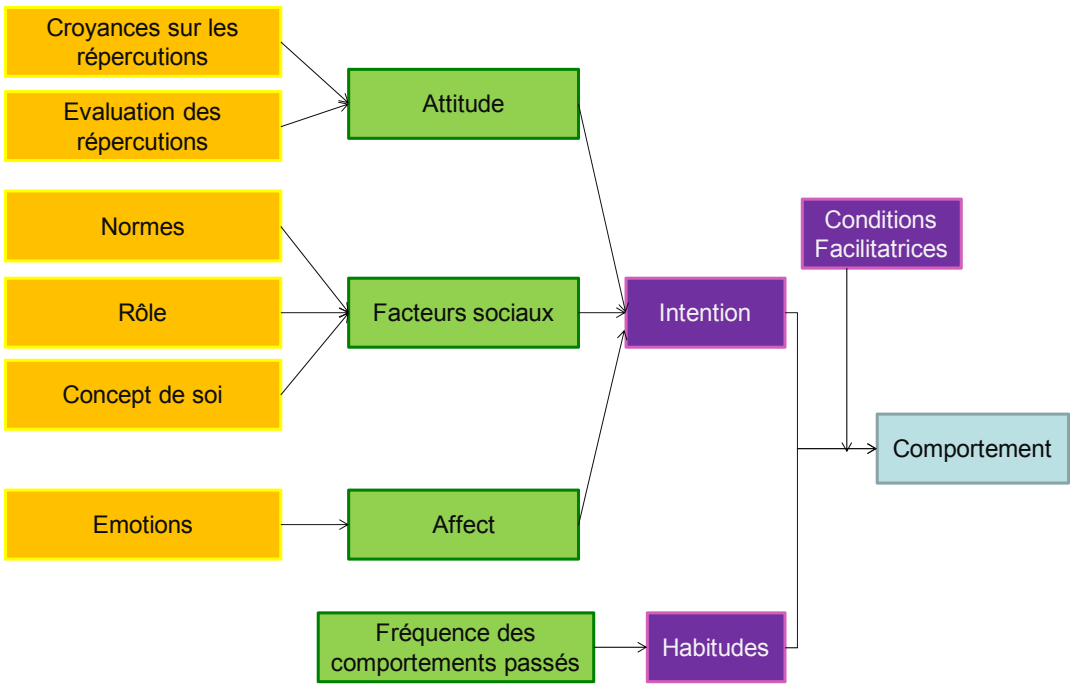


Figure 6 : Modèle de comportement de Triandis (Triandis 1979)

La contribution relative de ces paramètres varie cependant selon les cas étudiés. Il semble que les habitudes jouent un rôle prépondérant dans les comportements de tri de déchets (et donc des performances du recyclage) et les options de transports (Carrus, Passafaro, et Bonnes 2008). Sur les options de transports, Klöckner et Blöbaum (2010) identifient la culture, en tant que norme sociale, comme paramètre influençant les comportements.
Ajzen (1991) montre qu'il est difficile de corréler les attitudes des personnes avec les comportements associés. Pour cela, beaucoup de théories de psychologie cognitive récentes, dont celle d'Azjen, ne prennent plus en compte ce paramètre.

Au paragraphe 2.1.2.2, nous avons déjà identifié trois paramètres qui influencent l'impact environnemental du produit en utilisation et donc potentiellement son éco-conception. Il s'agit du lieu géographique d'utilisation, de la culture locale, et des variables individuelles. Pour identifier les variables individuelles, la proposition de Triandis offre un cadre pertinent pour notre cas d'étude. Le paramètre « habitudes » est aussi pris en compte par l'ISO 9241-210. Dans les conditions facilitatrices, on peut classer deux paramètres des modèles décrits ci-dessus : l'environnement physique (avec les éléments matériels et logiciels) et les compétences et connaissances. Les émotions sont aussi considérées comme paramètres à identifier par certaines méthodes de conception d'interface homme machine, notamment par la conception orientée agent. Les facteurs sociaux sont inclus dans la dimension culture locale.
Cet inventaire peut servir de base à notre proposition de modèle d'utilisateur et de contexte.

Le support de ces modèles de contexte est moins explicite que pour les modèles d'utilisateurs décrits au paragraphe précédent. Cependant, Maguire (2001b) présente son modèle sous forme de tableau.
Les modèles de contexte étant une extension des modèles d'utilisateur, les mêmes types de support peuvent être utilisés.

Avec les modèles de contexte, la conception a un document de référence qui permet d'évoquer la situation dans laquelle sera utilisé le produit ainsi que les personnes qui les utiliseront. Ces deux éléments, contexte et individu, sont indépendants de la conception et peuvent donc être définis en amont du projet.

2.2.1.3 Modèle des interactions

Les modèles de contexte sont une représentation statique de ce qui entourera le produit. Cependant, les concepteurs sont intéressés par les interactions entre ce contexte et le produit qu'ils développent. Wolters et Steenbekkers (2006) définissent un scénario d'utilisation comme « une description de toutes les actions possibles de l'utilisateur pendant la phase d'utilisation ». Un scénario d'utilisation en conception peut donc être classé parmi les modèles d'interactions (Navarro et al. 2009).
La norme ISO 9241-210 sépare effectivement les utilisateurs, de l'environnement et des tâches, c'est-à-dire des actions faites par les utilisateurs avec le produit (ISO 2011).
Un processus de conception centrée sur l'utilisation peut se limiter aux modèles des interactions puisque c'est dans ce modèle qu'intervient le produit.
Pour les tests d'utilisabilité en ergonomie, un modèle des interactions permet de formaliser les données obtenues lors d'une analyse des tâches de l'utilisateur avec le produit (Lim et Sato 2006).
Comme pour les modèles d'utilisateur et les modèles de contexte, les modèles des interactions peuvent prendre différentes formes avec différents niveaux de détails.
Fulton Suri et Marsh (2000) utilisent les story-boards : une vignette dessinée permet d'illustrer l'utilisateur et l'environnement physique et un texte court décrit la réalisation des actions dans cet environnement.
Rosson et Carroll (2009) utilisent comme modèle des interactions un texte long qui racontera l'histoire d'un moment de l'utilisation du produit.

Wolters et Steenbekkers (2006) décrivent les interactions par une succession de phrases courtes avec un sujet utilisateur, un verbe et un complément associé au produit.
Lim et Sato (2006) proposent un formalisme plus systématique. Le DIF -Design Information Framework- définit le modèle des interactions en fonction de « primitives » qui sont des classes d'éléments qui seront mises à profit dans la formalisation de l'analyse des tâches. Les différentes primitives sont : les entités, les attributs, les états, les actions et le temps. Ce formalisme pourrait être implémenté sous forme de simulation vidéo des interactions entre agents, d'après les auteurs.

Les modèles d'interactions sont découpés en unités de nature comparables. En ergonomie, ces modèles sont définis en terme d'efficacité de réalisation de la tâche prescrite par rapport à l'activité réalisée par l'utilisateur. La tâche prescrite correspond à ce que doit faire ou veut faire l'utilisateur avec le produit et l'activité correspond à ce qu'il a fait pour réussir la tâche à réaliser (ISO 2011; Boucher 2004).
Certains auteurs proposent de définir des types d'interactions spécifiques qui s'enchaineront sur la phase d'utilisation. Pour Weger et al. (2001), il existe cinq sous-phases à l'utilisation: l'achat, le lancement des opérations, l'utilisation, la maintenance et le déclassement. Dirken (1999) propose quant à lui des phases pour l'utilisation. Il en propose quatre : rendre prêt à l'utilisation, l'utilisation et le nettoyage et le rangement.
On voit ici que le contenu des modèles d'interactions peut être défini à différents niveaux de détails : pour l'ergonomie, on détaille toutes les activités possibles pour réaliser les tâches dans lesquelles est impliqué le produit et pour d'autres, on détermine des périodes qui sont singulières de part les actions réalisées avec le produit.

Le modèle des interactions est de nature différente des modèles d'utilisateur et de contexte. Il s'agit d'un modèle dynamique qui évoluera en même temps que la forme du produit au long du processus de conception. Il ne peut être défini qu'une fois qu'une idée de produit est formalisée. Le terme scénario d'utilisation est souvent utilisé pour définir le modèle des interactions dans un processus de conception centrée utilisateur.

D'après cette revue de littérature, un modèle de l'utilisation doit prendre en compte les deux aspects suivants :

- Une partie statique représentant l'utilisateur et le contexte d'utilisation, indépendante du produit, en tant que contrainte extérieure avec peu de marge de manœuvre de la conception sur ses variables,
- Une partie dynamique représentant les interactions du produit avec le contexte et avec les utilisateurs, qui pourra être influencée par les propositions des concepteurs.

2.2.2 Instanciation des modèles d'utilisation

2.2.2.1 Données d'utilisation

Une fois la forme du modèle utilisé définie, il faut spécifier le modèle pour le cas particulier du projet de conception en cours. Cette activité d'instanciation des modèles d'utilisation implique la collecte d'informations auprès des utilisateurs et leur formalisation dans des modèles.
La plupart des auteurs ayant décrit des modèles proposent des outils de collecte de données sur l'utilisation. Ces outils proviennent en partie des sciences humaines et sociales. Maguire (2001a) propose un inventaire relativement exhaustif, résumé ci-après.
Les approches ethnographiques sont utilisées pour les collectes impliquant une immersion dans les lieux d'utilisation potentiels des produits. Dans cette catégorie, on trouve : les entretiens semi-directifs (avec ou sans documentation photographique) et les observations (avec enregistrement vidéo ou avec prise de note) sur les lieux d'utilisation et la tenue d'un journal de bord par les utilisateurs.

La psychologie apporte des outils pour évaluer des informations plus subjectives. Les tests psychométriques notamment sont intéressants pour compléter les modèles de l'utilisation.
La sociologie apporte des outils complémentaires à l'ethnographie avec des études d'ensemble (questionnaire, sur internet notamment) pour apporter des données quantitatives en complément des entretiens qui fournissent des données qualitatives.
D'autres outils sont propres aux problématiques de la conception car la place centrale dans ces démarches est donnée au produit.
Les focus groupes permettent de faire discuter différents utilisateurs sur un concept de produit afin de recueillir qualitativement leurs impressions. Ces focus groupes peuvent être utilisés pour discuter de produits qui n'existent pas encore dans des ateliers prospectifs.
L'analyse des tâches est aussi un instrument central de l'ergonomie qui est applicable à la conception. Il s'agit de présenter un dispositif à un utilisateur et de lui demander de réaliser une tâche spécifique. La réalisation de la tâche est observée, il s'agit d'analyser l'enchainement des activités de l'utilisateur dans le succès ou l'échec de la tâche.
Et enfin, des analyses préliminaires faites dans le domaine en question (analyse des marchés, retours du service après vente) ou extérieur (rapport des pouvoirs publiques ou de groupes de recherche) peuvent être utilisés comme base à la collecte de données.

Une fois les données collectées, un dépouillement est fait afin de documenter les modèles de l'utilisation. Certaines informations seront transformées qualitativement, d'autres quantitativement.
Le choix d'un outil de collecte au dépend d'un autre dépendra de l'objectif du projet (Goodman-Deane et al. 2008).

2.2.2.2 Représentativité des données

Un des paramètres de choix des outils de collecte d'information est celui du nombre d'utilisateurs sur lequel l'équipe projet veut avoir des informations. Les approches ethnographiques ou sociologiques donnent des informations très riches et nombreuses ce qui limite le nombre d'utilisateurs auxquels on s'adressera. Les approches quantitatives sont plus facilement applicables à un échantillon important d'utilisateurs car le traitement des données peut être rapidement fait.
Pour les outils s'adressant à un nombre limité d'utilisateurs, il faut s'assurer que les personnes sélectionnées représentent tous les profils d'utilisateurs auxquels le produit s'adresse.
L'hypothèse classique en conception d'interface homme-machine, déjà évoquée au paragraphe 1.1.2.2, est que cinq personnes suffisent à évaluer 90% des erreurs d'utilisation possibles (Virzi 1992). Caulton (2001) limite cependant cette hypothèse à ce que les cinq personnes sélectionnés représentent toute la diversité des utilisateurs du produit. On peut effectivement se limiter à un nombre fini d'utilisateurs mais ils doivent être sélectionnés afin d'être représentatifs.
L'INSEE - Institut national de la statistique et des études économiques- a décidé de sélectionner un échantillon restreint de 900 000 personnes afin de représenter les soixante millions de français (Couet 2006). La sélection des individus de l'échantillon restreint s'est faite par leurs dates de naissance : sont inclus dans l'échantillon, tous les individus qui ont indiqué sur leur recensement être né le 1er, le 2, le 3 ou le 4 octobre. Cette liste est remise à jour tous les ans sur la base des registres d'état civil pour les premiers jours du mois d'octobre de l'année précédente. De cette façon, l'INSEE peut mener des études restreintes sur des individus qui représentent l'ensemble de la population française.
Comme le montre la démarche de l'INSEE, représenter c'est sélectionner une partie du groupe d'utilisateurs en s'assurant que cette sélection représente la diversité du groupe de base.

2.2.3 Segmentation : réduire la variabilité de l'utilisation

La segmentation se propose de définir des critères de classification des groupes d'utilisateurs afin d'assurer que la sélection d'un nombre restreint d'individus pour établir des modèles de l'utilisation qui soit représentative d'une population.

Il s'agit de définir des caractéristiques transverses à tous les utilisateurs, grouper ceux qui se situent dans des zones proches de combinaison des caractéristiques et sélectionner un ou des utilisateurs représentatifs pour chaque groupe d'utilisateurs.
Les caractéristiques transverses choisies dépendent des objectifs de l'étude.

Les prochains paragraphes proposent plusieurs exemples de groupements appliqués à des domaines d'intérêt pour notre recherche : l'incitation aux « comportements pro-environnementaux » (DEFRA 2008; Aegis Media Solution et Ethicity 2010), et la segmentation des cultures (Schwartz et Bilsky 1990; Goedkoop et Spriensma 2001) (Usunier 1992; Hosftede 2001).

2.2.3.1 Comportements pro-environnementaux

Deux études, l'une anglaise (DEFRA 2008), l'autre française (Aegis Media Solution et Ethicity 2010), proposent de regrouper les citoyens avec pour objectif de définir des incitateurs aux comportements pro-environnementaux adaptés à chaque groupe.
Après une étude approfondie des barrières et motivations des citoyens envers les comportements pro-environnementaux, le DEFRA a identifié deux axes structurants ces motivations et barrières : la volonté d'agir et le pouvoir d'agir.
L'ADEME utilise les mêmes axes de segmentation.
Les résultats de cette segmentation sur un échantillon représentatif de la population des plus de 16 ans sont différents entre la France et l'Angleterre.
Voici un tableau comparatif des deux segmentations :

Tableau 3 : Comparaison de la segmentation DEFRA et ADEME-Ethicity

			France	Angleterre
Nombre de Groupes			8	7
Pouvoir d'action	Volonté d'action	Définition des groupes		
++	++	Nom	Engagés	Positive greens
		%	13% de la population	18% de la population
		Détails	45-75 ans ; Moyen supérieur Aisés	41-64 ans ; Classe Moyenne Haute
++	-	Nom	Transmetteurs/Altruistes	Waste Watchers
		%	13,8%	12%
		Détails	50+ans ; Retraités	65+ans ; Retraités
+	+	Nom	Croissance Développement Durable	Concerned consumers
		%	9,2%	14%
		Détails	Tous ; Classe Moyenne	30-40 ; Classe Moyenne Basse
-	+	Nom	Eco-conscients	Sideline Supporters
		%	13,7%	14%
		Détails	18-34ans ; Profession Intermédiaire	30+ans ; Classe Ouvrière Qualifiée
0	0	Nom	Familles vertes	Cautious Participants
		%	11,1%	14%
		Détails	15-45 ans ; Moyen Supérieur	30ans ; 1 enfant dépendant
-	- -	Nom	Moi d'abord	Stalled Starters
		%	13,4%	10%
		Détails	15-24 ans et 35-50 ans ; Artisans, Agriculteurs et Ouvriers	35-50ans ; Classe ouvrière
0	- -	Nom	Décrochés	Honestly disengaged
		%	11,7%	18%
		Détails	45+ans ; Modeste à Moyen inférieur	Classe ouvrière ; Non diplomé
- -	-	Nom	Conso Survie	
		%	14,1%	
		Détails	15-35 ans ; Modeste à Moyen Inférieur	

Les groupes se situant au même niveau sur les échelles « pouvoir d'action » et « volonté d'action » sont relativement similaires au niveau socio-économique entre la France et l'Angleterre. La différence notoire entre les deux études tient à la répartition des pourcentages et du groupe supplémentaire pour la France.
Ces groupes sont le support au développement d'actions politiques adaptées pour chacun d'entre eux.
Pour la France, il s'agit de définir la bonne pratique de communication pour chaque groupe alors que l'Angleterre décline ces actions sur la capacitation (enabling), l'engagement (engaging), l'encouragement (encouraging), l'exemplification (examplification) de chacun des groupes. Par exemple, pour les catégories avec un faible pouvoir d'action, comme les Stalled Starters, le gouvernement anglais met en avant la capacitation, au travers d'incitations fiscales pour s'équiper en produits à faible impact environnemental.

Ces recherches montrent que l'on peut grouper la population, donc les utilisateurs, en fonction de leur position par rapport à l'environnement.

2.2.3.2 Segmentation par cultures

Plusieurs auteurs proposent des critères de segmentation des cultures (Hosftede 2001; Tolman, Parsons, et Shils 1952; Schwartz et Bilsky 1990; Trompenaars et Hampden-Turner 1998; Hall et Gay 1996). Un des buts de ces segmentations est de comprendre les résurgences de différences culturelles dans un contexte mondial (business, management d'entreprise internationale…). Nous allons étudier en détails la proposition de Hosftede (2001) car elle a été appliquée avec succès à d'autres domaines que celui pour lequel elle a été définie initialement-le management interculturel- et particulièrement à la conception du produit.

La théorie de la culture de (Hosftede 2001) a pour ambition de trouver des facteurs permettant de placer une culture, ici nationale, par rapport à une autre afin de pouvoir communiquer d'une culture à l'autre.
Son projet réalisé à partir de l'expérience du groupe IBM a été d'étudier la place de différentes cultures nationales par rapport aux facteurs suivants :

- Individualiste/ Collectiviste,
- Distance hiérarchique,
- Contrôle de l'incertitude,
- Masculinité / Féminité,
- Orientation à court / long terme.

Ces facteurs ont été appliqués dans plusieurs domaines pour expliquer les divergences interculturelles.

D'abord, Hosftede (2001) a appliqué ces facteurs pour expliquer les échecs du management global d'IBM (culture américaine) dans ces différentes succursales (particulièrement asiatique). Plutôt qu'un management global, il propose un management interculturel qui prend en compte les spécificités culturelles de toutes les parties prenantes. Son étude dite interculturelle de 70 pays par rapport à ces 5 échelles est l'une des plus ambitieuse jamais réalisée dans ce domaine.

Ramirez (2010) utilise ces facteurs pour expliquer la génération de différents concepts de systèmes de produits-services par des étudiants-designers de différentes nationalités.
Lee et al. (2008) l'utilisent quant à eux pour caractériser l'influence réciproque du produit et de la culture dans la perception par les utilisateurs de différents produits électroniques. Il conclut que certaines dimensions de Hosftede ne sont pas influencées par la culture mais par le type de produit (un réfrigérateur est un produit collectif quelque soit la culture) alors que d'autres sont beaucoup plus affectées par la culture d'appartenance de l'utilisateur (les coréens ont une relation affective plus forte avec leur téléphone portable que les russes (Lee et al. 2010)). Les conclusions de cette étude permettent de savoir sur quels aspects du produit celui-ci doit être différencié selon la culture cible de la conception.
Quand à De Souza (2001), elle utilise les facteurs d'Hosftede pour expliquer les différences dans la conception de robots ménagers en considérant la culture nationale des concepteurs de produit.

L'application des facteurs d'Hosftede à des domaines proches des thématiques de la conception et particulièrement de la conception centrée utilisateur montre son intérêt pour considérer l'influence de la culture sur la conception et l'utilisation des objets.

2.2.3.3 Culture, environnement et comportements

Les théories de la culture ont aussi été appliquées pour expliquer les différences dans la perception des problématiques environnementales. Nous allons détailler l'utilisation de Schwartz et Bilsky (1990) pour qualifier les comportements pro-environnementaux ainsi que les propositions de Douglas (1999), sur des critères assez similaires aux facteurs d'Hosftede.

Les propositions de Schwartz et Bilsky (1990) ont été utilisées pour associer des groupes de valeurs à des attitudes et des comportements environnementaux (d'après (Ester et al. 2003)). Le positionnement des cultures par rapport à un axe « homocentrisme » - « ecocentrisme » holistique permet de différencier trois groupes de valeurs associées aux comportements d'un groupe d'individus plus ou moins positifs pour l'environnement :

- Egoïste : Intéressé par soi
- Altruiste : Intéressé par les autres (êtres humains)
- Biosphérique : Intéressé par la biosphère.

Une autre approche de la segmentation culturelle et de sa relation avec les problématiques environnementales est proposée par Douglas (1999).
La segmentation se fait en positionnant les cultures sur deux axes que l'on peut rapprocher des facteurs de Hosftede :

- Grille : permet de classer les cultures en fonction du degré de symétrie des relations interpersonnelles. Ceci s'apparente au facteur distance hiérarchique de Hostfede.
- Groupe : permet de classer les cultures en fonction de l'importance donnée au groupe par rapport à l'individu. Ceci s'apparente au facteur Individualiste/ Collectiviste de Hosftede.

Le résultat est la définition de 4 groupes de culture avec une perception différente du concept de nature :

- Fataliste (forte distance hiérarchique et individualiste) : se retranche sur ses ressources propres et n'a pas d'avis sur ce qu'est la nature,
- Hiérarchiste (forte distance hiérarchique et collectiviste) : La nature est robuste (supportera l'impact des activités humaines) mais elle a des limites (pour absorber l'impact des activités humaines),
- Egalitariste (faible distance hiérarchique et collectiviste) : La nature est fragile et on doit la protéger de l'impact des activités humaines,
- Individualiste (faible distance hiérarchique et individualiste) : La nature est robuste et son comportement par rapport aux activités humaines est plutôt prévisible.

Ces différentes vues sur la nature ont été utilisées par Goedkoop et Spriensma (2001) pour créer un indicateur pondéré des impacts environnementaux (score unique) pour l'ACV- sauf pour le groupe des fatalistes, qui sont considérés comme peu intéressants du point de vue de l'ACV.
Ceci se traduit par une « préférence » ou une mise en avant de problèmes environnementaux considérés comme les plus préoccupants pour chacun des 3 groupes.

Tableau 4 : Comparaison des approches Egalitariste et Individualiste

Indicateurs	Egalitariste	Individualiste
Changement climatique	26%	46%
Déplétion de la couche d'ozone	0%	0%
Radiation	0%	0%
Ecotoxicité	6%	1%
Acidification/Eutrophication	3%	2%
Occupation des sols	32%	20%
Epuisement des ressources minérales	0%	20%
Epuisement des ressources fossiles	20%	0%
Effets cancérigènes	2%	0%
Effets respiratoires de substances inorganiques	11%	10%
Effets respiratoires de substances organiques	0%	0%

Ces indicateurs d'impact pondérés servent à simplifier la prise de décision par rapport aux résultats de l'analyse de cycle de vie. En choisissant une perspective particulière (hiérarchiste, égalitariste ou

individualiste), on met en avant sa vision de la nature par la place donnée aux différents problèmes environnementaux.
Cette approche a un intérêt pour nos recherches dans sa prise en compte de la dimension culturelle dans la priorisation des problématiques environnementales. Cependant, une limite à l'application directe de cette approche, reconnue par ses auteurs, est sa dimension européenne ou américano-européenne. En effet, Douglas (1999) propose ce modèle pour expliquer la relation des américains avec la nature et Goedkoop et Spriensma (2001) ont construit leur pondération à partir de l'avis d'experts européens se basant sur le contexte environnemental et législatif de l'Europe.
Si l'on souhaite réemployer cette approche, sa validité dans un contexte international est à vérifier.

2.2.3.4 Segmentation pour l'éco-conception orientée utilisation

Le regroupement d'utilisateurs dans des segments prédéfinis permet de réduire la variabilité des paramètres de l'utilisation au sein de chaque segment. En définissant des profils, on pourra sélectionner quelques représentants de ces profils pour instancier nos modèles de l'utilisation.
Pour chaque segment, on aura une instanciation spécifique des modèles d'utilisateurs et de contextes. Les modèles statiques étant différents, les modèles dynamiques, c'est-à-dire les modèles des interactions, le seront aussi.
Afin de choisir l'approche de segmentation la plus adéquate, il nous faut définir quelle est la source de variabilité la plus importante pour notre démarche. Au paragraphe 1.1.2.2, trois sources de variabilité ont été identifiées : le lieu d'utilisation, la culture et les variables individuelles. Dans toutes les approches étudiées, la proposition du paragraphe 1.2.3.1 est la seule qui prenne en compte des variables individuelles. Il semble donc que cette approche de segmentation couplée à une segmentation géographique (aspect lieu d'utilisation et culture) soit la plus adéquate pour réduire la variabilité des modèles d'utilisation.

2.2.4 Diagnostic environnemental du modèle de l'utilisation

2.2.4.1 Evaluation des flux environnementaux en conception

La première étape d'une analyse de cycle de vie - Figure 7-. est de définir une unité fonctionnelle. L'unité fonctionnelle est intimement liée à la phase d'utilisation car c'est pendant cette phase que le produit va la réaliser.

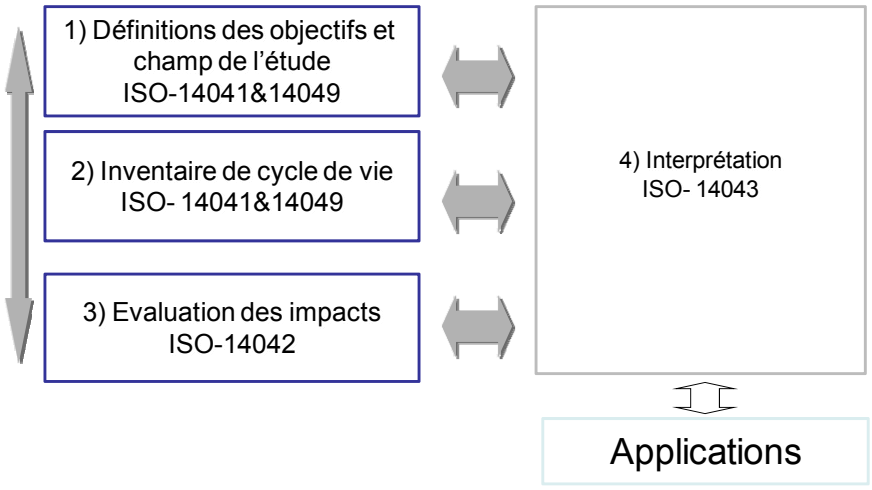


Figure 7 : Cadre méthodologique pour une analyse de cycle de vie

Cooper (2003) souligne l'importance de la définition de l'unité fonctionnelle dans la réalisation d'ACV pour supporter les activités de conception. En effet, si l'unité de comparaison n'est pas suffisamment bien spécifiée, la comparaison des alternatives de conception peut s'avérer difficile.

Plusieurs auteurs soulignent l'importance d'impliquer toutes les parties prenantes du cycle de vie dans la définition de l'unité fonctionnelle (Frischknecht 1997; Ruhland, Striegel, et Kreisel 2000). Les sous-fonctions choisies pour définir l'unité fonctionnelle doivent être conformes à ce qui est considéré comme équivalent sur le marché. L'équivalence sur le marché est établie par le consommateur : c'est lui qui comparera différents produits qui a ses yeux répondent à la fonction qu'il cherche à acquérir.
Après la définition de l'unité fonctionnelle, il faut définir le flux de référence associé à la réalisation de l'unité fonctionnelle (Cooper 2003). Ici, la notion de durée de vie du produit est centrale. (Pettersen et Boks 2008) définissent trois types de durée de vie : la durée de vie technique, la durée de vie économique et la durée de vie psychologique. La première est définie en fonction des caractéristiques techniques du produit comme la résistance mécanique à l'usure. La deuxième est définie par le moment où le produit devient plus cher à exploiter que d'en racheter un nouveau. La troisième se termine quand l'utilisateur ne veut plus utiliser le produit. Dans la majorité des cas, sauf produit de mauvaise qualité, c'est la durée de vie psychologique qui a le plus de chance de se réaliser pour un produit de consommation (Muis 2006).

En instanciant les modèles d'utilisation de façon appropriée, on pourra identifier l'unité fonctionnelle en identifiant le besoin que comblera le produit dans le contexte d'utilisation. La durée de vie psychologique du produit pourra être identifiée à partir des raisons menant à un abandon ou un changement de produit.

Après avoir défini l'unité fonctionnelle et le flux de référence, un inventaire de tous les flux entrants et sortants à chaque étape du cycle de vie de produit doit être fait (ISO 2006).
En ce qui concerne la phase d'utilisation, il faut inventorier toutes les consommations du produit pendant cette phase ainsi que ses émissions.
L'inventaire pour la phase d'utilisation peut s'appuyer sur les modèles des interactions. En effet, un produit n'a d'impact environnemental en utilisation que sous l'effet d'une interaction avec un opérateur humain.

En identifiant les paramètres produits et les paramètres de l'utilisateur qui influenceront l'inventaire de la phase d'utilisation, il est possible de faire une évaluation environnementale. Les paramètres à identifier sont ceux qui influenceront les consommations d'énergie, d'eau, d'auxiliaires et de consommables, les déchets solides et les émissions dans l'air, l'eau et le sol.
En ce qui concerne les consommations, comme pour l'énergie, il faut identifier l'intensité de la consommation et la durée de la consommation.
Domingo, Mathieux, et Brissaud (2011) proposent, pour les produits consommant de l'énergie, de baser l'inventaire de l'énergie sur des paramètres de puissance de composants, de sollicitation de ces composants par le logiciel, pour l'intensité de la consommation et le temps d'utilisation pour la durée de la consommation. Le temps d'utilisation est une forme de modèle d'interaction. Il s'agit d'un découpage du vecteur temps qui associe des sous-phases d'utilisation avec une durée et une fréquence d'occurrence de la sous phase sur toute la durée d'utilisation du produit.
Pour faire de même pour l'eau, il faudrait évaluer le débit et le temps de sollicitation de ce débit sur l'ensemble de la phase d'utilisation.

Pour faire l'inventaire de la phase d'utilisation, on peut aussi se baser sur le modèle des interactions. Il faut cependant garantir qu'il couvre toute la phase d'utilisation. Un découpage en sous-phases permettrait de s'assurer que l'inventaire couvrira toutes les interactions, même celles qui ne sont pas fréquentes, comme la maintenance. Une évaluation de l'impact environnemental par sous-phases permettra aussi d'identifier les paramètres critiques du modèle des interactions.

2.2.4.2 Indicateurs environnementaux

Une fois l'inventaire des flux intrants et sortant réalisé, une évaluation de l'impact de ces flux sur l'environnement peut être faite. Il s'agit de choisir un nombre restreint d'indicateurs qui permettront de simplifier l'inventaire et de relier le produit à ses conséquences sur la détérioration des écosystèmes.

Il existe deux types d'indicateurs environnementaux : les indicateurs de consommation ou d'émissions, qui présentent la somme pondérée d'intrants ou de sortants comme la consommation de ressources naturelles et des indicateurs d'impacts environnementaux qui représentent des sommes coefficientées de tous les flux qui contribuent à une détérioration spécifique d'un écosystème comme l'épuisement des ressources naturelles (JRC-IES 2010).

Dans les indicateurs d'impacts, il existe deux niveaux de prise en compte :

- Les indicateurs médians (mid-point) : ils représentent les causes de la détérioration des écosystèmes. On peut citer l'acidification de l'air, le changement climatique, l'eutrophisation.
- Les indicateurs point-limites (end-point) : ils représentent les conséquences de la détérioration des écosystèmes sur des aires de protection. Le JRC-IES (2010) recommande de considérer dans les ACV européennes trois aires de protection : la santé humaine, l'environnement naturel et les ressources naturelles.

Il existe un nombre d'indicateurs environnementaux très importants, c'est pourquoi lors d'un projet de conception il faut faire le choix d'un jeu d'indicateurs spécifiques (ISO 2006; Olsthoorn et al. 2001). Il existe des méthodes qui proposent des jeux d'indicateurs prédéfinis comme eco-indicators 99, CML ou EDIP (Dreyer, Niemann, et Hauschild 2003) .

Pour (Finnveden 1997), le choix d'indicateurs introduit forcément un jugement de valeurs sur la nature, le produit et les améliorations possibles des écosystèmes. Choisir un jeu d'indicateurs prédéfini équivaut à accepter les valeurs des auteurs de la méthode. Afin d'éviter cela, Olsthoorn et al. (2001) proposent de définir un jeu d'indicateurs qui soit « spécifique au contexte organisationnel et aux besoins d'information de l'utilisateur ».

L'enquête du GOES a permis de définir les sensibilités environnementales des habitants de différents pays (Ester et al. 2003). Elle montre des variations importantes sur les indicateurs les plus préoccupants pour les citoyens. Il semble donc important d'identifier auprès des utilisateurs leur « besoins en information » en se basant sur les préoccupations provenant de la société civile (Ester et al. 2003) et des préoccupations individuelles.

Le modèle de l'utilisation peut permettre d'identifier les préoccupations environnementales des utilisateurs. Ces préoccupations pourront être prises en compte lors du choix des indicateurs pour l'évaluation environnementale.

En construisant le modèle d'utilisation adéquat ainsi que les mécanismes d'instanciation appropriés, le diagnostic environnemental pourra être établi avec : une unité fonctionnelle, une durée de vie et un choix d'indicateurs d'évaluation dépendant de la vision utilisateur et des flux contributeurs en phase d'utilisation en fonction du modèle de produit et du modèle de l'utilisateur.

2.2.5 Amélioration de la performance environnementale

Le diagnostic environnemental est le support de la démarche d'amélioration de l'impact du produit sur l'environnement. Pour alimenter ce processus, les concepteurs ont besoin d'idées et de lignes directrices pour proposer de nouveaux développements de produits (Lindahl 2006; Lofthouse 2004).

Les méthodes d'éco-conception du cycle de vie complet sont une source d'information importante. Ces méthodes proposent des lignes directrices pour l'amélioration de l'impact environnemental sur chaque étape du cycle de vie. Nous analyserons les propositions faites pour diminuer l'impact de la phase d'utilisation du produit.

Certaines propositions se focalisent sur la relation entre éco-conception et les actions des utilisateurs. Elles sont regroupées sous le nom de conception pour les comportements soutenables.

Leur ambition est « d'induire une utilisation soutenable » (Wever, van Kuijk, et Boks 2008). Les lignes directrices associées à ce domaine se proposent de développer ou de modifier des produits pour que les utilisateurs modifient leurs comportements vers des pratiques moins impactantes pour l'environnement.
Enfin, les disciplines s'intéressant à l'utilisateur en tant que consommateur - marketing vert- ou en tant que citoyen- politiques publiques - compléteront la liste des lignes directrices pour améliorer le diagnostic environnemental.

2.2.5.1 Les propositions de l'éco-conception cycle de vie

Les lignes directrices proposées pour la phase d'utilisation en éco-conception peuvent se regrouper en trois catégories (Luttropp et Lagerstedt 2006; Telenko, Seepersad, et Webber 2008; Lofthouse 2006; AFNOR, CETIM, et ENSAM 2009):

- Minimiser les consommations (d'énergie, d'eau, de consommables…) :
  - Diminuer l'intensité des consommations,
  - Diminuer les durées de consommations,
- Concevoir pour la maintenance et l'amélioration du système en utilisation pour rallonger la durée de vie :
  - Maitriser l'usure du produit et permettre le remplacement des pièces usées,
  - Anticiper les besoins en émergence des utilisateurs et permettre de mettre à niveau le produit,
- Minimiser l'impact des consommables : choix des consommables avec le plus faible impact possible.

La norme expérimentale française XP E 01-005 propose une autre stratégie se basant sur l'innovation radicale : passer des produits aux services ou prévoir une utilisation partagée afin d'augmenter le nombre d'utilisateurs par unité de produit (AFNOR, CETIM, et ENSAM 2009).

Ces stratégies ont été largement appliquées sur des produits ayant un fort impact environnemental en utilisation, notamment les produits électriques et électroniques.

Minimiser les consommations

La directive ErP - éco-conception des produits liés à l'énergie - a basé toute sa démarche sur l'identification des systèmes non efficaces dans leurs consommations d'énergie (European Commission 2009). La plupart des catégories de produit soumis à des mesures d'exécution ont au moins une exigence d'éco-conception liée à la minimisation de la consommation d'énergie.
On peut citer notamment, les exigences suivantes :

- Pour la diminution des durées de consommation, la généralisation des mises en veille et en arrêt automatique des produits : Règlements sur les modes veille et arrêt, téléviseurs, décodeurs complexes…
- Pour la diminution des intensités de consommation, des normes d'efficacité énergétique par service rendu : une puissance maximale par taille d'écran (téléviseurs), par lumen fourni (éclairage), par puissance mécanique fournie (moteur électrique).

Grâce à cette directive, la stratégie « minimiser les consommations » a largement été utilisée pour maitriser la consommation d'énergie. La mesure d'exécution sur les lave-linge montre qu'une minimisation de la consommation d'eau est appliquée aux produits qui utilisent cette ressource.
Le projet Synergico propose un outil qui décline cette stratégie en sous-stratégies plus spécifiques pour les produits électriques et électroniques (Bonvoisin et al. 2010). Elles ont été utilisées dans les projets de re-conception des deux partenaires industriels du projet.

Concevoir pour la maintenance

Afin d'allonger la durée de vie des produits, sur un même cycle d'utilisation, prévoir une maintenance simple pour les pièces d'usure est une stratégie intéressante. Cette stratégie permet de lutter contre l'obsolescence des produits.

Amaya, Lelah, et Zwolinski (2013) expliquent comment la re-conception des vélos du système Vélo'v a permis d'allonger la durée d'utilisation des produits et de retarder la fin de vie du produit.

Kiatkittipong et al. (2008) montrent cependant qu'allonger la durée de vie n'est pas toujours une solution d'éco-conception. En effet, si l'ancien produit est moins efficace en fonctionnement que sa nouvelle version, continuer à maintenir le produit peut s'avérer plus impactant sur l'environnement que le remplacement de ce dernier.

Minimiser l'impact des consommables

L'accord volontaire sur les équipements d'imagerie prend en compte l'impact des consommables dans ses préconisations d'éco-conception (European Commission 2010). Pour mettre sur le marché, il faut que le produit utilise des cartouches standards et rechargeables. En rechargeant les cartouches, on diminue l'impact de l'imprimante en générant moins de déchets de consommables.

Passer des produits aux services

Cette stratégie est aujourd'hui associée à un champ de recherche très dynamique. Les exemples d'application se trouvent dans des secteurs très différents.

Amaya, Lelah, et Zwolinski (2013) présentent un service de location de vélo pour le transport en ville. Les utilisateurs ne possèdent plus un vélo personnel mais partagent un lot de vélos installés à différents points stratégiques.

Manzini et Vezzoli (2003) ont étudié différentes initiatives italiennes d'ajout d'une offre de service associée à un produit. La société Diggo a notamment proposé un service de location de tapis et moquette pour les événements nécessitant temporairement un revêtement textile pour leur sol. A la place de vendre le textile dont l'utilisateur se sépare après, l'entreprise loue le produit qu'elle nettoiera et réutilisera sur un autre événement.

Cette stratégie sort un peu du champ de la phase d'utilisation puisqu'elle remet en question tout le cycle de vie du produit. Cependant, elle permet d'améliorer l'impact en utilisation en intensifiant l'intensité et la fréquence de sollicitation du produit. En faisant cela, la durée de vie du produit sera basée sur la durée de vie technique et non sur la durée de vie psychologique.

2.2.5.2 Les propositions de la conception pour les comportements soutenables

Ces méthodes se regroupent sous la terminologie « Design for sustainable behavior » -DfSB (Lilley 2009; Lilley, Bhamra, et Lofthouse 2006; Lockton, Harrison, et Stanton 2009; Ravandi, Mok, et Chignell 2009; Schmalz et Boks 2010; T. Tang et Bhamra 2008; Wever, van Kuijk, et Boks 2008). Ces méthodes visent à concevoir des produits capables d'inciter une utilisation soutenable des produits.

Ils proposent 4 stratégies :

- Funtional Matching : Mettre en exacte concordance les besoins utilisateurs et les fonctionnalités du produit.
- Ecofeedback : Le produit communique à l'utilisateur des informations d'ordre environnemental afin qu'il adapte son comportement.
- Behaviour Steering : En proposant à l'utilisateur une interface avec le produit intelligible, la conception du produit mettra en avant, de façon intuitive, les fonctions les moins impactantes pour l'environnement.
- Intelligent : En mesurant des paramètres du contexte d'utilisation, le produit s'ajuste afin de se placer au niveau de fonctionnement le moins impactant dans ce contexte.

La Figure 8 résume les interactions entre les utilisateurs, le produit en utilisation et le produit en conception que proposent les différentes stratégies de DfSB. Cela montre que certaines solutions n'ont des répercutions que sur la conception du produit (functionnal matching) alors que d'autres

auront des répercutions uniquement sur l'utilisation du produit (comme l'éco-feedback). Cependant, elles doivent toutes être implémentées au moment de la conception pour être effectives en utilisation.

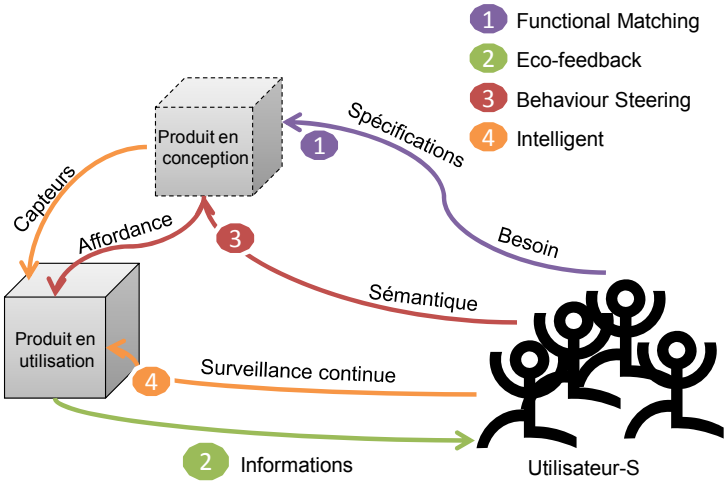


Figure 8 : Stratégies de DfSB: relation Utilisateur- Produit en conception - Produit

Ces stratégies ont été appliquées à la conception de produit, les paragraphes suivants détaillent les propositions de conception découlant de ces stratégies.

Functional Matching

Il existe peu d'exemples qui se revendiquent clairement du Functional matching. Cependant, la contribution de Tang Tang et Bhamra (2012) est bien une illustration de ce concept. Elles ont observé plusieurs familles anglaises lors de la préparation de leur repas quotidien afin d'identifier les utilisations du réfrigérateur et ses impacts sur l'environnement.

Une part importante de l'impact est reliée aux activités du matin : le petit-déjeuner et la préparation des repas du midi (sandwichs). Les deux repas demandant les mêmes ingrédients, la solution d'éco-conception a été de proposer un compartiment-tiroir qui contiendrait tous les éléments qui sont conservés au réfrigérateur et qui sont utilisés dans la préparation du petit-déjeuner et des sandwichs du midi. De cette façon, on extrait ce tiroir le matin afin de faire simultanément le petit-déjeuner et préparer les repas du midi.

L'eco-feedback

C'est la stratégie la plus présente dans la littérature. Elle a été appliquée pour le retour d'information sur la consommation d'énergie et la consommation d'eau.

Pour la consommation d'énergie, il s'agit de la conception de différents compteurs « intelligents » à l'échelle d'une maison (Jacquelin Burgess et Nye 2008; Jacquie Burgess et Hargreaves 2010; Wever, van Kuijk, et Boks 2008). Le retour d'expérience en Angleterre montre que le compteur a une influence dans le temps limité : quand le compteur est installé, les membres de la famille l'utilisent, jouent avec en analysant les données fournies mais après un certain temps l'effet de nouveauté s'estompe et la consommation a tendance à augmenter. La consommation d'énergie n'a pas diminué de façon drastique mais l'effet de routine dans l'utilisation des équipements s'est accentué, ce qui peut aider à rationaliser l'énergie. Certains utilisateurs ont demandé à ce que des informations d'ordre environnemental soient aussi disponibles comme l'équivalent en CO2 des kWh consommés.

Pour la consommation d'eau, Ravandi, Mok, et Chignell (2009) proposent un ajout d'interface dans la douche pour mesurer les consommations de chaque membre de la famille par douche en fonction de la durée et du débit de l'eau. C'est la seule étude qui fait état d'un retour d'information sur autre chose que la consommation d'énergie. Le caractère récent de l'étude n'a pas permis d'avoir un

retour sur l'efficacité de l'interface en terme de changement de comportement par rapport à la consommation d'eau.
Mac Donald et She (2013) proposent des concepts cognitifs qui peuvent être utilisés pour développer le contenu et le format des retours d'informations. Le concept « d'heuristiques de décisions » permet de simplifier l'information environnementale en mettant en avant des comparaisons, par exemple qu'une ampoule à économie d'énergie peut remplacer dix ampoules à filaments. Elles déconseillent l'utilisation d'un retour d'information négatif qui serait basé sur « la dissonance cognitive ou la culpabilité ». Elles incitent aussi à donner des informations permettant de rendre moins « complexe le processus de décisions » en construisant des retours d'informations éducatifs ou interactifs, comme le tableau de bord de la Toyota Prius.

Behaviour Steering
Cette stratégie n'est pas spécifique au DfSB et est une stratégie très utilisée pour rendre les interfaces plus ergonomiques et diminuer les risques d'erreurs. Lockton, Harrison, et Stanton (2009), en partant du principe qu'une erreur est une action qui génère un impact environnemental sans valeur ajoutée, proposent une méthode de conception d'interface qui guide l'utilisateur dans la réalisation de l'action adéquate. Son application à un distributeur de billet montre qu'effectivement le nombre d'erreur diminue.
Mac Donald et She (2013) proposent aussi deux concepts se basant sur l'ergonomie du produit : la «confiance » et la « motivation ». Le produit doit avoir une sémantique qui renvoie à la nature responsable du produit et une utilisation intuitive.

Intelligent
Cette stratégie peut être considéré comme adaptative et peut être difficile à mettre en œuvre. En effet, il faut mettre en place un certain nombre de capteurs, un système de traitement des informations provenant des capteurs et des actionneurs afin d'optimiser le fonctionnement produit aux données collectées.
Elias, Dekoninck, et Culley (2008) et Burgess et Nye (2008) ont mesuré des données de consommation d'énergie, pour le premier dans une cuisine, pour le deuxième dans une maison. En analysant ces données, ils ont identifié les différentes actions qui nécessitent de l'énergie pour les ordonner ensuite en actions différables (comme laver le linge), et non-différables (comme faire du café à 8h du matin). En déclenchant les actions différables au moment optimal pour la consommation d'énergie, on diminue la charge sur le réseau de distribution d'électricité et donc le recours aux centrales thermiques d'appoint.
D'autres systèmes intelligents font appel à des capteurs en temps réel des informations du contexte. On peut citer les capteurs de luminosité pour le retro éclairage des écrans et l'intensité lumineuse des lampes (Schmalz et Boks 2010) ou encore la mesure de la température ambiante pour lancer le chauffage ou la climatisation d'une pièce.
Pour ces derniers, une des limites qui a été identifiée est la notion de confort individuel (Shove 2003) qui n'est pas au même seuil pour tous les individus et à tout moment de la journée, de la semaine ou de l'année. Un seul réglage des capteurs à une valeur donnée (X lumen à Y endroit, ou Z degrés à T moment de la journée) peut frustrer l'utilisateur qui ressent le réglage « intelligent » comme non adéquat à son confort.

2.2.5.3 Les propositions des politiques publiques et du green-marketing

En élargissant le champ des recherches bibliographiques à la littérature liée à la «consommation verte» ou au «marketing vert», nous pouvons proposer de nouvelles stratégies et profiter de nouveaux retours d'expérience.

Les recherches sur l'influence des écolabels sur l'acte d'achat des produits (Rex et Baumann 2007; Teisl, Rubin, et Noblet 2008) peuvent permettre d'élaborer des stratégies d'éco-feedback adaptées. Ainsi Nissinen et al. (2007) proposent une étude statistique sur la perception de différents moyens de

communication des résultats d'une analyse de cycle de vie qui peut servir de base à la mise en forme des messages de l'éco-feedback.

Un certain nombre de recherches dans le domaine des politiques publiques et des politiques d'entreprises en termes de développement durable s'intéresse à l'influence de la concertation entre individus sur le comportement pro-environnemental. Il peut s'agir là d'une nouvelle stratégie d'Eco-UCD visant à modifier le contexte d'utilisation du produit.
Nye et Hargreaves (2010), DEFRA (2008), Aegis Media Solution et Ethicity (2010) et Peattie (2010) soulignent l'importance de la dimension sociale de l'achat de produit et de la manière de les utiliser. La concertation est un moyen d'influencer cette dimension sociale.
On peut citer la démarche mise en œuvre par (Nye et Hargreaves 2010) pour déployer les stratégies de développement durable dans une entreprise à partir de groupes de travail avec différentes divisions de l'entreprise. DEFRA (2008) propose une démarche similaire de promotion des comportements pro-environnementaux en organisant des comités de quartier faisant intervenir habitants, pouvoir public et fournisseurs de services communautaires (transport, énergie, eau, assainissement, éclairage public, en fonction de la thématique du débat). Ceci se rapproche des stratégies de co-conception proposées par (Lebel et Lorek 2008) pour la création de systèmes combinant production et consommation.
Cette stratégie « concertation » est un peu plus compliquée à mettre en œuvre car elle ne prend pas uniquement en compte le produit et l'utilisateur mais le produit, l'utilisateur et le contexte social. Elle est donc à la frontière de la conception et des politiques publiques.

La littérature fournit une liste de lignes directrices et d'exemple d'applications qui permettraient d'alimenter les phases d'amélioration du produit en conception. En associant cette liste de stratégies aux paramètres de l'utilisation les plus impactants, les concepteurs pourront trouver des solutions d'amélioration adaptées au modèle d'utilisation du produit.

2.3 Conclusions : cahier des charges de la méthode

La conception centrée utilisateur au sens large a proposé différents modèles pour prendre en compte l'utilisation du produit dans le processus de conception. Ces modèles reposent sur trois entités de l'utilisation : le ou les utilisateur-s, le contexte d'utilisation et les interactions avec les produits. En adaptant ces modèles aux spécificités de l'éco-conception, on pourra lever le verrou temporalité de notre problématique de recherche. Il faudra cependant s'assurer que les modèles proposés recouvrent bien toute la phase d'utilisation du produit.
En associant le modèle de produit au modèle des interactions avec l'utilisateur, les modèles évolueront de façon conjointe pendant le temps de conception. La variabilité du produit pourra être répercutée sur le modèle des interactions. Le modèle des interactions peut aussi servir de base à l'évaluation environnementale de la phase d'utilisation.
En ce qui concerne la variabilité des utilisations, la segmentation des utilisateurs semble être un moyen efficace de grouper les utilisateurs afin de limiter les variations entre utilisations à des variations entre groupe d'utilisateurs.
Afin de développer une méthode de conception, les stratégies issues de la littérature pourront supporter les étapes d'amélioration du produit.
La caractérisation des spécificités des processus d'éco-conception et des acteurs de l'éco-conception permettra de développer une méthode de conception générique qui s'adaptera à différentes situations industrielles.

Le chapitre suivant expose une proposition méthodologique pouvant supporter les acteurs de la conception dans l'amélioration de l'impact environnemental de l'utilisation en se basant sur un modèle « réaliste » de l'utilisation.

Chapitre 3 Proposition d'une méthode d'éco-conception orientée utilisation

L'analyse bibliographique a permis de raffiner la question de recherche en trois verrous à lever afin de réduire la différence entre l'impact environnemental modélisé en conception et l'impact réel du produit. Ces trois verrous sont : la temporalité - le modèle de l'impact environnemental doit représenter toute l'utilisation future du produit, la variabilité - le modèle doit pouvoir représenter toutes les utilisations du produit, et la conception- il doit supporter les concepteurs dans leurs activités.
La littérature a permis d'identifier des formes de modèle supportant la temporalité en proposant une représentation des interactions entre le produit et l'utilisateur. Ces modèles des interactions seront adaptés au cas particulier de l'éco-conception, et notamment à l'évaluation environnementale de la phase d'utilisation des produits.
Afin de gérer la variabilité de l'utilisation, un modèle de l'utilisateur en contexte, inspiré des modèles d'utilisateurs de la littérature, est défini. Des solutions de segmentation permettent de définir le nombre de modèles de l'utilisateur en contexte qui permet de maîtriser au mieux la variabilité. Les sources de variabilité identifiées dans la littérature permettront de définir le critère de découpage des segments.
Enfin, une méthode de conception répondant aux contraintes identifiées au chapitre précédent sera proposée. Des outils supplémentaires, de support aux activités de conception, sont proposés : un guide d'aide à l'amélioration et un outil de visualisation de l'évaluation environnementale.

3.1 Variabilité et Temporalité : un modèle de l'utilisation

3.1.1 Complémentarité des modèles

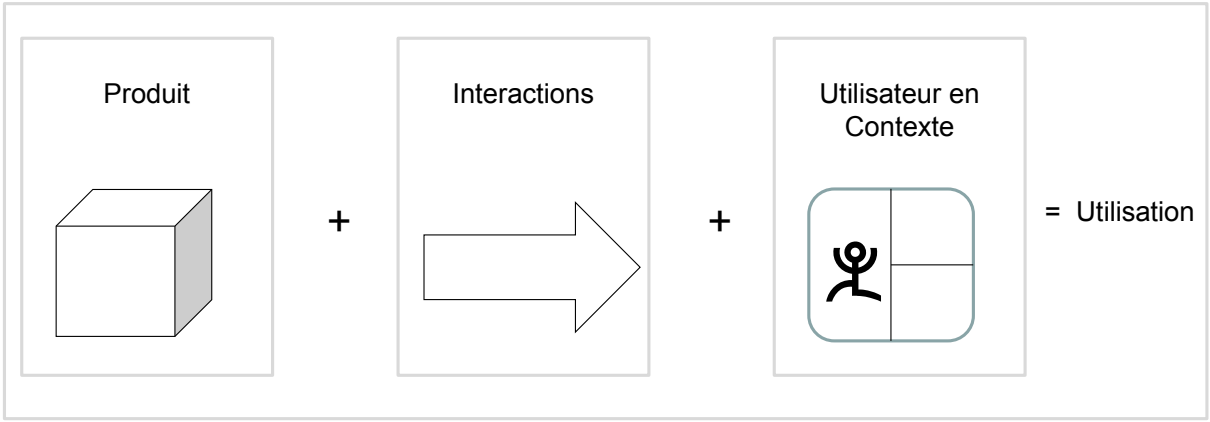


Figure 9 : Les 3 composantes du modèle de l'utilisation : Produit, Interactions et Utilisateur en Contexte

L'utilisation d'un produit se compose, comme l'a montré le chapitre précédent, de 3 éléments : l'utilisateur intégré au contexte dans lequel il évolue, le produit et les interactions du produit avec l'utilisateur en contexte. Pour intégrer l'utilisation en conception, ses acteurs ont besoin de modèles représentant ces trois éléments qui serviront à alimenter les activités de développement produit.
Dans ce chapitre, le modèle de produit est une représentation du produit essentiellement dédiée aux designers et concepteurs. Lorsqu'il s'agira d'autres vues du modèle de produit (fabrication, marketing…), cela sera précisé. Ce modèle de produit évoluera dans le temps de conception sous l'action des métiers de la conception.
Le modèle des interactions est appelé modèle de la phase d'utilisation car il couvrira toutes les actions ayant lieu entre l'acquisition du produit et sa fin de vie. Il représentera toutes les actions entre le produit et l'utilisateur qui ont une influence sur la performance environnementale du produit.
Le modèle de l'utilisateur en contexte sera appelé modèle de contexte. Il représentera un type d'utilisateur spécifique du produit et le contexte dans lequel il évolue. Les paramètres de ce modèle

seront définis en fonction de leur influence sur la performance environnementale du produit : à la fois sur le modèle des interactions mais aussi sur les phases d'amélioration du produit en conception.

3.1.2 Modèle de produit : centre des activités de conception

Le modèle de produit, au sens large, est le pivot des activités de conception. Il représente l'objet de la conception pour chacun des acteurs du processus.
Pour notre méthode, ce terme représentera essentiellement l'objet de conception pour les concepteurs et les designers (au sens d'Ulrich et Eppinger (2004)). La maîtrise de ce modèle au cours du processus de conception peut se faire par un outil de gestion du cycle de vie de produit (Product Life Cycle Management-PLM en anglais). Cet outil intègre toutes les formes que peut prendre le produit dans la conception et pour ses différents acteurs.
Pour les concepteurs et les designers, ces représentations peuvent être classifiées en fonction des étapes de conception :

- En début de projet, en planification, ce sera un cahier de charges de développement produit,
- En conception conceptuelle, ce seront des schémas et des croquis,
- En phase de conception préliminaire, ce seront des modèles 2D ou 3D,
- En phase de conception détaillée, ce seront des règles d'assemblage de pièces associées à des matériaux, des tolérancements et des procédés de fabrication.

C'est à partir de ces grandes classes de représentation du produit que nous devons dimensionner le modèle des interactions. Il sera associé systématiquement à une forme de modèle de produit.

3.1.3 Modèle des interactions : une description temporelle de la phase d'utilisation

L'ambition de ce modèle est, comme tout modèle des interactions, de contenir toutes les actions entre le produit et l'utilisateur, et ce sur toute la phase d'utilisation. Nous l'appellerons donc modèle de la phase d'utilisation.
Une des spécificités de l'éco-conception orientée utilisation est qu'elle intègre toute la phase d'utilisation de l'acquisition à la fin de vie. Aucun modèle des interactions de la littérature ne propose cette intégration globale et continue de l'utilisation, c'est-à-dire, un modèle représentant l'utilisation en continu de l'acte d'achat jusqu'à la prise en compte par une filière de fin de vie du produit.
Afin de s'assurer de la couverture complète de l'utilisation, un découpage en unités temporelles de cycle de vie plus petite est proposé. Cette unité de la phase d'utilisation est dénommée « moment ». Il est question de ce que Weger et al. (2001) nomment des « sous-phases de l'utilisation » ou ce que Wolters et Steenbekkers (2006) nomment « phases de l'utilisation ». Il s'agit de catégoriser un ensemble d'actions de l'utilisateur en événements qui peuvent avoir lieu pour différents types de produits et qui, combinés, recouvrent toute la phase d'utilisation. Un moment est caractérisé par un état en entrée, en sortie, des actions spécifiques entre ces bornes et l'état fonctionnel du produit avant et après le moment.

Un moment est représenté sous la forme suivant :

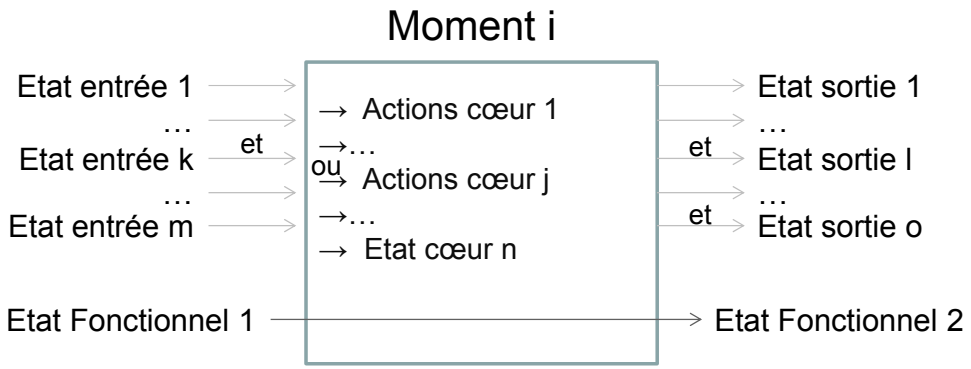


Figure 10 : Formalisation d'un moment de la phase d'utilisation

Le moment i est caractérisé par m états d'entrée, n actions cœur, o état de sortie et le passage du produit d'un état fonctionnel 1 à état fonctionnel 2.
Un état caractérise la situation actuelle du produit ou du contexte d'utilisation du produit qui permet, pour un état d'entrée, de déclencher le moment, pour un état de sortie, d'arrêter le moment.
Une action est caractérisée par un verbe et un qualificatif, si nécessaire. Elle décrit le plus finement possible une intervention de l'utilisateur dans son contexte sur le produit ou vice versa.
Lorsqu'un « et » est ajouté sur une flèche cela veut dire que l'action ou l'état au-dessus du terme doit être réalisée ou atteint avec celle ou celui en dessous. Dans l'exemple, l'état (k-1) et l'état k doivent être réalisées pour commencer le moment i.
Lorsqu'un « ou » est ajouté sur une flèche, aux choix, l'une des deux actions ou l'un des deux états aura lieu.
Si la flèche n'a pas de nomenclature, cela veut dire que les actions ou les états précédents et suivants peuvent être considérés ensemble -et- ou indépendamment -ou.
La partie inférieure du moment renseigne sur l'état fonctionnel du produit à travers l'étape. Cet état peut prendre trois valeurs différentes : fonctionnel, non fonctionnel et baisse partielle de fonctionnalité.
Un produit est fonctionnel lorsqu'il est capable de remplir tout ou partie des fonctions utilisateurs pour lesquelles il a été acquis.
Un produit est non-fonctionnel lorsqu'il ne réalise aucune des fonctions utilisateurs pour lesquelles il a été acquis.
Le produit a une baisse partielle de fonctionnalité lorsqu'il n'est pas capable de réaliser une ou des fonctions pour lesquelles il a été acquis.

A partir de la littérature, nous proposons de découper le modèle de la phase de l'utilisation en 7 types de moments : Installation, Apprentissage, Tâche d'usage, Maintenance et Nettoyage, Stockage, Amélioration, Mise au rebut.
Chacun de ces moments est décrit en détail dans les paragraphes ci-après.

Début de l'utilisation : Enchaînement des moments d'installation, d'apprentissage et en tâches d'usage

A la sortie de la phase de distribution, une fois la porte du magasin franchie, le moment «Installation» commence. Le produit est alors non fonctionnel.
L'installation couvre toutes les actions qui consistent à préparer le produit pour qu'il soit fonctionnel.
Les actions typiques du moment d'installation sont :

- Déconditionner le produit : retrait et mise au rebut de l'emballage,
- Mettre en place le produit dans son contexte d'utilisation : branchement aux réseaux d'alimentation électrique, choix des options de fonctionnement…

Un moment d'installation se termine lorsque le produit est à l'état fonctionnel.
L'installation peut avoir lieu plus d'une fois lors du cycle d'utilisation d'un produit. Un changement d'emplacement du produit – état « Déplacé » - induit notamment un nouveau moment d'installation.

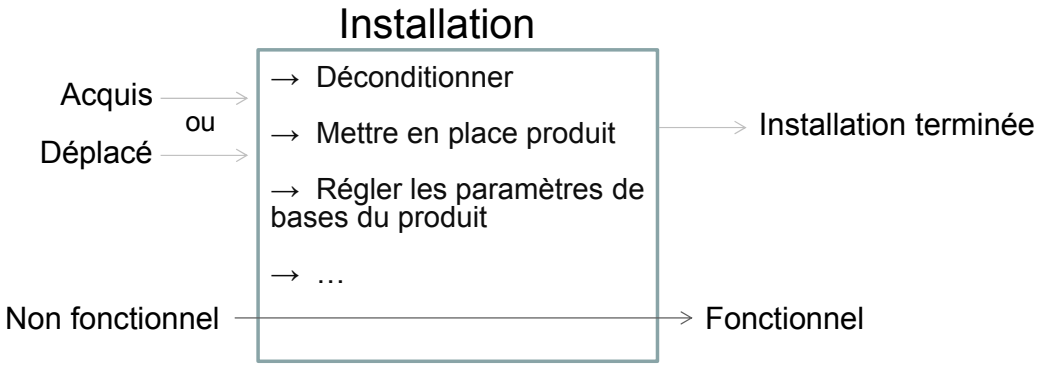


Figure 11 : Caractéristiques du moment installation

Un moment d'installation est toujours suivi par un moment d'apprentissage. Un moment d'apprentissage commence quand un produit est fonctionnel et que l'installation ou une amélioration est terminée. Il se termine lorsque l'utilisateur sait comment utiliser une fonction du produit. Il existe autant de moments d'apprentissage que de fonctions du produit.
Les actions typiques de la phase d'apprentissage sont :

- Lire la notice et mettre en pratique ses recommandations,
- Faire des analogies entre la nouvelle fonction et des fonctions déjà maîtrisées sur le produit ou sur un autre élément du contexte.

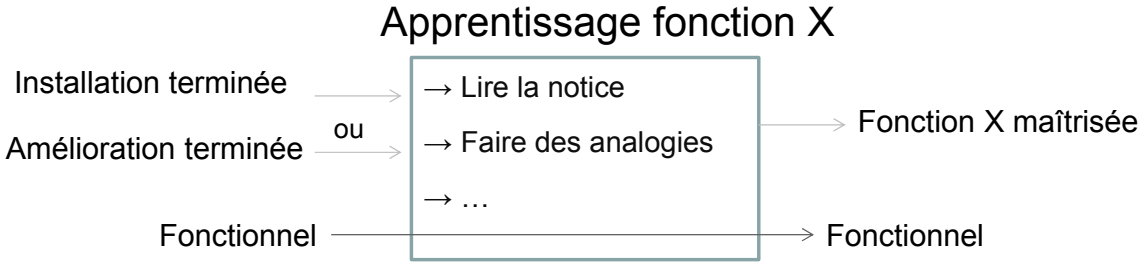


Figure 12 : Caractéristiques de l'apprentissage

Les moments d'apprentissage sont suivis par un moment « tâche d'usage ». Un moment tâche d'usage commence lorsqu'un nombre suffisant de fonctions est maîtrisé, que le produit est fonctionnel et que l'utilisateur souhaite le mettre en œuvre dans des tâches de sa vie quotidienne. Un moment tâche d'usage est défini pour chaque tâche de la vie de l'utilisateur dans laquelle le produit est impliqué. Il peut se terminer de trois façons : soit par la réalisation complète de la tâche d'usage, soit par une modification dans le contexte d'utilisation ou soit par un déplacement du produit.
Le produit est toujours fonctionnel en entrée de tâche. Cependant, ses fonctions peuvent rester les mêmes, soit être dégradées, soit s'arrêter complètement, au cours des tâches. L'état fonctionnel du produit permet de définir quel type de moment aura lieu après cette tâche d'usage.
Les actions caractéristiques d'un moment tâche d'usage sont la réalisation de la tâche que veut accomplir l'utilisateur, l'activité si l'on reprend le vocabulaire de l'ergonomie.

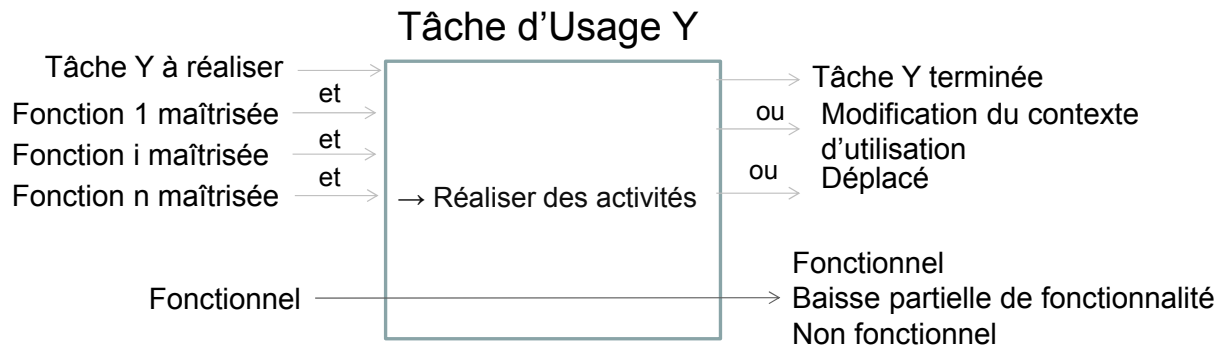


Figure 13 : Caractéristiques d'une tâche d'usage

Fin des tâches d'usage, une association dépendant de l'état fonctionnel du produit: maintenance et nettoyage, stockage, amélioration et mise au rebut.

Le moment de maintenance et de nettoyage est caractérisé par des actions de mise à niveau du produit pour palier une baisse partielle de fonctionnalité du produit.

Il se termine lorsque le produit est de nouveau fonctionnel et prêt à réintégrer des tâches d'usage.

Les actions typiques sont :

- Maintenir, par un remplacement des pièces d'usure notamment,
- Réparer,
- Nettoyer tout ou partie du produit.

Ce moment peut faire intervenir l'utilisateur mais aussi des experts de la maintenance, du nettoyage ou de la réparation.

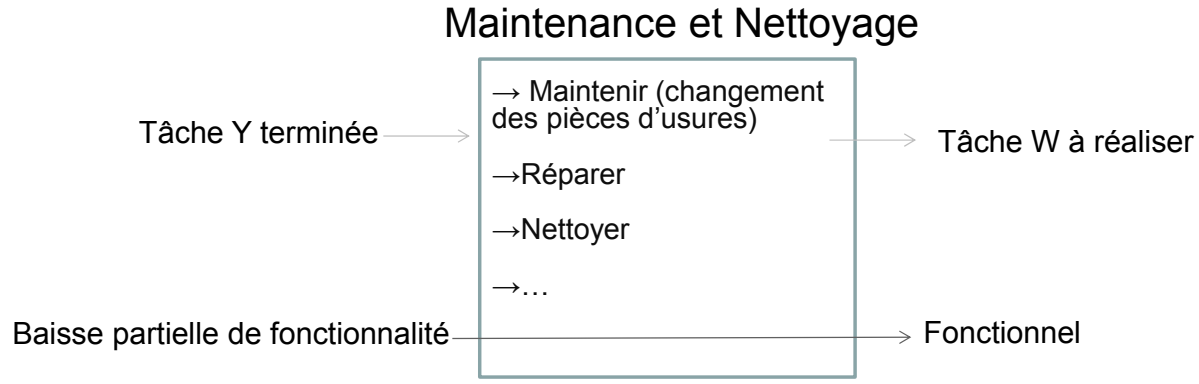


Figure 14 : Caractéristiques de la maintenance et nettoyage

Le moment de stockage ne modifie pas l'état fonctionnel du produit et les actions de l'utilisateur sont liées aux déplacements du produit (ranger et remettre en place).

L'état d'entrée correspond à la fin d'une tâche d'usage et celle de sortie correspond au début d'une tâche (qui peut être différente de celle d'entrée). Il s'agit d'un moment où le produit n'est plus utilisé sur une période de temps déterminée en attendant d'être à nouveau sollicité.



Figure 15 : Caractéristiques du stockage

Le moment d'amélioration est le lieu de deux actions : une amélioration de la performance dans la réalisation d'une fonction déjà existante et/ou l'ajout de fonction sur le produit. Elle sera suivie d'un moment d'apprentissage.
L'état du produit en sortie est toujours fonctionnel. Cependant, il peut être dans deux états fonctionnels en entrant, soit fonctionnel soit avec une baisse partielle de fonctionnalité qui sera comblée par l'amélioration.

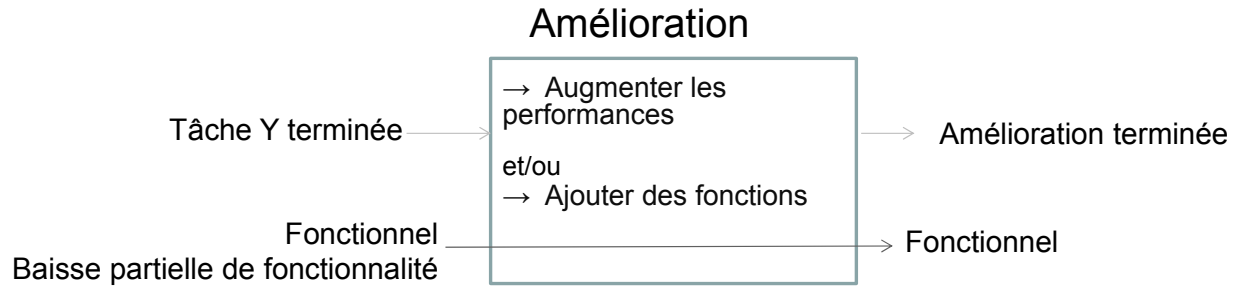


Figure 16 : Caractéristique de l'amélioration

Le dernier moment de l'utilisation du produit est la mise au rebut. Le produit est alors soit non fonctionnel soit avec une baisse de fonctionnalité que l'utilisateur considère comme critique et le moment ne modifie pas son état. L'action spécifique ici est la prise de décision par l'utilisateur que le produit ne rentrera plus dans la réalisation des tâches d'usage auxquelles il est associé.
Les états de sortie sont soit un stockage avec une fin non définie soit l'envoi vers une filière de fin de vie.



Figure 17 : Caractéristique de la mise au rebut

Combinaison des moments pour établir un modèle de la phase d'utilisation
Le modèle de la phase d'utilisation est une combinaison des différents moments. Les moments sont connectés les uns aux autres par une mise en commun d'un état de sortie avec un état d'entrée.
L'installation est connectée aux autres moments uniquement par ses états de sortie et la mise au rebut est connectée uniquement par ses états d'entrée avec un autre moment.

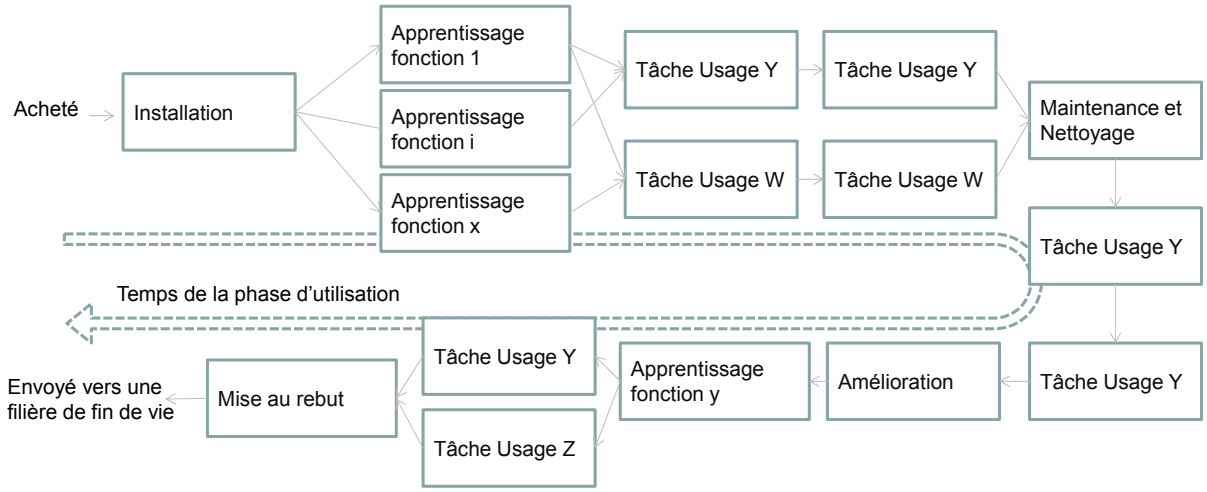


Figure 18 : Exemple d'enchaînement de moments pour modéliser la phase d'utilisation d'un produit

La Figure 18 présente un enchaînement des moments pour un produit fictif.
En début de phase d'utilisation, on a l'enchaînement du moment d'installation avec 3 apprentissages correspondants chacun à une fonction du produit. Il sera ensuite utilisé dans 2 tâches de la vie quotidienne : Y et W. Après deux tâches d'usage, Y et W, le produit passe par une phase de maintenance. Après cette maintenance, seule la tâche Y aura lieu. Une amélioration vient rajouter une fonction au produit, qui doit être apprise par l'utilisateur, qui mettra ensuite le produit en œuvre dans deux tâches d'usage avant de le mettre au rebut.

Le paragraphe suivant permet de décrire la troisième composante du modèle de l'utilisation : l'utilisateur en contexte.

3.1.4 Modèle de l'utilisateur en contexte

Nous avons vu dans la littérature que les modèles de l'utilisateur et du contexte de l'utilisation sont caractérisées par des paramètres différents. Ces paramètres sont choisis en fonction des objectifs du modèle. Dans le cas de l'éco-conception orientée utilisation, ce modèle doit servir à identifier tous les paramètres de l'utilisateur et du contexte qui influencent l'impact environnemental du produit et donc les actions de l'utilisateur.
La revue de la littérature nous a permis d'identifier un certain nombre de paramètres pour définir un modèle de contexte pour notre méthode. Les paramètres sélectionnés dans le modèle sont ceux qui sont à la fois utilisés en psychologie environnementale (Jackson 2005) et en conception centrée utilisateur (ISO 2011 ; Maguire 2001b ; Sierhuis, Clancey et Hoof 2009).

Le modèle de contexte proposé sépare ces paramètres selon deux lignes: la ligne utilisateur-environnement d'utilisation et la ligne objectif-subjectif.
La première ligne permet de différencier ce qui est propre à l'utilisateur - ses variables individuelles - de ce qui est propre à l'environnement dans lequel l'utilisateur évolue. Elle reprend la distinction faite dans la littérature entre l'utilisateur en tant qu'individu et l'environnement dans lequel il évolue.
La deuxième ligne permet de différencier les paramètres qui sont directement identifiables auprès de l'utilisateur, dont il a conscience, de ceux dont la caractérisation nécessite une approche d'analyse détournée. Cette distinction reflète le type d'outils qu'il faudra mettre en œuvre pour documenter ces parties du modèle de contexte.

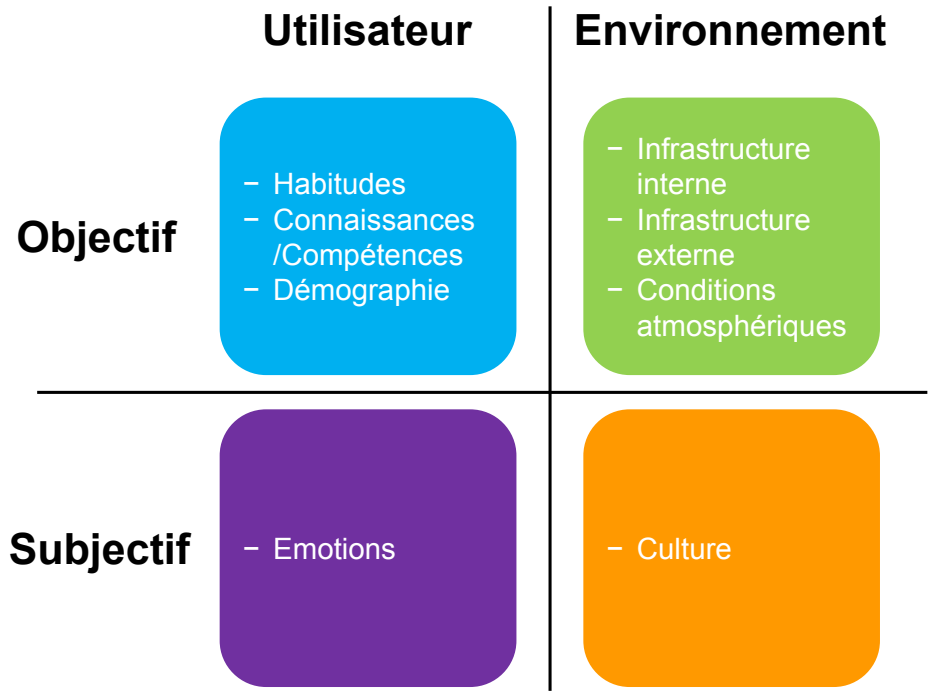


Figure 19 : Représentation schématique des composants du modèle de contexte

Utilisateur-Objectif :
Ce secteur du modèle de contexte est constitué de paramètres liés aux variables individuelles de l'utilisateur qui sont objectivement identifiables auprès de ce dernier. On y retrouve les catégories de paramètres suivantes : les habitudes, les connaissances et les compétences et la démographie.
Les modèles de l'utilisateur de la littérature mettent en avant l'influence des comportements passés et habituels dans le développement de nouveaux comportements face aux produits (ISO 2011 ; Triandis 1979). Nous avons donc considérés le paramètre habitude dans le modèle de contexte.
Les connaissances et les compétences des utilisateurs sont prises en compte dans les modèles de la littérature, notamment ceux maintenant en œuvre des produits logiciels (ISO 2011). Ces paramètres sont donc inclus dans notre modèle.
Le paramètre démographie est utilisé dans certains modèles pour identifier un groupe d'utilisateurs dans une population. Ce paramètre est utilisé dans le modèle de contexte pour les mêmes raisons.

Les habitudes sont caractérisées par un enchaînement d'actions que l'utilisateur met en œuvre à chaque fois qu'il se trouve dans une situation spécifique. Une habitude se crée lorsqu'un comportement est répété fréquemment.
Pour caractériser les habitudes dans le modèle de contexte, on décrira 3 paramètres : la fréquence de mise en œuvre de l'habitude, le cadre spécifique de déclenchement de l'habitude et l'enchaînement des actions de cette habitude. Le premier élément peut être caractérisé par un nombre et une unité de fréquence, les deux derniers éléments peuvent être formalisés sous forme d'un texte court.

Nom	Fréquence	Contexte	Habitudes

Figure 20 : Format de documentation des habitudes

La connaissance est le fait de se faire une idée claire sur l'objet considéré dans cette connaissance. La compétence est un ensemble de savoir-faire qui permet de réussir l'accomplissement d'une tâche.

Le modèle de contexte prendra en compte si l'utilisateur possède ou non une connaissance sur une liste d'objets prédéfinis et si il a les compétences pour accomplir un certain nombre de tâches identifiées en amont.
Ces objets prédéfinis contiendront à minima une évaluation des connaissances sur les enjeux environnementaux liés au produit.
La Figure 21 montre que les connaissances et les compétences peuvent être acquises ou non mais aussi que ces dernières peuvent être erronées ou vraies. Une connaissance qui aura la valeur « Oui (vrai) » veut dire que l'utilisateur a la connaissance de la notion et que cette connaissance est conforme à la définition de l'entreprise. Dans l'exemple de la Figure 21, l'utilisateur affirme connaître les mécanismes du réchauffement climatique et l'explication qu'il a fournie pour expliquer le phénomène est conforme à la définition de l'entreprise.
Une connaissance qui aura la valeur « Oui (erroné) » veut dire que l'utilisateur à la connaissance de la notion mais que sa définition de cette connaissance est différente de celle de l'entreprise. En ce qui concerne les compétences, la valeur « Oui (vrai) » caractérisera les compétences qui sont conformes à celles définies par l'entreprise et la valeur « Oui (erroné) » caractérisera les compétences non-conformes à la vision de l'entreprise. Dans la représentation de la Figure 21, l'utilisateur affirme connaître la contribution du produit au réchauffement climatique, mais il explique qu'il contribue peu à ce phénomène, alors que ce dernier y contribue beaucoup.
Dans l'exemple ci-dessous, l'utilisateur a une connaissance du réchauffement climatique à la fois sur ces mécanismes et sur la contribution du produit à ce phénomène. Il a une connaissance correcte, vraie, des mécanismes qui régissent le réchauffement climatique mais une connaissance faussée, erronée, de la contribution du produit en cours de conception à cet impact environnemental.

Type	Acquis	Principal	Secondaire
Connaissance	Oui (Vrai)	Réchauffement Climatique	Mécanismes
Compétence	Non	Maintenance	Filtre
Connaissance	Oui (Erroné)	Réchauffement Climatique	Contribution du produit

Figure 21 : Format de documentation des connaissances et des compétences

La catégorie démographie sert essentiellement à indiquer de façon quantitative à quelle tranche de la population l'instanciation du modèle fait référence. Les paramètres de cette catégorie sont : l'âge, le genre, la catégorie socioprofessionnelle - CSP, le niveau de revenu et d'éducation, le statut familial et le nombre d'enfants à charge.

	Valeur Min	Valeur Max	Unité
Age			An
Genre			
CSP			
Revenu			en % du revenu minimal
Education			
Statut familial			
Enfants à charge			Nombre d'enfants

Figure 22 : Format de documentation de la démographie

Contexte-Objectif
Ce secteur est constitué de paramètres liés à l'environnement d'utilisation des produits qui sont identifiables par l'utilisateur. Il est séparé en trois catégories : les infrastructures externes, les infrastructures internes et les conditions atmosphériques. Il représente tous les paramètres liés à l'environnement matériel, logiciel et physique de l'utilisateur qui influence son comportement ou le fonctionnement du produit.

Ces paramètres ont été choisis pour représenter ce que Triandis (1979) appelle les « conditions facilitatrices ». Ils ont une influence importante en psychologie mais aussi pour l'éco-conception. En effet, pour calculer les impacts environnementaux, identifier les réseaux d'approvisionnement et les fournisseurs d'eau, d'électricité ou de traitement des déchets fait partie de la démarche d'analyse de cycle de vie (ISO 2006). De plus, l'environnement proche de l'utilisateur, appelé ici infrastructures internes, est un paramètre important pour développer des solutions de conception adaptées à l'utilisateur (ISO 2011) et, par conséquence, des solutions d'éco-conception.

Les infrastructures externes représentent tous les éléments qui sont à l'extérieur du domicile de l'utilisateur et sur lequel il a peu de contrôle. Elles sont définies par 3 paramètres : le type d'infrastructure, l'accessibilité par l'utilisateur à cette infrastructure et le responsable du maintien de cette infrastructure c'est-à-dire le fournisseur de services.

Type	Accès	Fournisseur
Electricité	Oui	EDF
Eau	Oui	Véolia
Déchets	Non	

Figure 23 : Format de documentation des infrastructures externes

Les infrastructures internes représentent tous les éléments qui sont à l'intérieur du domicile et qui sont en contact direct ou indirect avec le produit. Comme pour les infrastructures, elles sont définies par 3 paramètres : le type d'infrastructure, le nombre à disposition pour l'utilisateur et sa localisation dans le domicile.

Produit	Nombre	Emplacement
Télévision	1	Salon à droite de la porte
Téléphone Portable	3	NA

Figure 24 : Format de documentation des infrastructures internes

Les conditions atmosphériques représentent les paramètres environnementaux au sens de la physique. On peut les diviser en trois : les conditions de température, les conditions de pression et les conditions hygrométriques. Ces trois paramètres sont définis par une valeur, une durée et une unité. Elles doivent prendre en compte les variations saisonnières de ces paramètres.

Saison	Tintérieur (en °C)	Textérieur (en °C)	Pression (en bar)	Hygrométrie (% d'humidité)
Eté				
Automne				
Printemps				
Hiver				

Figure 25 : Format de documentation des conditions atmosphériques

Contexte-Subjectif

Ce segment est aussi lié à l'environnement du produit mais au niveau sociologique. Il est constitué d'une seule catégorie : la culture.

Ce paramètre est présent dans les modèles de la littérature, soit par des aspects socio-culturels (ISO 2006) ou soit sous la forme de facteurs sociaux (Triandis 1979).

La culture représente toutes les normes sociales qui régissent le comportement de l'utilisateur de façon plus ou moins consciente. Les paramètres de la culture pris en compte dans notre modèle sont formalisés sous forme de phrase décrivant les principes subjectifs qui régiront les interactions entre

le produit en cours de développement et l'utilisateur. Elles peuvent être définies par rapport à des domaines spécifiques comme les pratiques domestiques, l'espace publique, l'éducation.
Les normes sociales concernant les problématiques environnementales de premier plan peuvent être inventoriées, notamment les résultats aux élections des partis politiques ayant un programme centré sur l'environnement ou des études de l'attitude des citoyens par rapport à l'environnement, comme dans GOES-Global Environnemental Survey (Ester et al. 2003).

Domaine	Nom	Description

Figure 26 : Format de documentation de la culture

Utilisateur-Subjectif
Ce segment représente les variables individuelles de l'utilisateur qui régissent son comportement de façon inconsciente. Il contient une catégorie : les émotions. Ce paramètre est présent à la fois dans les modèles issus de la psychologie (Jackson 2005) et des modèles de la conception centrée utilisateur (Sierhuis, Clancey et Hoof 2009).

Les émotions sont de nature différente des autres catégories : elles sont dynamiques. C'est-à-dire qu'elles varient de façon significative au cours de temps courts. Leur instanciation demande la mise en place d'outils de mesures spécifiques. On peut établir une liste finie d'émotions qui influencent le comportement de l'utilisateur.
Ces travaux étant de nature différente de part le dynamisme temporel de ces paramètres, ils font l'objet d'un travail de thèse à part dans le projet EcoUse. Ces travaux doctoraux sont menés par Francis Rasamoelina au LCPI, Arts et Métiers Paritech.

3.1.5 Instanciation des modèles

L'instanciation des modèles peut être dissociée en deux étapes.
Nous avons vu au chapitre précédent qu'il y a une grande variabilité en utilisation et qu'une approche par segmentation permet de réduire cette variabilité. Les modèles de l'utilisation doivent donc être instanciés sur une unité avec le moins de variabilité possible sans trop augmenter le nombre de modèles à considérer. L'unité segment pour la création et l'instanciation des modèles est donc la plus adéquate.
Une fois la variabilité diminuée, il faut documenter les modèles à partir d'informations à disposition auprès des utilisateurs. Un guide de sélection, présenté au paragraphe 1.1.5.2, pour la collecte de données a donc été développé afin d'instancier les modèles initiaux ainsi que leur évolution au cours du processus de conception. Les outils de collecte de données n'étant pas spécifique à l'éco-conception orientée phase d'utilisation, des manuels d'utilisation adaptés à notre méthode ont été développés. Leur processus de construction est détaillé au paragraphe 1.1.5.3.

3.1.5.1 Segmentation

Nous avons identifié 3 sources de variabilité en utilisation dans la littérature: le lieu d'utilisation, la culture et les variables individuelles.
Les deux premières sources de variabilité peuvent être associées à la géographie, c'est-à-dire qu'en un même lieu d'utilisation, on aura des traits culturels communs. Une segmentation par pays peut être intéressante afin de réduire la variabilité des lieux d'utilisation et de la culture. Un découpage plus fin de la zone géographique peut être envisagé afin de réduire une source de variabilité spécifique pour le produit en question (régime des températures, sous-culture spécifique…).
Une fois ces deux sources de variabilité rassemblées par une segmentation par pays, une deuxième segmentation au niveau des individus peut être faite. Nous avons décidé d'utiliser, pour gérer la variabilité entre individus, les segments proposés par l'ADEME. Ces segments sont définis selon deux classes de paramètres : les critères sociodémographiques ou les critères environnementaux - Tableau

5. Avoir deux jeux de paramètres permet d'aborder la segmentation sous deux angles : classique (à partir des critères sociodémographiques) ou environnement.

Tableau 5 : Segmentation selon les variables individuelles (l'exemple de (Ethicity 2011) pour l'ADEME)

	PA	VA	% pop	Age	Profession	Revenu	Type de foyer	Territoire
Eco-conscients	--	+	13.7	18-34	Professions intermédiaires	Modeste à Moyen Inférieur	Enfants	Communes Rurales et petites agglomérations
Conso survies	--	-	14.1	15-35	CSPI-	Modeste à Moyen Inférieur	1 Enfant	Communes Rurales et petites agglomérations
Moi d'abord	-	-	13.4	15-24 35-50	Artisans - Commerçants Agriculteurs Ouvriers	Aisé ou Modeste	Enfants	Grandes agglomérations
Familles vertes	0	+	11.1	15-45	CSPI Professions intermédiaires	Moyen Supérieur	Enfants	Communes Rurales
Croissance DD	+	++	9.2	Tous	CSPI +	Moyen supérieur à Aisé	Enfants de plus de 14 ans	Grandes agglomérations
Décrochés	+	--	11.7	Plus de 45	Actifs et Retraités CSPI-	Modeste à Inférieurs		Grandes agglomérations
Transmetteurs/Altruistes	++	-	13.8	Plus de 50	Retraités			Grandes agglomérations
Engagés	++	+	13	45-75	Actifs et Retraités CSPI+	Moyen supérieur à Aisé	2 personnes	Grandes agglomérations

Un segment peut donc être caractérisé par un ou plusieurs des éléments suivants liés à l'utilisateur :

- Pays principal d'utilisation
- Pouvoir d'action (PA)
- Volonté d'action (VA)
- Age
- Profession
- Revenu
- Type de foyer
- Territoire.

Pour chaque segment que l'entreprise souhaite atteindre avec sa proposition de produit, un modèle d'utilisateur en contexte devra être instancié. Ce modèle représentera le segment dans le processus de conception. On pourra instancier ce modèle à partir d'information collectée auprès des utilisateurs représentatifs de ce segment.

3.1.5.2 Guider le choix des outils pour instancier les modèles de l'utilisation

Afin de collecter des informations auprès des utilisateurs et sur les environnements d'utilisation, l'analyse de la littérature nous a permis d'identifier 11 outils provenant de 3 disciplines différentes des sciences sociales et de la conception qui peuvent être utilisés pour construire des modèles de l'utilisation.
L'ethnographie nous fournit deux outils d'observation avec capitalisation des données sous forme de note ou sous forme de vidéo et deux outils d'entretiens, le premier étant semi-directif et le deuxième semi-directif avec prise de photographie.
La psychologie nous fournit un outil : les tests psychométriques.
La sociologie permet d'explorer une dimension quantitative en proposant de faire des questionnaires à des échantillons très large d'utilisateurs, soit par téléphone, soit par internet.
La conception fournit des outils qui permettent d'interagir avec les utilisateurs même si le produit n'est pas fini. Les focus groupes ou les analyses de tâches permettent de discuter d'une proposition d'un concept de produit, d'un modèle CAO ou d'un prototype. En complément, l'analyse préliminaire permet de documenter les modèles sans faire soi-même la collecte de données et de capitaliser sur les résultats d'autres auteurs.

La définition des modèles nous permet de connaître les types de données à collecter. Le guide de choix des outils permet de coupler les outils existants avec le type de données qu'il peut fournir pour l'instanciation de nos modèles de l'utilisation (contexte et phase d'utilisation).
Le type de modèle de produit disponible à l'étape de conception est aussi pris en compte dans la sélection ainsi que les deux contraintes principales d'un projet de conception : le temps et le coût.

La liste des critères pour le choix des outils est donc la suivante :

- Contexte : les outils fournissent des informations propres à instancier toutes les catégories du modèle de contexte, représentées à la Figure 19:
    - Habitudes
    - Connaissances- Compétences
    - Démographie
    - Emotions
    - Culture
    - Infrastructure internes
    - Infrastructure externes
    - Conditions atmosphériques
- Phase d'utilisation : les outils fournissent des informations propres à instancier les moments du modèle de la phase d'utilisation, résumé dans le schéma de la Figure 18:
    - Installation
    - Apprentissage
    - Tâche d'Usage
    - Maintenance et Nettoyage
    - Stockage
    - Amélioration
    - Mise au rebut
- Conception : les outils fournissent des informations propres à mettre à jour les modèles contexte et/ou scénario à partir des modèles de produit suivant :
    - Version précédente ou produit similaire
    - Croquis ou Schéma
    - Modèle CAO
    - Prototype fonctionnel
    - Produit final

- Les deux critères supplémentaires sont donnés à titre d'information s'il faut choisir entre des outils :
    - Temps (pour la collecte, le traitement et l'analyse des données)
    - Coût (pour la collecte des informations)

Les outils répondent aux critères selon une note à 3 niveaux :
- A : L'outil permet de remplir complètement le critère,
- B : L'outil permet de remplir partiellement le critère, un outil complémentaire devrait être mis en œuvre pour remplir le critère,
- E : L'outil ne permet pas de remplir le critère.

Les notes des outils ont été attribuées en fonction de leurs caractéristiques des outils identifiées dans la littérature, exposées dans leur description, soit identifiées dans des exemples de leur application à des cas d'étude spécifiques.

Pour filtrer les outils, les concepteurs peuvent inventorier les informations déjà à leur disposition pour documenter les modèles (des projets précédents ou des études préliminaires) ainsi que le modèle de produit à leur disposition pour mettre à jour les modèles.
Par exemple, si le modèle de produit est un prototype fonctionnel, les outils sélectionnés en A sont l'analyse des tâches et le focus group et en B les outils d'observation. Entre les 4 outils, la sélection peut se faire sur la documentation des autres modèles.
Dans une autre situation de conception, l'entreprise peut avoir à sa disposition des informations sur la plupart des parties du modèle de contexte, sauf sur la culture. Dans ce cas, la sélection ne propose qu'un seul outil avec la note 1 : l'analyse préliminaire.

Les Tableau 6 et Tableau 7 présentent le niveau des différents outils sur les critères.

Tableau 6 : Sélection des outils- Partie 1/2

	Discipline	Ethnographie	Ethnographie	Ethnographie	Ethnographie	Ethnographie
	Catégorie	Observation	Observation	Entretien	Entretien	
	Type	Prise de Note	Vidéo	Semi-directif	Semi-directif avec Photo	Journal de bord
Contexte	Habitudes	A	A	A	A	A
Contexte	Connaissances-Compétences	B	B	A	A	B
Contexte	Démographie	A	A	A	A	A
Contexte	Emotions	E	E	E	E	B
Contexte	Culture	B	B	B	B	B
Contexte	Infrastructure interne	A	A	A	A	A
Contexte	Infrastructure externe	B	B	A	A	A
Contexte	Conditions atmosphériques	B	B	A	A	A
Phase d'ut.	Installation	A	A	B	B	A
Phase d'ut.	Apprentissage	A	A	B	B	A
Phase d'ut.	Tâche d'Usage	A	A	A	A	A
Phase d'ut.	Maintenance et Nettoyage	A	A	A	A	A
Phase d'ut.	Stockage	A	A	A	A	A
Phase d'ut.	Amélioration	A	A	A	A	A
Phase d'ut.	Mise au rebut	B	B	B	B	A
Conception	Version précédente ou produit similaire	A	A	A	A	A
Conception	Croquis – Schéma	E	E	E	E	E
Conception	Modèle CAO	E	E	E	E	E
Conception	Prototype fonctionnel	B	B	E	E	E
Conception	Produit final	A	A	E	E	E
Conception	Temps	E	E	B	B	E
Conception	Coût	B	E	B	B	B
Taille de l'échantillon représentatif		10	10	10	10	10

Tableau 7 : Sélection des outils- Partie 2/2

	Discipline	Psychologie	Sociologie	Sociologie	Conception	Conception	
	Catégorie		Questionnaire	Questionnaire	Observation	Observation	
	Type	Tests psychométriques	Par téléphone	Par internet	Focus Group	Analyse des tâches	Analyse préliminaire
Contexte	Habitudes	E	A	A	B	A	B
Contexte	Connaissances-Compétences	B	A	A	B	B	B
Contexte	Démographie	E	A	A	A	A	B
Contexte	Emotions	A	E	E	E	E	E
Contexte	Culture	E	B	B	E	B	A
Contexte	Infrastructure interne	E	A	A	E	E	A
Contexte	Infrastructure externe	E	A	A	E	E	A
Contexte	Conditions atmosphériques	E	A	A	E	B	A
Phase d'ut.	Installation	E	B	B	B	A	B
Phase d'ut.	Apprentissage	E	B	B	B	A	B
Phase d'ut.	Tâche d'Usage	E	A	A	A	A	B
Phase d'ut.	Maintenance et Nettoyage	E	B	B	B	A	B
Phase d'ut.	Stockage	E	B	B	B	A	B
Phase d'ut.	Amélioration	E	B	B	B	A	B
Phase d'ut.	Mise au rebut	E	B	B	B	A	B
Conception	Version précédente ou produit similaire	A	A	A	A	A	A
Conception	Croquis - Schéma	B	E	E	A	E	E
Conception	Modèle CAO	B	E	E	A	E	E
Conception	Prototype fonctionnel	B	E	E	A	A	E
Conception	Produit final	A	E	E	A	A	E
Conception	Temps	B	B	B	B	B	A
Conception	Coût	B	A	A	B	E	A
Taille de l'échantillon représentatif		10	100	100	5*4	10	NA

Aptitude des outils à instancier les modèles de contexte
Les outils issus des sciences sociales sont particulièrement adaptés pour instancier les modèles de contexte. L'identification des habitudes des utilisateurs, leur démographie ainsi que les infrastructures internes peut être faite grâce aux outils d'observation et d'entretien. Les outils d'entretien permettent en plus d'obtenir des informations sur les connaissances et compétences ainsi que sur les infrastructures externes et les conditions atmosphériques. Ils permettent aussi de documenter partiellement les normes culturelles des utilisateurs. Une analyse préliminaire de la littérature permet de compléter les informations manquantes de ces outils, notamment les informations sur la culture, les infrastructures externes et les conditions atmosphériques.
Les émotions, cependant, nécessitent des outils issus de la psychologie comme les tests psychométriques. C'est en effet le seul outil qui permette de documenter complètement ce critère.

Aptitude des outils à instancier les modèles de la phase d'utilisation
Les outils issus de l'ethnographie servent à obtenir des informations sur tous les moments de la phase d'utilisation. Cependant, des difficultés apparaissent pour les moments les moins fréquents (installation, apprentissage et mise au rebut) qui peuvent être difficile à se remémorer pour les utilisateurs.
Les outils sociologiques peuvent fournir des données quantitatives pour les moments fréquents (associés aux habitudes) comme les usages.
L'analyse des tâches est aussi un outil très intéressant pour identifier les composantes du modèle de la phase d'utilisation sur un produit non fini.

Aptitude des outils à intégrer les modèles de produit
Tous les outils peuvent se baser sur une version précédente du produit. La difficulté pour les outils des sciences sociales est de travailler sur des modèles de produit non finis.
Pour cela, il faut se tourner vers des outils de conception comme les focus groupes pour les modèles peu détaillés (croquis-schéma et modèle CAO) et l'analyse des tâches à partir du moment où un prototype est disponible.

Le cas particulier des analyses préliminaires
Les analyses préliminaires sont à classer à part puisqu'il s'agit d'identifier des sources d'information génériques pour documenter des modèles spécifiques à un produit.
Ils fournissent des informations complètes sur les parties du contexte associées à l'environnement objectif comme la culture, les infrastructures et les conditions atmosphériques et sur les produits existants. Toutes les autres critères ne sont remplis que partiellement (sauf pour les émotions qui sont très difficilement identifiables à partir de données secondaires) car cela dépendra de la disponibilité d'études sur ce domaine.

3.1.5.3 Les manuels d'utilisation des outils pour l'éco-conception orientée utilisation

Les outils documentés dans le guide de sélection des outils n'ont pas tous été développés pour la conception et aucun pour l'éco-conception. Afin d'assurer une utilisation appropriée des outils pour la collecte d'informations, des manuels d'utilisation spécifiques à l'éco-conception orientée utilisation doivent être proposée pour être sûr que la collecte permette de remplir tous les critères du tableau. Ils regroupent des informations sur les caractéristiques génériques de l'outil et sur les spécificités à prendre en compte pour l'éco-conception orientée utilisation.
Nous détaillerons ici la construction du manuel d'utilisation pour les entretiens semi-directifs.

L'entretien semi-directif peut permettre de collecter des données sur le modèle de contexte (sauf les émotions et partiellement sur la culture) et sur les moments du modèle de la phase d'utilisation.
Le manuel d'utilisation est séparé en deux parties : comment préparer l'entretien et comment conduire l'entretien. Chacune de ces parties répond à des règles génériques ainsi qu'à des préconisations spécifiques à l'éco-conception orientée utilisateur.

Pour la préparation de l'entretien, et ce pour tous les outils, une liste des données que l'on souhaite collecter doit être faite en amont. La forme de la donnée à collecter est aussi très importante pour les entretiens car elle définira le type de question à poser.
Trois types de questions peuvent être posés pendant un entretien semi-directif : les questions fermées, qui demanderont une réponse dans un intervalle de données prédéfinies (oui/non, un nombre…), les questions ouvertes, qui demanderont une réponse sous forme de discours non contraint par un intervalle et les questions semi-ouvertes, qui demanderont un récit complémentaire si la réponse prend une valeur spécifique (par exemple, « Si oui, expliquez…. »).
Nous devons collecter des informations pour compléter les modèles de contexte et de la phase d'utilisation qui ont un formalisme prédéfini. Le tableau suivant associe à chaque paramètre des modèles les types de questions qui seront posées :

Tableau 8 : Type de question par paramètre des modèles

Modèle	Catégorie	Paramètres	Type de question
Contexte	Habitudes	Habitude	Ouverte
		Fréquence	Fermée
		Contexte	Semi-ouverte
	Connaissances et compétences	Acquis	Semi-ouverte
	Démographie	Tous	Fermée
	Infrastructure externe	Accès	Fermée
		Fournisseur	Semi-ouverte
	Infrastructure interne	Nombre	Fermée
		Emplacement	Semi-ouverte
	Conditions atmosphériques	Tous	Fermée
Phase d'utilisation		Installation	Semi-ouverte
		Apprentissage	Semi-ouverte
		Tâche d'usage	Semi-ouverte
		Maintenance et Nettoyage	Semi-ouverte
		Rangement	Semi-ouverte
		Amélioration	Semi-ouverte
		Mise au rebut	Semi-ouverte

Les questions les plus rapides à poser sont les questions fermées. Dans notre manuel d'entretien, nous conseillons de les regrouper dans une partie nommée Données Générales et de commencer par cette partie. Avec la liste des paramètres d'intérêt pour le projet de conception, on pourra rédiger une liste de question à poser sur les catégories : démographie, infrastructures internes et externe et conditions atmosphériques. Pour les infrastructures, on ajoutera des questions semi-ouvertes pour identifier le fournisseur ou l'emplacement de ces dernières.
On peut ensuite passer à la partie questions semi-ouvertes. Dans cette partie, on aura deux groupes : une partie sur les habitudes associées à chaque moment du scénario du produit et une partie sur l'évaluation des connaissances et des compétences.
La partie sur les habitudes doit couvrir tous les moments qui peuvent avoir lieu avec le produit. Un inventaire préalable doit être fait pour définir notamment les tâches d'usage mais il faudra aussi laisser la possibilité à l'utilisateur d'exprimer des moments que les concepteurs n'avaient pas envisagés avec le produit. Ensuite, trois paramètres doivent être identifiables, le premier étant la fréquence, le deuxième le contexte, qui doit répondre aux données collectées dans la première partie de l'entretien, et le récit de l'organisation du moment.

L'évaluation des connaissances et compétences se fait en deux parties : d'abord si la personne à une connaissance ou une compétence dans le domaine souhaité avec une question fermée et ensuite une question ouverte avec une demande de restitution de sa connaissance ou de sa compétence afin de compléter par la mention « vrai » ou « erroné ».
Le manuel définit plus en détails le contenu des trois sections suivantes : Données générales (questions fermées), Habitudes par rapport aux moments (questions semi-ouvertes) et Connaissances et compétences (questions semi-ouvertes) présenté en Annexe *A.1 Manuel d'utilisation : Entretiens semi-directifs*.

En ce qui concerne la conduite de l'entretien, les règles énoncées sont essentiellement liées à la forme générale de l'outil entretien. La seule spécificité est d'éviter de mentionner l'ambition environnementale de l'entretien, afin de ne pas inciter l'utilisateur à enjoliver ses habitudes.

3.2 Diagnostic environnemental

3.2.1 Scénario d'utilisation : Instanciation du modèle de la phase d'utilisation pour le diagnostic environnemental

Le modèle de scénario est la base de l'évaluation environnementale. A partir des 3 modèles de l'utilisation- Produit, Phase d'utilisation et Utilisateur en contexte, une instanciation du modèle de scénario permet d'évaluer l'impact environnemental de l'utilisation de la conception actuelle du produit. Les modèles de l'utilisation peuvent être documentés aussi bien quantitativement (au début du processus de conception notamment) que quantitativement. Le scénario d'utilisation est, quant à lui, un modèle essentiellement quantitatif, pour permettre l'évaluation environnementale.
Avec une modélisation du produit, de la phase d'utilisation et du contexte pour un groupe d'utilisateur spécifique, un scénario défini par des valeurs sera généré sous forme de tableau pour ensuite être utilisé dans l'évaluation environnementale - Figure 27.
Dans ce tableau, les lignes seront définies en fonction des paramètres du produit, les colonnes en fonction des paramètres de la phase d'utilisation (moments et actions) et les valeurs à l'intersection d'une ligne et d'une colonne seront définies d'après le modèle de contexte.

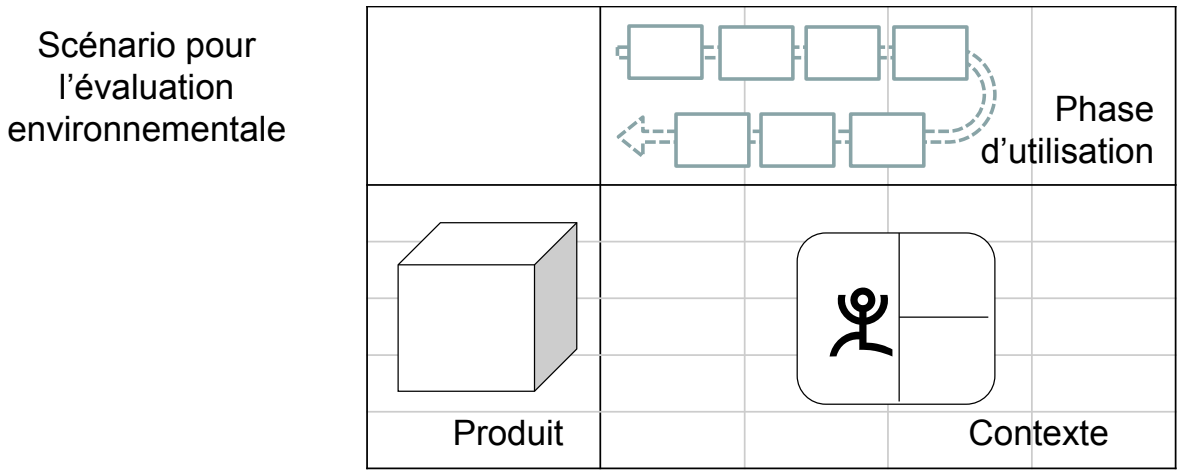


Figure 27 : Combinaison des modèles de l'utilisation pour générer un scénario

Ce modèle se construit sur la base de 3 éléments : le paramètre produit, l'action et l'occurrence d'un moment.

Identification des flux : Paramètre produit

Le modèle de produit permet d'identifier les éléments qui seront sollicités lors de la phase d'utilisation.

Un paramètre produit est l'association à une fonction de la loi de comportement des composants pour réaliser cette fonction. Ce paramètre produit permettra d'associer à chaque sollicitation du produit pour réaliser une fonction un score environnemental.

Les lois de comportement sont discrétisées sur une unité de temps définie par une action du modèle de la phase d'utilisation (voir paragraphe suivant).

Ce score environnemental correspond à l'association d'un inventaire de cycle de vie pondéré par la quantité par unité de sollicitation de cet inventaire

Le score environnemental peut être décomposé en inventaire de cycle de vie élémentaire, associé à deux processus élémentaire, à disposition dans une base de données d'évaluation environnementale externe, comme ecoInvent.

(1) $$P_j = \sum_p a_p * ICV_p(A)$$

Avec :

- P_j= Paramètre de produit de la fonction j
- a_p= Quantité sollicitée établi à partir des lois de comportement des composants pour la fonction j pour le processus élémentaire A
- $ICV_p(A)$= Inventaire de cycle de vie pour le processus A.

Unité de temps en lien avec le paramètre produit : l'action

L'action a déjà été définie par un verbe et un qualificatif, si nécessaire, lors de la définition des moments.

Dans le modèle de scénario, elle sera définie par deux paramètres supplémentaires : sa durée et son score environnemental, calculé à partir du nombre de fois où un paramètre produit est sollicité au cours d'une itération.

La durée définie ici est celle qui permet de déterminer l'unité pour discrétiser les lois de comportement du paramètre produit.

Pour un produit avec n paramètres, l'action sera représentée par le vecteur suivant :

(2) $$Action_{(i;k)} = \begin{pmatrix} Durée_{action_{(i;k)}} \\ b_{(1;i;k)}P_1 \\ \dots \\ b_{(j;i;k)}P_j \\ \dots \\ b_{(n;i;k)}P_n \end{pmatrix}$$

- $Durée_{action(i;k)}$: durée de l'action en unité de temps, à définir par le projet
- $b_{(j;i;k)}$: Un entier correspondant au nombre de fois ou le paramètre produit Pj est mis à profit au cours de l'action(i ;k)

Occurrence : quantifier l'apparition des moments sur la phase d'utilisation

L'occurrence permet de simplifier la représentation du modèle de la phase d'utilisation en associant à chaque moment un nombre de fois où il aura lieu sur l'ensemble de la phase d'utilisation.

Il s'agit d'un compteur qui permettra de multiplier le score environnemental d'une action par le nombre de fois où elle aura lieu sur toute la phase d'utilisation.

A partir de l'occurrence, on peut calculer le score environnemental : d'un moment et de toutes les actions d'un moment et des paramètres d'une action sur l'ensemble de la phase d'utilisation. Nous appellerons ce score inventaire :

(3) $$Inventaire_{moment_k} = Occurence_{moment_k} * \sum_j Durée_{action_{(j;k)}} * \sum_j \sum_n b_{(n;j;k)} P_n$$

(4) $$Inventaire_{action_{(j;k)}} = Occurence_{moment_k} * Durée_{action_{(j;k)}} * \sum_n b_{(n;j;k)} P_n$$

(5) $$Inventaire_{paramètre_{(i,j;k)}} = Occurence_{moment_k} * Durée_{action_{(j;k)}} * b_{(i;j;k)} P_i$$

Documentation des a_i, $b_{(i;j;k)}$; $Durée_{action(j;k)}$ et $Occurrence_{momentk}$:

			Moment 1				Moment k			Moment n		
Type			Installation				Usage			Mise au rébut		
Occurrence			Occurrence (Moment 1)				Occurrence (Moment k)			Occurrence (Moment n)		
			Action (1,1)	Action (2,1)	Action (3,1)	...	Action (1;k)	Action (2;k)	...	Action (1,m)	Action (2,m)	Action (3,m)
	Valeur	Unité	Valeur	Valeur			Valeur	Valeur		Valeur	Valeur	Valeur
Durée			Durée (1,1)	Durée (2,1)	Durée (3,1)		Durée (1;k)	Durée (2;k)		Durée (1,m)	Durée (2,m)	Durée (3,m)
Paramètre 1	P1		b(1;1;1)	b(1;2;1)	b(1;3;1)		b(1;1;k)	b(1;2;k)		b(1;1;m)	b(1;2;m)	b(1;3;m)
...												
Paramètre j	Pj		b(j;1;1)	b(j;2;1)	b(j;3;1)		b(j;1;k)	b(j;2;k)		b(j;1;m)	b(j;2;m)	b(j;3;m)
...												
Paramètre n	Pn		b(n;1;1)	b(n;2;1)	b(n;3;1)		b(n;1;k)	b(n;2;k)		b(n;1;m)	b(n;2;m)	b(n;3;m)

Figure 28 : Format de documentation du scénario pour l'évaluation environnementale

Les données utilisées afin de calculer les inventaires définis au paragraphe précédent peuvent être documentées dans un tableau comme présenté à la Figure 28
Dans la deuxième colonne, on définit le paramètre produit. Il peut s'exprimer avec sa référence propre (Pj) soit directement sous la forme inventaire (voir équation (1)).
L'occurrence est documentée pour chaque moment à la troisième ligne du tableau.
Pour chaque action, on définira dans le sens descendant de la colonne d'abord la durée, puis tous les entiers correspondant à chaque paramètre produit sollicité par l'action.

Ce tableur servira de source d'informations pour construire le modèle de la phase d'utilisation dans le logiciel d'analyse de cycle de vie disponible dans l'entreprise.

3.2.2 Choix des indicateurs

Le choix des indicateurs d'impact environnemental est primordial dans une démarche d'éco-conception. Il doit être conscient et justifié. Notre approche de l'éco-conception, en s'orientant sur l'utilisation, fournit des informations qui peuvent aider aux choix d'indicateurs reflétant les problématiques de la partie prenante utilisateur, le reste des indicateurs étant choisi par l'entreprise en fonction des réglementations, des contraintes de ses clients et de ses objectifs propres.
Le modèle de contexte fournit des informations dans deux catégories qui peuvent aider à la sélection des indicateurs spécifiques à l'utilisation :

- La culture, qui permet d'identifier les problématiques environnementales d'importance dans la société civile et les enjeux politiques liés à cette question et,
- La connaissance, qui permet d'identifier les indicateurs et les informations qui peuvent être compris par les utilisateurs.

La sélection se basant sur le modèle de contexte, les indicateurs pourront être utilisés pour communiquer avec les utilisateurs sur des thématiques qu'ils comprennent et qui les intéressent, mais aussi d'augmenter leur connaissance sur des problématiques peu connues associées au produit.

3.2.3 Modèle de scénario : présentation du diagnostic

En modélisant la phase d'utilisation en fonction des paramètres produit Pj, des actions et des moments, on peut évaluer le modèle de scénario pour chaque indicateur sélectionné à l'étape précédente.

Les résultats de l'évaluation environnementale seront présentés de façon qualitative. A chacun des 3 niveaux (paramètre produit, action et moment), les contributeurs principaux seront identifiés par un code couleur -Figure 29. Une présentation des contributions aux indicateurs d'impacts environnementaux sous forme relative, en ordre de contributions sur les paramètres produit, les actions et les moments, permet de faciliter l'interprétation des résultats et de s'affranchir de la notion d'incertitude sur la valeur numérique.

Les 20% des contributions les plus faibles, seront identifiés par du vert et les 20% des contributions les plus fortes, seront identifiés par du rouge.

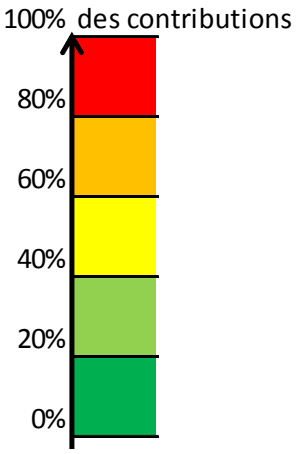


Figure 29 : Echelle de couleur pour les contributions

La figure suivante illustre le retour d'information de l'évaluation environnementale à travers la contribution des paramètres, des actions et des moments à un indicateur d'impact.

			Moment 1				Moment k			Moment n		
Type			Installation				Usage			Mise au rébut		
Occurrence			Occurrence (Moment 1)				Occurrence (Moment k)			Occurrence (Moment n)		
			Action (1,1)	Action (2,1)	Action (3,1)	...	Action (1;k)	Action (2;k)	...	Action (1,m)	Action (2,m)	Action (3,m)
	Valeur	Unité	Valeur	Valeur			Valeur	Valeur		Valeur	Valeur	Valeur
Durée			Durée (1,1)	Durée (2,1)	Durée (3,1)		Durée (1;k)	Durée (2;k)		Durée (1,m)	Durée (2,m)	Durée (3,m)
Paramètre 1	P1		b(1;1;1)	b(1;2;1)	b(1;3;1)		b(1;1;k)	b(1;2;k)		b(1;1;m)	b(1;2;m)	b(1;3;m)
...												
Paramètre j	Pj		b(j;1;1)	b(j;2;1)	b(j;3;1)		b(j;1;k)	b(j;2;k)		b(j;1;m)	b(j;2;m)	b(j;3;m)
...												
Paramètre n	Pn		b(n;1;1)	b(n;2;1)	b(n;3;1)		b(n;1;k)	b(n;2;k)		b(n;1;m)	b(n;2;m)	b(n;3;m)

Figure 30 : Contribution des paramètres par action, des actions et des moments à un indicateur environnemental

La figure montre que le moment le plus contributeur est dans la catégorie Tâche d'usage et que les deux actions de ce moment ont une contribution importante. Si l'on regarde les paramètres, on voit

que le paramètre j est un important contributeur car il est mis en avant dans plusieurs paramètres par action sur cette tâche d'usage.

L'interprétation des résultats doit permettre d'identifier si la contribution à l'impact environnemental est due à : une durée d'action longue, un paramètre produit mettant en œuvre une intensité de flux conséquente et/ou une occurrence importante d'un moment. Cette interprétation permettra d'ordonner les modifications à mettre en œuvre pour éco-concevoir le produit.

3.2.4 Amélioration de la performance

Une fois le diagnostic établi, des solutions d'amélioration doivent être proposées par les concepteurs. Afin de les guider dans leur recherche de solutions, une liste de stratégies a été établie à partir de la littérature.

A partir des stratégies de l'éco-conception classique sur la phase d'utilisation (Telenko, Seepersad, et Webber 2008), de la conception pour les comportements soutenables (Lilley, Bhamra, et Lofthouse 2006) et quelques préconisations de la conception centrée utilisateur (ISO 2011), nous avons construit une liste de 9 stratégies de haut niveau. Pour cinq de ces stratégies, nous avons associés des sous-stratégies. Elles sont nommées « stratégies » dans la littérature, mais peuvent être définis comme des cas particulier des 9 stratégies de haut niveau. Par exemple, la stratégie « Fournir un système auto-descriptif » est un cas particulier de la stratégie n°7 « Guider le comportement de l'utilisateur », appliquée à l'interface du produit.

Une dixième stratégie de haut niveau, adaptée du domaine des politiques publiques a été ajouté (n°10). Cette stratégie sort du cadre de la conception au sens strict puisqu'elle n'aura des conséquences directes que sur les modèles de la phase d'utilisation et de contexte. Son influence sur la conception du produit se fera par la réévaluation de l'impact environnemental du scénario d'utilisation.

En tout, le guide de stratégies reprend une liste de 20 stratégies pour améliorer l'impact environnemental du produit :

Tableau 9 : Liste des stratégies regroupées pour l'amélioration

1	Minimiser les consommations
	Diminuer l'intensité des consommations
	Diminuer la durée des consommations
	Mettre par défaut les paramètres les moins impactants pour l'environnement
2	Etendre la durée de vie
	Concevoir pour la maintenance et pour les améliorations pour augmenter la durée de vie
	Anticiper les besoins et les améliorations de produit
	Augmenter la tolérance aux erreurs
3	Minimiser l'impact des consommables
4	Passer du produit aux services
5	Répondre à tous et uniquement aux besoins fonctionnels de l'utilisateur
	Etre conforme aux besoins de l'utilisateur
6	Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit
7	Guider le comportement de l'utilisateur
	Fournir un système auto-descriptif
8	Proposer des fonctions intelligentes qui donnent le contrôle de l'impact environnemental seulement au produit
	Adapter le produit à la tâche
	Adapter le produit à l'utilisateur en tant qu'individu
9	Donner le contrôle total à l'utilisateur
10	Se concerter avec les utilisateurs, les représentants de la société civile et les ONG

Deux éléments permettent de faciliter la mise en œuvre de ces stratégies : d'abord des critères de sélection et ensuite des illustrations de l'application de la stratégie sur des produits.

En ce qui concerne les critères de sélection des stratégies, nous avons établi 3 catégories de sélection en fonction:

- Des moments du scénario d'utilisation dont elle améliorera la performance environnementale
- De la volonté d'agir des utilisateurs auxquelles la stratégie s'adressera, qui peut être associée aux données du modèle de contexte,
- De l'étape de conception à laquelle on se situe.

Classement des stratégies par moments

Le critère moment pour classifier les stratégies permet de savoir de quel moment de la phase d'utilisation cette stratégie pourra améliorer l'impact environnemental du produit.

Certaines stratégies peuvent avoir une influence positive sur tous les moments de l'utilisation. C'est le cas par exemple de la stratégie 5 « Répondre à tous et uniquement aux besoins fonctionnels de l'utilisateur ».

Une majorité de stratégies vise à améliorer la performance sur les tâches d'usage car ce sont souvent elles qui contribuent le plus à l'impact de la phase d'utilisation, du fait de leur occurrence importante. On retrouve dans ces stratégies qui visent uniquement les tâches d'usage les stratégies de classe 1 « Minimiser les consommations» ou les stratégies de classe 8 « Proposer des fonctions intelligentes qui donnent le contrôle de l'impact environnemental seulement au produit ».

		Moments					
		Usage	Rangement	Maintenance	Amélioratoi	Mise au rebu	Volonté d'agir
1	Minimiser les consommations	*					+/-
	Diminuer l'intensité des consommations	*					--
	Diminuer la durée des consommations	*					+/-
	Mettre par défaut les paramètres les moins impactants pour l'environnement	*		*			--
2	Etendre la durée de vie			*	*	*	++
	Concevoir pour la maintenance et pour les améliorations pour augmenter la durée de vie			*	*	*	++
	Anticiper les besoins et les améliorations de produit				*		+/-
	Augmenter la tolérance aux erreurs	*		*		*	--
3	Minimiser l'impact des consommables	*		*			+/-
4	Passer du produit aux services	*				*	+/-
5	Répondre à tous et uniquement aux besoins fonctionnels de l'utilisateur	*	*	*	*	*	++
	Etre conforme aux besoins de l'utilisateur	*				*	+/-
6	Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit				*		++
7	Guider le comportement de l'utilisateur	*	*	*	*	*	++
	Fournir un système auto-descriptif	*		*	*		+/-
8	Proposer des fonctions intelligentes qui donnent le contrôle de l'impact enviro	*		*			--
	Adapter le produit à la tâche	*					--
	Adapter le produit à l'utilisateur en tant qu'individu	*					--
9	Donner le contrôle total à l'utilisateur	*	*	*	*	*	++
10	Se concerter avec les utilisateur, les représentants de la société civile et les ONG	*		*		*	++

Figure 31 : Copie d'écran de l'outil stratégies: Choix par moments et par volonté d'agir de l'utilisateur

Classement des stratégies en fonction de la volonté d'agir des utilisateurs

Certaines stratégies nécessitent l'intervention adéquate de l'utilisateur pour atteindre leur potentiel environnemental. Si le segment auxquelles elles sont destinées a une volonté d'agir pour l'environnement différente de celle nécessaire, il y a peu de chance que le produit ait un impact environnemental réduit.

Ce critère peut prendre 3 valeurs :

- « -- » : l'utilisateur doit avoir une volonté d'agir pour l'environnement faible,
- « -/+ » : l'utilisateur peut avoir n'importe quelle volonté d'agir pour l'environnement,
- « ++ » : l'utilisateur doit avoir une volonté d'agir pour l'environnement forte.

Par exemple, les stratégies de classe 8 - Produits intelligents- sont adressées à des utilisateurs avec une volonté faible d'agir pour l'amélioration de l'environnement. Au contraire, la stratégie 6 « Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit » doit être adressée à des utilisateurs avec une forte volonté d'agir sur la problématique environnementale.

Classement en fonction des étapes de conception

Les stratégies peuvent être implémentées à différentes étapes de la conception du produit. Pour certaines, si leur mise en œuvre n'a pas été envisagée dès le début du processus de développement, elle ne pourra pas être mise en œuvre après coup.

Les étapes de conception considérées sont les suivantes :

- Planification
- Conception préliminaire
- Conception détaillée
- Prototypage.

Par exemple, les stratégies de type 5 « Répondre à tous et uniquement aux besoins fonctionnels de l'utilisateur » doivent être mises en œuvre en planification ou en conception préliminaire au plus tard afin d'atteindre leur potentiel d'amélioration environnementale.

		Etapes de conception			
		Planificaiton	Conception	Conception d	Prototypage
1	Minimiser les consommations	*	*	*	*
	Diminuer l'intensité des consommations	*	*	*	*
	Diminuer la durée des consommations	*	*	*	*
	Mettre par défaut les paramètres les moins impactants pour l'environnement				*
2	Etendre la durée de vie	*	*	*	*
	Concevoir pour la maintenance et pour les améliorations pour augmenter la dur	*	*	*	*
	Anticiper les besoins et les améliorations de produit	*	*	*	*
	Augmenter la tolérance aux erreurs			*	*
3	Minimiser l'impact des consommables				*
4	Passer du produit aux services				
5	Répondre à tous et uniquement aux besoins fonctionnels de l'utilisateur	*	*		
	Etre conforme aux besoins de l'utilisateur	*	*		
6	Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit	*	*	*	*
7	Guider le comportement de l'utilisateur		*	*	
	Fournir un système auto-descriptif		*	*	*
8	Proposer des fonctions intelligentes qui donnent le contrôle de l'impact environnemental seulement au produit		*	*	*
	Adapter le produit à la tâche		*	*	*
	Adapter le produit à l'utilisateur en tant qu'individu		*	*	*
9	Donner le contrôle total à l'utilisateur	*	*	*	*
10	Se concerter avec les utilisateurs, les représentants de la société civile et les ONG				

Figure 32 : Copie d'écran de l'outil stratégies: Choix par étapes du processus de conception

Fournir des exemples pour stimuler la créativité

En ce qui concerne les applications, la littérature nous a fourni des illustrations que l'on peut associer à chaque stratégie.

Par exemple, la stratégie « donner un retour d'information sur l'impact environnemental du produit» est illustrée par l'exemple des compteurs électriques «intelligents», du pommeau de douche interactif et du tableau de bord de la Toyota Prius.

La figure suivante propose un extrait de l'outil avec les exemples associés aux stratégies.

		Examples			
1	Minimiser les consommations	Pour les détails, voir les guidelines Synergico		ErP	
	Diminuer l'intensité des consommations				
	Diminuer la durée des consommations				
	Mettre par défaut les paramètres les moins impactants pour l'environnement				
2	Etendre la durée de vie	Vélo'v			
	Concevoir pour la maintenance et pour les améliorations pour augmenter la durée de vie				
	Anticiper les besoins et les améliorations de produit				
	Augmenter la tolérance aux erreurs				
3	Minimiser l'impact des consommables	Cartouche rechargeable			
4	Passer du produit aux services	Vélo'v	Diggo		
5	Répondre à tous et uniquement aux besoins fonctionnels de l'utilisateur	Tiroir à "Lunch bag"pour le réfrigérateur en Angleterre			
	Etre conforme aux besoins de l'utilisateur				
6	Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit	Compteur intelligent (Energie)	Interface pour un	Tableau de Bord de la Toyota Prius	
7	Guider le comportement de l'utilisateur	Distributeur de billets			
	Fournir un système auto-descriptif				
8	Proposer des fonctions intelligentes qui donnent le contrôle de l'impact enviro	Différencier le cycle d'utilisation du p	Retroéclairage des écrans		
	Adapter le produit à la tâche				
	Adapter le produit à l'utilisateur en tant qu'individu	Personalisaiton	Conception Modulaire		
9	Donner le contrôle total à l'utilisateur				
10	Se concerter avec les utilisateur, les représentants de la société civile et les ONG	Politique publique: démocratie participative			

Figure 33 : Copie d'écran de l'outil stratégies et des exemples d'applications

3.3 Méthode de conception

3.3.1 Acteurs

Les modèles et outils présentés dans la section précédente seront utilisés par les acteurs de la conception. Cette méthode de conception repose sur 3 types d'acteurs : les acteurs de la conception

classique, c'est-à-dire qui sont présents dans n'importe quel processus de conception (ISO 2011; ISO 2003), les acteurs additionnels liés à l'éco-conception (ISO 2003) et les acteurs liés aux spécificités de l'intégration de l'utilisation (ISO 2011) dans une méthode d'éco-conception.

Les acteurs classiques sont au nombre de 4 divisés en deux catégories : la stratégie et l'opérationnel. Cette méthode sollicite deux acteurs de la stratégie : la planification stratégique et le marketing.
La planification stratégique possède les rôles suivants :

- Etablir la stratégie de l'entreprise à long terme et fixer les objectifs globaux de l'entreprise
- Plus spécifiquement, elle fixe les objectifs en terme d'amélioration de l'impact environnemental, de segments de marché à atteindre, et de satisfaction des clients.

Le marketing possède les rôles suivants :

- Négocier avec le client ses exigences pour le développement produit
- Transformer les exigences des clients en spécifications de conception de produit
- Vérifier que les spécifications de conception sont en accord avec les spécifications clients et les objectifs stratégiques.

En ce qui concerne l'opérationnel, nous avons séparé les acteurs en deux pôles : chef de projet et bureau d'études.
Le chef de projet a les rôles suivants :

- Vérifier que les propositions du bureau d'études sont en accord avec les objectifs stratégiques et les spécifications clients,
- Piloter le bureau d'études et gérer les conflits entre propositions de conception des différents métiers du bureau d'études.

Le bureau d'études regroupe tous les concepteurs et designers. Pour simplifier les représentations de la méthode, nous les avons regroupés sous le titre de bureau d'études. Son rôle est de :

- Proposer des solutions de conception de produit en adéquation avec les spécifications du client.

Proposer une méthode d'éco-conception nécessite d'ajouter un acteur lié au pilotage des spécificités de la conception pour l'environnement. Nous l'appellerons l'expert environnement. Il aura les rôles suivants :

- Réaliser des évaluations environnementales à partir des données fournies par l'opérationnel
- Supporter l'opérationnel dans l'amélioration environnementale des solutions de conception, en conformité avec l'approche cycle de vie de produit de l'éco-conception.

L'intégration de l'utilisation dans la conception de produit pour l'environnement est supportée par deux acteurs : l'utilisateur et l'expert du facteur humain.
L'utilisateur a le rôle suivant :

- Fournir des données pour la construction des modèles réalistes de l'utilisation,
- Négocier les solutions de conception au regard de leur performance environnementale.

L'expert du facteur humain a pour rôle de :

- Représenter l'utilisateur dans le processus de conception lorsqu'il ne peut pas être directement présent
- Collecter et traiter les données fournies par l'utilisateur afin de construire les modèles de l'utilisation
- Supporter l'opérationnel dans la recherche de solution adaptées aux modèles de l'utilisation.

Un acteur peut être réparti sur plusieurs personnes, par exemple le bureau d'études peut être constitué de plusieurs concepteurs (mécaniques, électroniques, logiciels…), et une personne peut être différents acteurs, par exemple expert environnement et membre du bureau d'études en tant que designer. Ils peuvent être endossés par des acteurs de l'entreprise qui mettent en œuvre la méthode ou externalisés à des prestataires ou des consultants.

3.3.2 Outils de la méthode d'éco-conception orientée utilisation et acteurs de la conception

Les modèles et outils présentés au paragraphe précédent sont adressés à un ou plusieurs acteurs. Les relations entre les acteurs, les modèles et les outils sont expliqués de façon superficielle dans ce paragraphe et seront détaillés dans le paragraphe 1.3.3 à chaque étape de conception.

3.3.2.1 Les modèles : un support pour l'opérationnel

Les 3 modèles proposés au paragraphe précédent ont été établi pour l'opérationnel afin qu'ils puissent documenter leurs propositions et trouver les informations nécessaires aux développements de ces propositions.
Le modèle de produit permet au chef de projet d'unifier les vues des différentes propositions du bureau d'études. Il s'agit pour le bureau d'études d'établir un modèle des solutions en cours d'élaboration afin de discuter avec les autres acteurs de la conception et notamment le chef de projet. Ce dernier se servira de ce modèle pour vérifier sa compatibilité avec les objectifs établis par la stratégie (planification stratégique et marketing).
Le modèle de contexte permet à l'opérationnel de simuler l'environnement d'utilisation et les actions potentielles de l'utilisateur.
Le modèle de scénario permet de voir les résultats de l'évaluation environnementale de la solution de produit proposée à ce moment de la conception.

3.3.2.2 Instanciation des modèles de l'utilisation : le rôle des experts dans la relation avec les utilisateurs

L'instanciation des modèles de contexte et de la phase d'utilisation est faite par les experts environnement et facteur humain à partir des informations fournies par les utilisateurs.
L'expert du facteur humain utilisera le guide aux choix d'outils afin d'organiser sa collecte de données auprès des utilisateurs.
L'expert environnement instanciera le modèle de scénario à partir des propositions de modèle de produit (pour les lignes - paramètres produit) et du modèle de contexte (pour les colonnes- moments et actions).

3.3.2.3 Le diagnostic environnemental

L'évaluation du scénario dans un outil externe d'évaluation environnementale sera faite par l'expert environnement. C'est pour cette raison qu'il est en charge de l'instanciation du modèle de scénario, car c'est en fonction de la décomposition de ce modèle qu'il fera l'évaluation environnementale dans l'outil expert d'évaluation environnementale (logiciel d'analyse de cycle de vie, par exemple).
Il prendra aussi en compte, dans le diagnostic, les modèles des autres phases du cycle de vie, pour l'évaluation environnementale globale du produit.

3.3.2.4 L'amélioration environnementale

L'amélioration se fait grâce aux acteurs opérationnels et à des acteurs spécifiques à l'éco-conception de l'utilisation.
Il s'agit ici pour le bureau d'études de proposer des solutions à partir des stratégies et des idées proposées par les experts environnement et facteurs humains, ainsi que par les utilisateurs. Ils peuvent s'aider à cette étape de l'outil stratégies.

3.3.3 Processus de conception

Les frontières du processus de conception considéré par notre proposition de méthode sont définies à partir de la proposition de (Pahl et al. 2007). Il commence avec la nécessité de développer un nouveau produit ou une nouvelle version d'un produit existant et se termine par l'envoi de la description du produit pour la fabrication- Figure 34.

Les étapes considérées sont:

- La planification qui permet de passer de données de projets précédents à X spécifications de couple produit/scénario,
- La conception préliminaire qui transforme les spécifications en Z concepts de composants de produit/scénario avec, a minima, un composant par segment,
- La conception détaillée qui regroupe les concepts de composants en Y plans détaillés du couple produit/scénario avec, a maxima, un plan détaillé pour chaque segment,
- Le prototypage qui permet de passer des plans détaillés à Y descriptions du couple produit/scénario pour la fabrication.

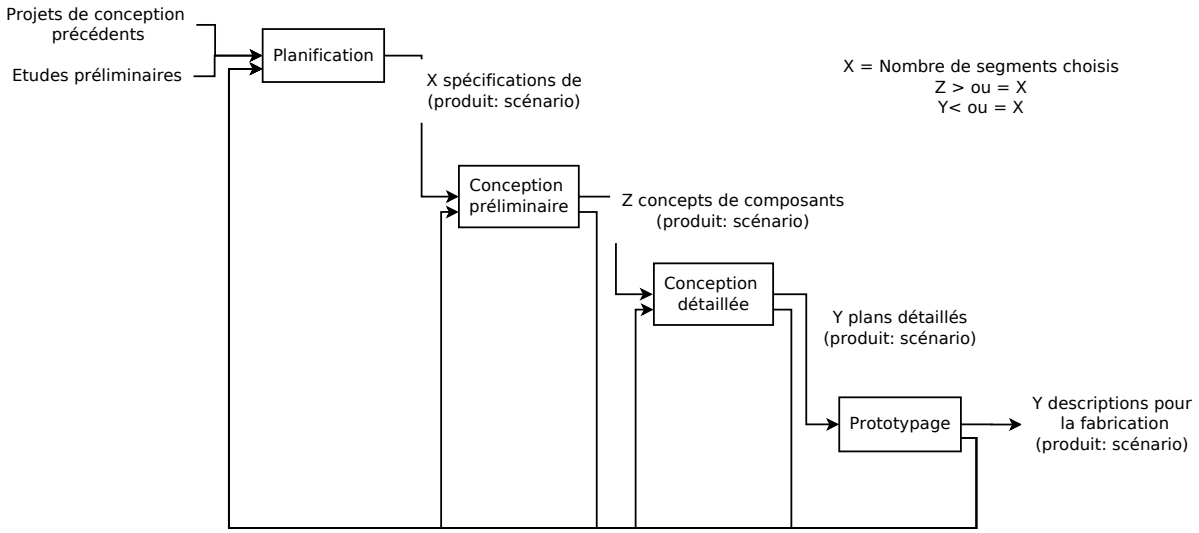


Figure 34 : Processus d'éco-conception orientée utilisation

3.3.3.1 Planification

Un projet de conception peut être lancé avec deux objectifs, soit renouveler la gamme d'un produit existant, soit proposer un nouveau produit aux clients. La phase de planification permet de transformer ces objectifs en spécifications pour le développement de produit.

Dans le cadre de l'éco-conception orientée utilisation, la première étape de la planification sera de construire les modèles de contexte associés à chaque segment défini. Dans un premier temps, afin de réduire la variabilité, la stratégie définira les segments pour lesquels elle souhaite proposer des produits. Pour la supporter dans sa démarche, elle pourra utiliser l'outil segmentation qui permet de définir des paramètres généraux et de les transformer en segments de population en fonction du lieu d'utilisation et des caractéristiques individuelles des utilisateurs.

Pour chaque segment défini, il faudra développer un modèle de contexte. Pour cela, la conception, les experts environnement et du facteur humain mettent à profit le guide aux choix d'outils afin d'entrer en relation avec les utilisateurs pour la collecte de données. Les éléments collectés sont ensuite documentés dans différentes itérations de modèles de contexte.

La conception et la stratégie élaboreront ensuite les spécifications du produit conjointement au scénario d'utilisation pour chacun des modèles de contexte définis à l'étape précédente. Les experts environnement et facteur humain évalueront l'impact environnemental et l'adéquation de ces spécifications aux modèles de contexte associés. L'expert environnement utilisera l'outil diagnostic environnemental pour son évaluation. Si les spécifications ne sont pas validées par l'évaluation, les experts renverront les spécifications à la stratégie et à la conception avec des stratégies pour les améliorer (boucle). Si elles sont validées, elles passeront à l'étape suivante du processus de conception.

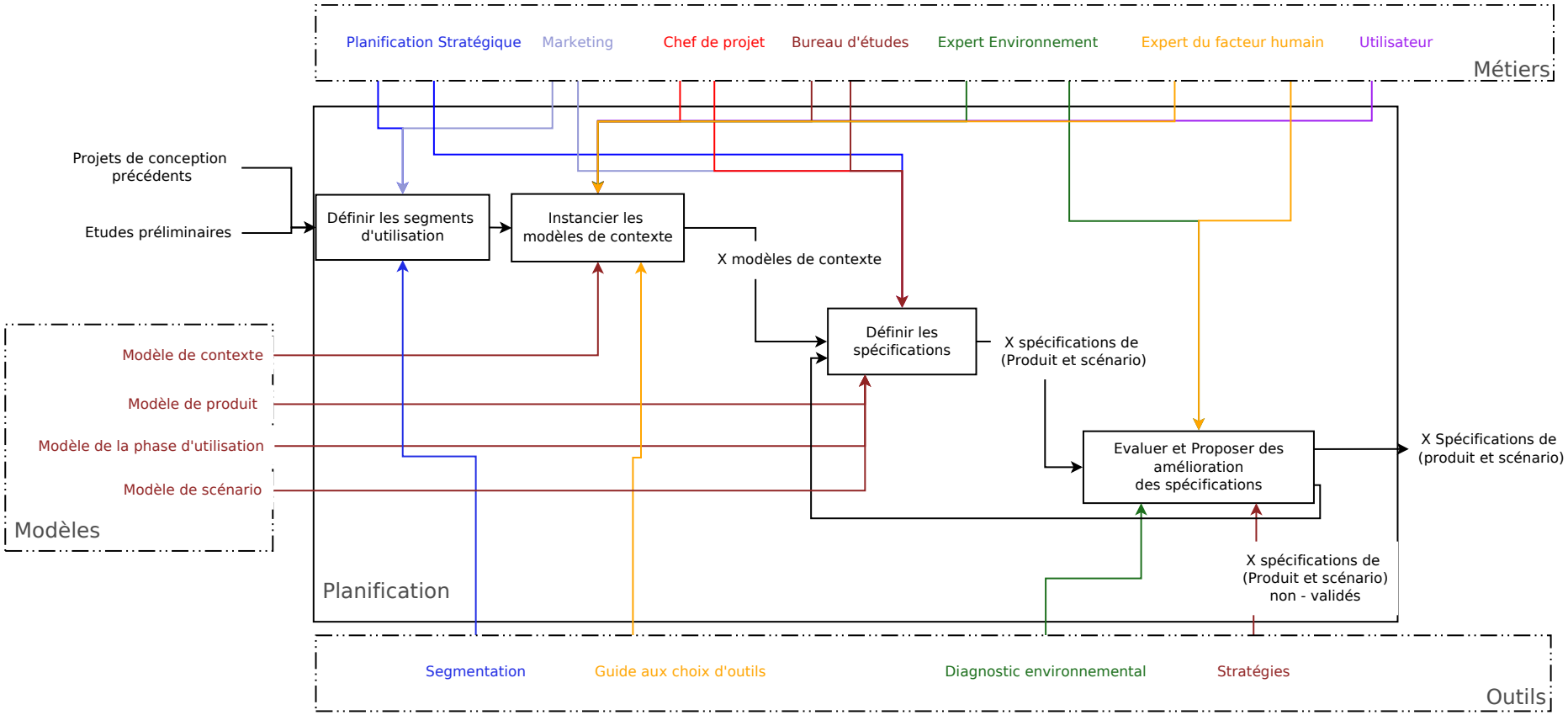


Figure 35 : Etape de planification

3.3.3.2 Conception préliminaire

La conception préliminaire a pour but de générer des concepts liés à différentes parties du produit à partir des spécifications. Il s'agit d'une phase d'exploration où seront produits des schémas, des croquis qui correspondent aux spécifications pour le produit et son scénario d'utilisation.
C'est pendant cette phase que l'utilisateur contribuera directement à la conception du produit en faisant des propositions de concept de composants du produit. La conception préliminaire commence par la proposition par l'opérationnel de concepts de composants auxquels l'utilisateur pourra contribuer, en s'aidant du guide aux choix d'outils. En effet, cet outil proposera des manuels afin que l'utilisateur puisse contribuer à la conception via différents outils (focus group notamment). Les modèles de contexte permettront d'associer chacun des concepts de composants proposés à un ensemble (Segment ; Spécifications de produit et de scénario).
Dans un second temps, l'opérationnel et les experts environnement et facteur humain évalueront les propositions de concepts de composants, associés à des scénarios d'utilisation (via l'outil évaluation) et proposeront des stratégies d'amélioration pour les concepts non satisfaisants, afin de proposer une redéfinition de ces derniers.

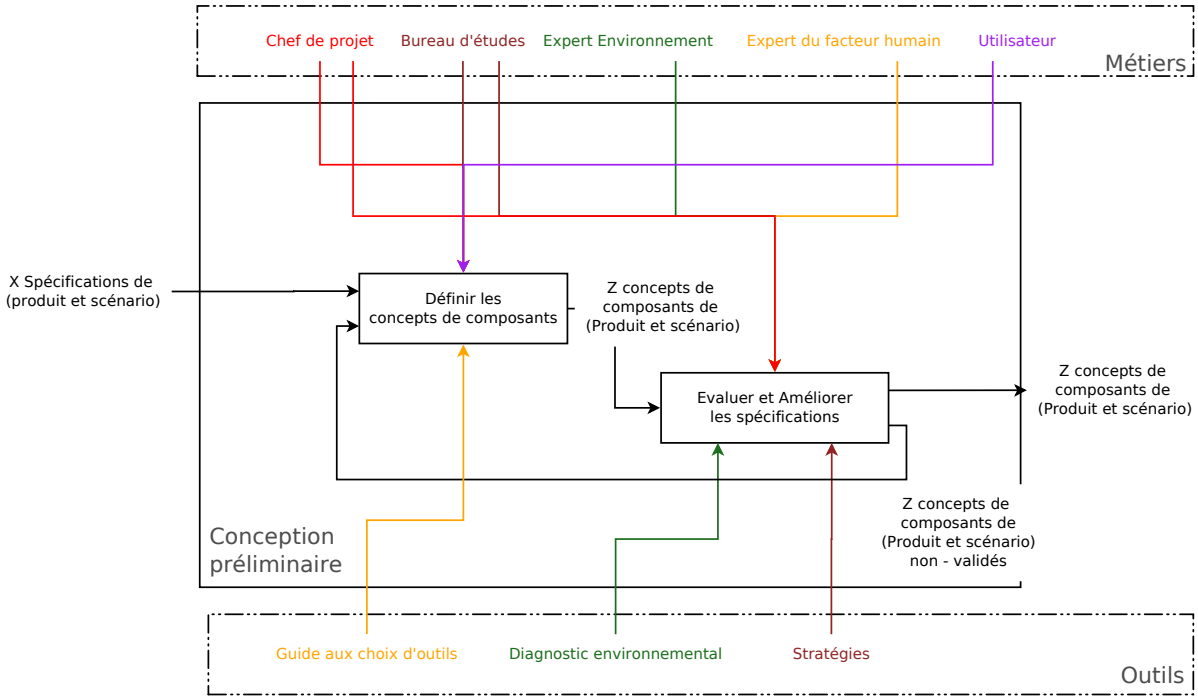


Figure 36 : Déroulement de l'étape de conception préliminaire

3.3.3.3 Conception détaillée

C'est lors de cette étape qu'un modèle produit complet est proposé. Il s'agit de regrouper les concepts proposés lors de la phase précédente dans des plans détaillés de produits qui pourront être intégrés dans un ou plusieurs modèles de contexte.
Cette étape commence par une rationalisation des concepts de composants en concepts de produits. Il s'agit d'établir combien d'architectures de produit différentes l'on souhaite produire et pour répondre à quels segments. Une architecture de produit pourra être utilisée par un ou plusieurs segments en fonction de la stratégie de l'entreprise. En tant qu'étape stratégique, la planification stratégique, le marketing ainsi que tous les autres membres de la conception prennent conjointement la décision de rassembler une liste restreinte de concepts de composants en un concept de produit et de scénario qui sera détaillé ensuite.
Une fois les rassemblements faits, l'opérationnel pourra détailler les concepts de produits et de scénarios en plans détaillés. Ces plans seront évalués par les experts environnement et du facteur

humain ainsi que par les utilisateurs. On utilisera à la fois l'évaluation environnementale et une validation par les utilisateurs via un des outils sélectionnés dans le guide aux choix des outils par l'expert du facteur humain afin de compléter le bilan. Des préconisations d'amélioration seront ensuite faites aux bureaux d'études pour les plans détaillés de produit et de scénario qui ne seraient pas satisfaisants.

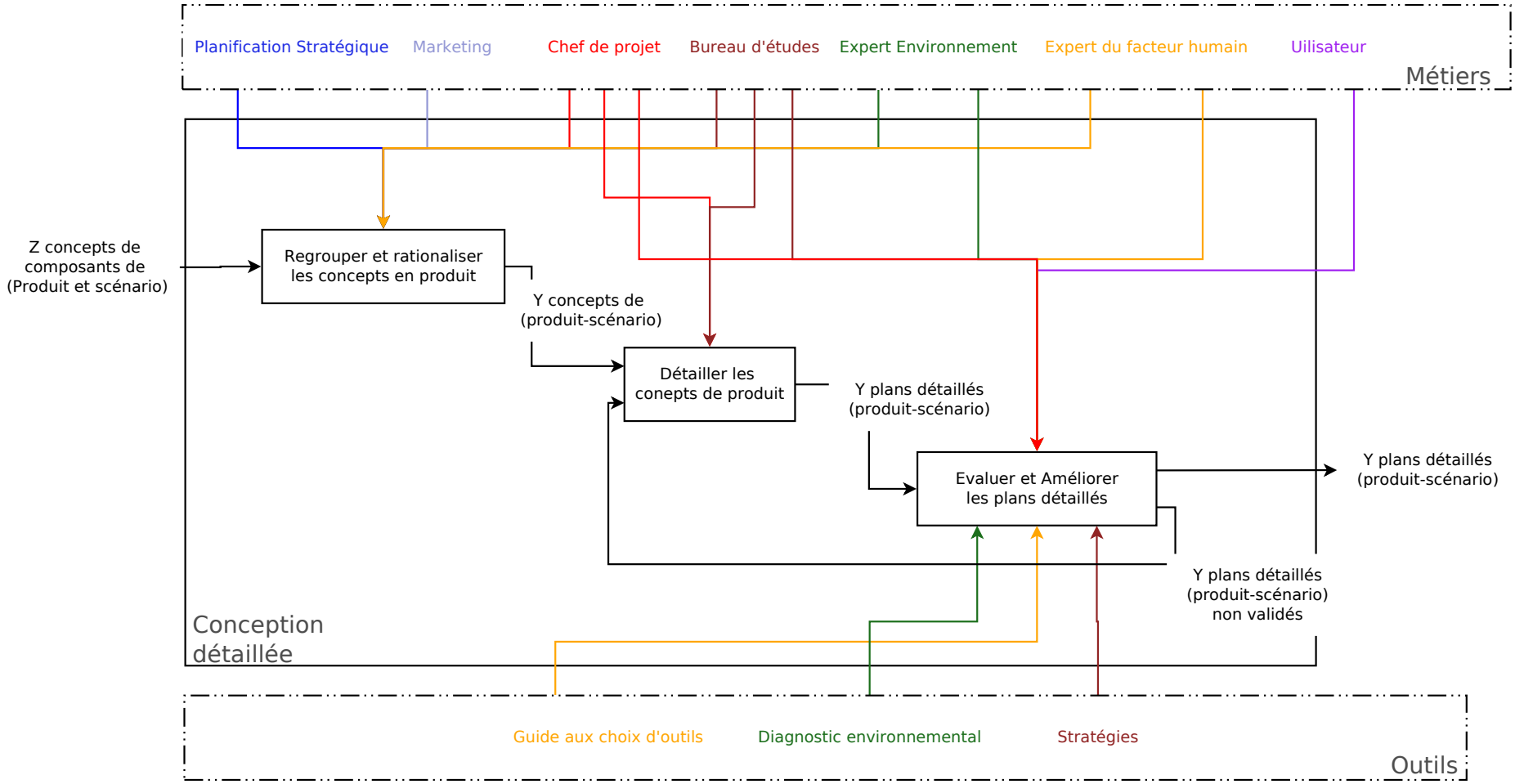


Figure 37 : Déroulement de l'étape de conception détaillée

3.3.3.4 Prototypage

L'étape de prototypage est la dernière étape avant le lancement de la fabrication du produit. Il s'agit de transformer les plans détaillés de produit et de scénario en descriptions pour la fabrication.
Dans un premier temps, l'opérationnel fera des propositions pour chacun des plans détaillés, à l'étape précédente de descriptions pour la fabrication.
Dans un second temps, les experts environnement et expert du facteur humain, accompagnés de l'utilisateur, feront une évaluation de ces descriptions, grâce aux outils de diagnostic environnemental et du guide aux choix des outils. Si l'évaluation n'est pas satisfaisante, ils feront des recommandations basées sur l'outil stratégie notamment.

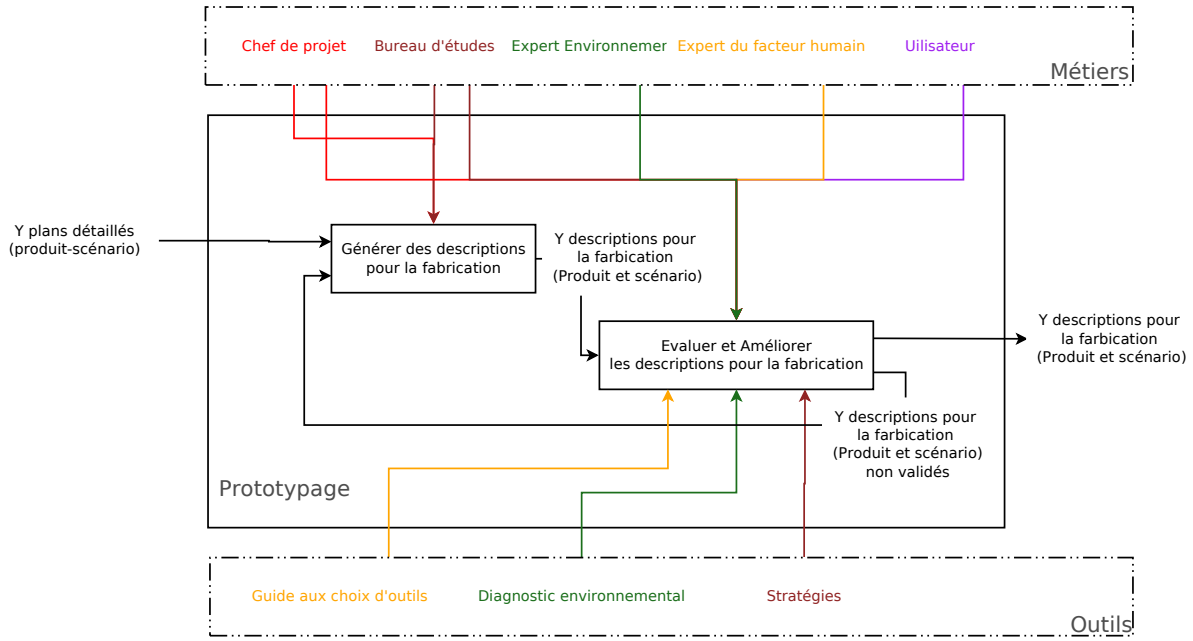


Figure 38 : Déroulement de l'étape de prototypage

3.4 Conclusions

Comme beaucoup de méthodes de conception se centrant sur l'utilisation, l'étape de planification est primordiale afin d'avoir une meilleure intégration des « contraintes » environnementales en utilisation. Avant de passer à l'étape de formalisation du cahier des charges, les acteurs de la conception doivent clarifier ce qui entourera le produit : choix de la cible en fonction des segments prenant en compte la variabilité de l'utilisation et développement des modèles de contexte.
La suite du processus de conception est assez similaire aux démarches de conception pour X - DfX : une première étape de proposition faite par l'opérationnel puis une seconde d'évaluation de la performance sur X par l'expert en X avec proposition de pistes d'amélioration. On peut retrouver cette forme dans les étapes de conception préliminaire et de prototypage mais aussi à la fin des étapes de planification et de conception détaillée.
C'est lors de cette dernière que l'on rajoute une étape différente de ce qui se passe normalement en DfX : la rationalisation. Il s'agit de faire un compromis entre satisfaction des spécificités des utilisateurs et coût et temps de développement de plusieurs gammes de produit en parallèle. Cette étape est faite en conception détaillée car c'est à partir de ce moment que les coûts de développement commencent à augmenter (Berliner et Brimson, 1988). C'est aussi à partir de cette étape que la construction d'un produit complet, et plus uniquement de « bouts » de produit sous forme de concepts, est proposée.

Afin de répondre aux verrous explicités au chapitre précédent, nous avons fait des propositions pour les lever un part un.

Le verrou temporalité est levé partiellement par l'interaction de quatre modèles qui représenteront l'utilisation en conception :

- Le modèle de produit, qui représente le levier d'action de la conception sur l'amélioration de l'utilisation,
- Le modèle de la phase d'utilisation, qui représente les interactions entre le produit et les utilisateurs,
- Le modèle de contexte, qui permet de documenter tous les éléments ayant un impact sur l'utilisation du produit mais qui ne dépendent pas de la conception,
- Le modèle de scénario, sur lequel repose l'évaluation de l'impact environnemental de l'utilisation.

Le verrou variabilité est levé par la proposition de segment en deux parties. En séparant les utilisateurs selon les deux axes de variabilité principaux (géographique et individuelle), on pourra itérer les modèles sur des groupes d'utilisateurs avec une variabilité diminuée entre eux.
Le verrou conception est levé en proposant des outils et des modèles conformes aux spécificités des différents acteurs de la conception. La méthode permet d'expliquer en quoi, comment et à quels moments les acteurs seront sollicités dans le développement de produit afin de mieux piloter l'éco-conception de la phase d'utilisation.

Dans le cadre du projet de recherche EcoUse, les outils proposés pour la méthode d'éco-conception orientée utilisation sont en cours de développement logiciel au sein du laboratoire d'ingénierie des systèmes mécaniques et des matériaux de Toulon.

Le chapitre 4 est une illustration de l'application partielle de cette méthode à la re-conception d'un produit.

Chapitre 4 Application de la méthode

Au chapitre précédent, nous avons décrit une méthode de conception permettant de lever les verrous identifiés dans la revue de littérature. Afin d'illustrer la mise en œuvre de cette méthode dans un processus de conception, ce chapitre détaille comment utiliser les 4 modèles du chapitre 3, produit, phase d'utilisation, contexte et scénario d'utilisation, avec le support des outils proposés pour le développement d'un produit plus performant environnementalement.
Par plus performant environnementalement, nous entendons un produit qui aura un impact environnemental sur son cycle de vie plus faible que le produit qui remplit classiquement l'unité fonctionnelle choisie pour l'analyse.
Nous préciserons comment cette méthode est capable de répondre à la question de recherche de cette thèse sur un cas de conception de produit.

4.1 Choix du cas d'étude

Ce cas d'étude doit vérifier comment la méthode proposée au chapitre précédent répond à la question de recherche si elle est appliquée à la conception d'un produit. L'évaluation de la proposition de recherche se fera donc par la levée des 3 verrous identifiés dans la revue de littérature :

1) Temporalité : L'impact environnemental de l'utilisation du produit doit pouvoir être modélisé au cours du processus de conception.
2) Variabilité : Les différentes utilisations d'un même type de produit doivent pouvoir être regroupées de façon cohérente.
3) Conception : Le processus de conception doit être compatible avec la méthode appliquée.

Si ces trois points sont validés, alors la méthode proposée au chapitre précédent validera la question de recherche de cette thèse en situation de conception :

> Comment réduire la différence entre la modélisation de l'impact environnemental de l'utilisation et celui réellement occasionné lors de la phase d'utilisation du produit, afin de mieux piloter l'éco-conception de cette phase du cycle de vie ?

Le cas le plus fréquent pour un projet de conception étant la re-conception d'un produit existant, nous nous placerons dans un processus de re-conception. Ce cas d'étude ne sera pas de la conception innovante mais de la conception classique qui vise à proposer une nouvelle gamme d'un produit déjà conçu par l'entreprise.

Afin de montrer les capacités de la méthode proposée à lever le verrou n°2, le produit doit être soumis aux trois grandes catégories de variabilité en utilisation identifiées par la revue de littérature: la variabilité géographique, la variabilité culturelle et la variabilité individuelle.
Pour illustrer les apports quant à la maîtrise de la variabilité géographique, une même plateforme de produit sera reconçue pour deux lieux d'utilisation géographiquement éloignés : le Brésil et la France métropolitaine (par la suite nommée France).
Pour illustrer les apports de la méthode à la gestion de la variabilité culturelle, l'utilisation du produit doit être différenciée en fonction de paramètres culturels. Les pratiques alimentaires sont très influencées par la culture et, par conséquent, les produits supportant ces pratiques alimentaires le sont aussi. La re-conception de produit électroménager de cuisine semble donc une illustration intéressante de la gestion de la variabilité culturelle. Dans ces équipements, le réfrigérateur a un intérêt central. Il est présent dans beaucoup de foyers à travers le monde (avec un taux de pénétration de 100% pour la France (INSEE 2009) et de 93,41% pour le Brésil (IBGE 2009)). De plus, les gammes de produit varient peu d'un pays à un autre au niveau mondial (Faberi 2007).

Nous avons choisis d'appliquer cette méthode à deux pays suffisamment éloignés géographiquement et culturellement afin d'illustrer au mieux les capacités de la méthode. Le choix du Brésil, au dépend d'autres pays, a été facilité par le développement d'une coopération scientifique entre la professeure

Cassia Ugaya Lie du département de mécanique de l'Université de Technologie Fédérale du Paraná – UTFPR et le laboratoire G-SCOP, au sein duquel cette thèse a été réalisée. Cette coopération a notamment permis de m'accueillir, grâce au financement Explora-doc de la région Rhône-Alpes, pendant une période 5 mois afin de collecter les données nécessaires à la construction de ce cas d'étude.

La variabilité individuelle des pratiques alimentaires est importante, ce qui justifie d'autant plus le choix d'un équipement électroménager de cuisine. Le contenu du réfrigérateur est largement influencé par le régime individuel du foyer qui l'utilise.

Les efforts d'éco-conception apportés précédemment sur ce produit, notamment en terme d'efficacité énergétique, ont permis de diminuer de manière substantielle son impact sur l'environnement. Malgré tout, la phase d'utilisation de ce produit reste le contributeur le plus important à l'impact environnemental. Une durée de vie longue et une consommation continue tout au long de son utilisation continuent de générer 75% de l'impact sur le réchauffement climatique du produit sur son cycle de vie. De plus, les progrès au niveau technologique du produit atteignent la limite de l'amélioration technique et théorique, comme présenté dans la Figure 39 adaptée de (Elias et al. 2008).

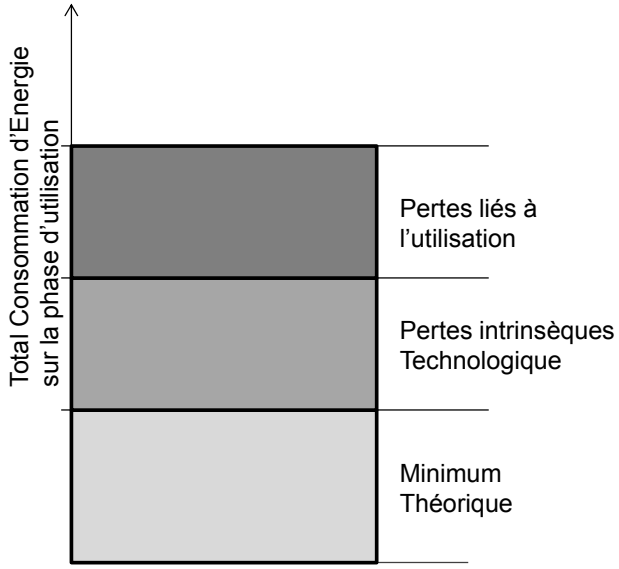


Figure 39 : Profil énergétique d'un produit électrique et électronique

En orientant la re-conception de ce produit sur la phase d'utilisation, l'application de la méthode proposée au chapitre précédent permettra de faire émerger de nouvelles solutions d'éco-conception.

4.2 Instanciation des modèles de l'utilisation pour agir sur la temporalité

Dans ce paragraphe, deux modèles de l'utilisation seront proposés pour les deux segments géographiques choisis. Les modèles suivants seront mis à contribution pour générer les modèles de l'utilisation:

- Un modèle de la phase d'utilisation d'un réfrigérateur
- Deux modèles de contexte : un pour le Brésil et un pour la France
- Deux modèles de scénario, un pour le Brésil et un pour la France, combinant les modèles suivants : un modèle de produit, un modèle de la phase d'utilisation et deux modèles de contexte associés à chaque pays.

4.2.1 Modèle de la phase d'utilisation pour un réfrigérateur

Le premier modèle à construire est celui de la phase d'utilisation. Il permet de séparer l'utilisation du réfrigérateur en plusieurs parties.

Quelque soit le produit, les états de début et de fin de la phase d'utilisation restent les mêmes :

- Début : Produit acquis
- Fin : Produit envoyé vers les filières de fin de vie.

Pour les moments d'installation, les actions suivantes auront lieu :

- Déposer le réfrigérateur à son emplacement
- Enlever l'emballage
- Brancher
- Ranger les manuels d'instruction et la garantie

Pour l'apprentissage, deux actions ont été proposées :

- Lire le manuel d'instructions
- Faire des analogies avec des produits existants.

En ce qui concerne les moments d'usage nous avons trois groupes de moments qui sont constitués des mêmes actions :

- L'usage saisonnier : Le branchement du produit est la seule action qui a lieu pendant ces moments. Ils sont aux nombres de quatre : Eté, Automne, Hiver et Printemps. La différentiation saisonnière est liée à une possible modification des conditions atmosphériques autour du produit. Ces modifications pourront influencer la performance environnementale du produit.
- Les repas : Deux actions ont lieu pendant ces moments : préparer le repas et ranger le repas. On retrouve les trois repas classiques : le petit-déjeuner, le déjeuner et le dîner. Une différence est faite entre les jours travaillés (semaine) et les jours non-travaillés (week-end). On considère trois repas supplémentaires : le goûter, le grignotage et le rafraîchissement. En tout, il existe neuf moments de type repas.
- Les courses : ce moment est constitué de deux actions : établir la liste des courses et ranger les aliments au réfrigérateur.

Pour les moments en dehors de la phase d'usage nous avons :

- Le nettoyage qui consiste en l'enchainement des actions suivantes : Débrancher le produit, Vider les aliments, Enlever les grilles, Passer un produit d'entretien, Remettre les grilles, Ranger les aliments, Brancher le produit.
- La maintenance qui commence comme le nettoyage par le débranchement du produit puis le démontage de certains éléments, le changement des pièces défectueuses, le remontage et le branchement du produit.
- L'amélioration n'a pas d'action particulière associée en ce début de projet. Cela pourra évoluer au cours de la conception.
- Le rangement qui consiste en deux actions : Débrancher le produit puis le rebrancher.
- Le dernier moment considéré est la mise au rebut. Les actions alternatives à considérer sont : Débrancher, Garder, Donner à un tiers, Revendre, Donner à une filière de traitement des déchets et Jeter aux ordures ménagères.

La figure suivante représente un enchaînement possible pour tous les moments de l'utilisation du réfrigérateur.

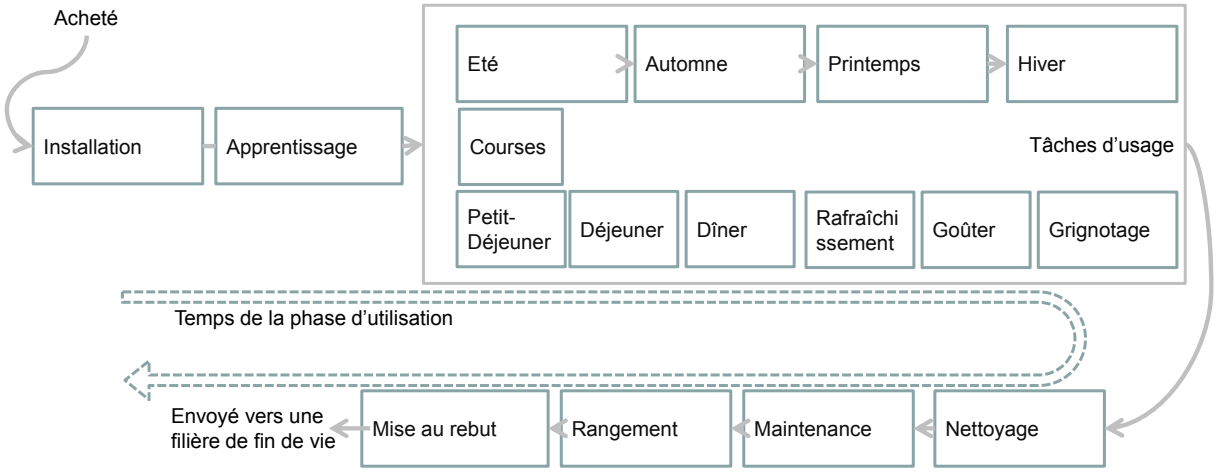


Figure 40 : Représentation du modèle de la phase d'utilisation pour le réfrigérateur, exemple d'enchaînement possible

Cette représentation de l'utilisation permet d'imaginer comment les moments peuvent se suivre dans le temps. La succession de certains moments dans le temps découle de la définition même de ces moments :

- Par définition, les moments d'installation, d'apprentissage et les tâches d'usage se déroulent l'un après l'autre.
- Pour les tâches d'usage, les usages saisonniers s'enchaînent dans le temps, sur une période de un an. Les tâches liées aux repas s'enchaînent quant à elles sur une journée. Et les courses auront lieu de façon régulière, avec une périodicité définie par l'utilisateur.

La suite des autres moments, nettoyage, maintenance, rangement et mise au rebut a été définie de façon arbitraire pour alléger la représentation. Il est probable que ces moments soient entrecoupés de moments tâches d'usage.

A partir de la définition de ces moments, nous pouvons définir les modèles de contexte.

4.2.2 Modèle de contexte Brésil

4.2.2.1 Le choix des entretiens semi-directifs

Nous avons vu au paragraphe 3.1.5.2. un guide permettant de choisir les outils de collecte d'informations en fonction des 3 catégories de paramètres. Pour ce cas d'étude, nous nous plaçons dans le cas suivant :

- Aucune information sur le contexte d'utilisation n'est disponible,
- Au cours de la phase d'utilisation, tous les types de moments peuvent avoir lieu, comme détaillés au paragraphe précédent,
- Le modèle de produit est une version précédente du réfrigérateur.

Les outils les plus adéquats quand peu d'informations sont disponibles et que le spectre de moments à analyser est large sont ceux issus de l'ethnographie. Nous avons alors 5 outils à notre disposition : l'observation avec prise de notes ou avec analyse vidéo, les entretiens semi-directifs avec ou sans photographie, ou bien le journal de bord.
L'analyse vidéo a été éliminée car elle est trop coûteuse. Si l'on prend en compte en plus le temps de collecte, de traitement et d'analyse des données, seuls deux outils arrivent à avoir une note de B : les entretiens avec ou sans photographie. Pour limiter le temps de collecte de données et d'analyse des données, nous avons choisis d'utiliser les entretiens semi-directifs.

Une fois l'outil sélectionné, nous nous sommes référés au guide pour la conduite d'entretien semi-directif disponible en annexe *A.1 Manuel d'utilisation : Entretiens semi-directifs*. Ce guide permet de

définir la qualité et la quantité de l'échantillon d'utilisateurs à questionner, comment construire la grille d'entretien afin d'obtenir le plus d'informations possibles et comment conduire les entretiens.

4.2.2.2 Organisation de la collecte de données

La collecte de données s'est faite dans le cadre de mon déplacement de cinq mois au sein de l'UTFPR à Curitiba. Comme le guide conseille de rétribuer les utilisateurs pour leur participation à l'étude, un partenariat avec un fabricant de cosmétique- Natura Cosmeticos- a été validé. Les utilisateurs questionnés ont été rétribués pour leurs réponses sous la forme d'un coffret de trois produits cosmétiques (deux crèmes corporelles et un savon).
Ils ont été sélectionnés en fonction de leur appartenance socio-économique aux groupes représentatifs de la population du Brésil. Les données du recensement national brésilien de 2009 ont été utilisées pour établir un échantillon de 10 personnes représentant la population brésilienne, comme conseillé dans le guide aux choix d'outils (IBGE 2009).
La grille d'entretien en portugais est disponible en annexe *A.2 Questionnaire de collecte de données Brésil*.
Neufs entretiens ont été organisés dans les locaux de l'université et un au domicile d'une personne. Les entretiens ont duré entre trente et quarante-cinq minutes. Ils ont été enregistrés et des notes ont été prises au fur et à mesure de l'entretien. Une retranscription a été faite des enregistrements. Ces retranscriptions ont permis de remplir un modèle de contexte pour chacun des participants et ont été ensuite synthétisées dans un modèle de contexte Brésil.

4.2.2.3 Construction du modèle de contexte

Habitudes

Dans cette partie, nous avons documenté toutes les informations récoltées dans la partie des entretiens consacrée aux moments de l'utilisation.
Pour chaque habitude identifiée, nous avons ajouté une information sur le nombre d'utilisateurs ayant expliqué avoir cette même habitude.
Par exemple, une habitude identifiée est de conserver l'ancien réfrigérateur comme réfrigérateur secondaire. Ce cas a été relevé chez trois participants. L'habitude « Acquisition-Type 1 - Deux réfrigérateurs dans la maison, un ancien et un nouveau » est donc associée à une représentation de 30% de l'échantillon de 10 personnes.

71 habitudes ont été inventoriées avec une représentativité allant de 1 personne à 9 personnes. Aucune habitude n'a été exprimée par tous les participants.
La liste complète est disponible en annexe *A.4 Liste complète des parties habitudes et culture du modèle de contexte Brésil*.

Instalation-Type 1	60%	1	Cuisine	Déballage, Placement et Branchement faits immédiatement par les employés du magasin
Instalation-Type 2	40%	1	Cuisine	Placement et Branchement faits par l'utilisateur avec ses proches tout de suite
Instalation-Type 3	60%	1	Cuisine	Rangement des manuels d'instructions et des garanties dans un lieu réservé
Instalation-Type 4	20%	1	Cuisine	Papiers administratifs à la poubelle
Instalation-Type 5	60%	1	Cuisine	Carton d'emballage pour le recyclage
Instalation-Type 6	10%		Cuisine	Combustion de l'emballage en PS
Instalation-Type 7	40%		Cuisine	Emballage de PS au recyclage des emballages
Instalation-Type 8	10%		Cuisine	Réutilisation du carton

Figure 41 : Liste des 8 types d'habitudes identifiés pour le moment d'installation.

Connaissances et compétences

Les informations collectées ici ont été limitées à la connaissance des utilisateurs de la contribution du produit aux impacts environnementaux et de la répartition de l'impact du produit sur le cycle de vie.
A chaque connaissance exprimée, le pourcentage de l'échantillon adhérant à celle-ci a été ajouté.

Type		Adhésion	Principal
Connaissance	Oui (Vrai)	0.10	La phase la plus impactante est l'utilisation
Connaissance	Oui (Erroné)	0.70	La phase la plus impactante est la fin de vie
Connaissance	Oui (Erroné)	0.20	La phase la plus impactante est la fabrication
Connaissance	Oui (Erroné)	0.40	Le produit contribue beaucoup au réchauffement climatique
Connaissance	Oui (Vrai)	0.20	Le produit contribue beaucoup à la perte de biodiversité
Connaissance	Oui (Vrai)	0.40	Le produit contribue beaucoup à l'écotoxicité
Connaissance	Oui (Erroné)	0.10	Le produit contribue beaucoup à la toxicité humaine
Connaissance	Oui (Vrai)	0.40	Le produit contribue beaucoup à la pollution de l'air
Connaissance	Oui (Erroné)	0.30	Le produit contribue beaucoup à la pollution de l'eau
Connaissance	Oui (Erroné)	0.30	Le produit contribue beaucoup à la pollution des sols

Figure 42 : Liste des connaissances exprimées dans les entretiens

Démographie

La partie démographie a été utilisée pour le recrutement des utilisateurs. Elle n'a pas été construite sur les entretiens mais à partir du recensement brésilien de 2009 (IBGE 2009).
Elle reprend les caractéristiques de l'échantillon des personnes qui ont participé aux entretiens.

		Min de l'éch	Max de l'éch
Genre	Homme	30	70
	Femme	30	70
Age	15-25 ans	20	40
	26-45 ans	20	40
	46-65 ans	20	40
Domicile	- de 3 personnes	30	70
	+ de 3 personnes	30	70
Revenus	- 2 salaires minimums (- 1200 R$)	30	60
	Entre 2 et 5 salaires minimums (1200R$ - 3000 R$)	30	60
	+ de 5 salaires minimums(+3000 R$)	10	30
Etudes	Fondamental	30	60
	Moyen	30	60
	Supérieur	10	30
Lieu d'habitation	Urbain	60	90
	Rural	10	60

Figure 43 : Démographie du modèle de contexte Brésil

Infrastructures externes et internes

Ces deux parties ont été documentées de manière similaire : une moyenne des informations collectées auprès des utilisateurs a été faite afin d'évaluer l'accès aux différents réseaux et le taux d'équipement des ménages. Les fournisseurs associés aux infrastructures externes n'ayant pas été identifiés dans tous les entretiens, l'information n'a pas été utilisée pour construire le modèle de contexte.

Produit	Nombre
Télévision	1.7
Cuisinière	1.1
Machine à laver	0.9
Réfrigérateur	1.2
Four micro-ondes	0.7
Ordinateur	1.3
Téléphone Fixe	0.8
Téléphone Mobile	2.2
Petits équipements de divertissements (Baladeur, Apparei	2.6
Electroménagers (grille pain, Mixeur…)	3.1
Lecteur DVD	1.1
Equipement de son	0.9
Voiture	0.8
Autres véhicules motorisés	0.1
Autres	0.3

Figure 44 : Infrastructures du modèle de contexte Brésil

Conditions atmosphériques

Les utilisateurs ont été interrogés sur la température moyenne à l'intérieur de la cuisine au cours de l'année. Les données ont été utilisées pour identifier un maximum, un minimum et une moyenne de température.

Le Paraná étant une région tempérée et montagneuse, sans système de chauffage généralisé, les températures à l'intérieur des domiciles peuvent être équivalentes aux températures extérieures.

Les autres paramètres atmosphériques ainsi que les températures pendant le printemps et l'automne n'ont pas été documentés.

Saison	T°min	Medium	T°max	Pression	Hygrométrie
Eté	15	25	30		
Automne					
Hiver	0	10	15		
Printemps					

Figure 45 : Conditions atmosphériques du modèle de contexte Brésil

Culture

Comme expliqué au chapitre précédent, les entretiens semi-directifs ne permettent pas d'avoir des informations sur les composantes culturelles du modèle de contexte.

Pour construire cette partie, nous avons utilisé un livre d'une sociologue brésilienne (Simoes 2001), la législation environnementale et des entretiens avec des experts sur l'éducation environnementale fournie aux élèves brésiliens.

La liste complète est disponible à l'annexe *A.4 Liste complète des parties habitudes et culture du modèle de contexte Brésil*.

4.2.3 Modèle de contexte France

4.2.3.1 Le choix de l'analyse préliminaire

Pour la construction du modèle français, nous nous retrouvons dans la même configuration que pour le modèle Brésil :

- Aucune information sur le contexte d'utilisation disponible,
- Une phase d'utilisation avec tous les types de moments présents,
- Le modèle de produit est une version précédente du réfrigérateur.

Nous avons cependant voulu mettre en avant les critères temps et coût. Dans cette configuration, le résultat de la sélection d'outils se compose d'une solution unique : l'analyse préliminaire. Beaucoup

d'informations collectées ne le sont que partiellement mais une prépondérance a été donnée aux critères temps et coût.
Pour cet outil, le guide d'utilisation est plus court. Il comporte uniquement des recommandations en termes de fiabilité des sources d'information utilisées.

4.2.3.2 Compilation des données de l'analyse préliminaire

Conformément au guide d'utilisation, les sources gouvernementales et des instituts statistiques nationaux ont été préférées. Les sources suivantes ont été compilées pour construire le modèle :

- L'étude préparatoire à la mesure d'exécution de la directive ErP-Energy related product concernant les réfrigérateurs et les congélateurs (Faberi 2007). Cette source a permis d'évaluer le type de produit majoritaire en France, sa classe énergétique, l'âge du parc moyen et la température à l'intérieur du réfrigérateur.
- Les statistiques de l'INSEE sur le recensement global de la population française pour la partie démographie et infrastructure du modèle.
- Une étude IFOP sur les habitudes d'achat des français afin d'identifier les informations associées au moment courses (IFOP 2011).
- Une étude du CREDOC sur les comportements alimentaires des français afin d'identifier le contenu des courses et les habitudes associées à chaque repas (contenu, repas pris à domicile ou non…) (CREDOC 2012).
- Les données de l'ADEME sur les comportements de chauffage pour identifier la température intérieure saisonnière du foyer.
- Les données de Eco-Systèmes, éco-organisme habilité à traiter les réfrigérateurs en fin de vie, pour documenter les pratiques liées à la mise au rebut.

4.2.3.3 Construction du modèle de contexte

Le modèle de contexte France est moins précis que celui du Brésil mais la représentativité statistique est plus importante. En effet, les échantillons sur lesquels se basent les études utilisées sont en général supérieurs à 1000 individus. Le manque de précision est lié à l'utilisation de données collectées dans un autre contexte que celui de l'éco-conception orientée utilisation.

Habitudes

Les habitudes les plus fréquentes ont pu être identifiées à partir des rapports listés ci-dessus. Cependant pour les moments d'utilisation les moins fréquents, aucune information n'a pu être identifiée pour documenter les habitudes. Ces moments sont : l'installation du produit, le rangement, le nettoyage et la maintenance.
28 habitudes ont pu être documentées sur les moments suivants : Acquisition, Courses, Petits-déjeuners, Déjeuners, Dîners, Goûters et Fin de vie.
Pour comparaison, la figure suivante présente la documentation des habitudes pour les courses identifiées en France.

Courses-Type 1	1.00	650	Cuisine	La quantité d'aliments stockés au réfrigérateur est la suivante :
Courses-Type 2	1.00	650	Cuisine	Plats composés:119,5 g par jour soit 837 g par course pour des courses hebdomadaires
Courses-Type 3	1.00	650	Cuisine	Légumes: 108.9 g par jour soit 762 g par course pour des courses hebdomadaires
Courses-Type 4	1.00	650	Cuisine	Fruits: 107.6 g par jour soit 753 g par course pour des courses hebdomadaires
Courses-Type 5	1.00	650	Cuisine	Ultra frais laitiers: 79.6 g par jour soit 557 g par course pour des courses hebdomadaires
Courses-Type 6	1.00	650	Cuisine	Fréquence des courses au supermarché par semaine: 1.25

Figure 46 : Habitudes associées au moment Courses pour le modèle France

Connaissances et compétences
Aucune information n'a été documentée dans cette partie du modèle de contexte.

Démographie
Le recensement de la population française en 2011 a été utilisé pour documenter la composition d'un ménage typique français et la répartition démographique de l'échantillon France.
La figure suivante présente les résultats documentés.

Genre	Homme	48
	Femme	52
Age	15-29 ans	19%
	30-59 ans	40%
	60 et+	43%
Foyer	1 personne	34
	2 personnes	33
	+ 2 personnes	33
Revenus	En dessous du SMIC mensuel	
	De 1 à 1.5 du SMIC mensuel	
	Plus de 1.5 du SMIC mensuel	
Etudes	Brevet et moins	59.1
	Bac	39.9
	Enseignement supérieur court	12
	Enseignement supérieur long	13

Figure 47 : Démographie du modèle de contexte France

Infrastructures internes et infrastructure externes
Ce sont encore une fois les données de l'INSEE qui ont été utilisées pour remplir ce modèle. Les enquêtes sur le taux d'équipement des ménages ont été synthétisées dans cette partie du modèle.

Produit	Nombre
Télévision	97.8
Cuisinière	
Machine à laver	95
Réfrigérateur	99.8
Four micro-ondes	85.2
Ordinateur	66.7
Téléphone Fixe	89.2
Téléphone Mobile	80.4
Petits équipements de divertissements (Baladeur, Appareil photo…)	
Electroménagers (grille pain, Mixeur…)	
Lecteur DVD	83.6
Equipement de son	
Voiture	81.7
Autres véhicules motorisés	
Autres	

Figure 48 : Infrastructures internes pour le modèle de contexte France

Concernant cette partie du modèle de contexte, la disposition des équipements dans le domicile, et notamment du réfrigérateur, n'a pas pu être documentée. Aucune étude disponible n'a permis d'identifier les aménagements faits dans les cuisines en France.

Conditions atmosphériques

Pour cette partie, les études portant sur les températures moyennes à l'intérieur des domiciles en France ont été utilisées.

Voici les informations figurant dans cette partie :

Saison	T Medium (°C)
Eté	25
Automne	20
Hiver	20
Printemps	20

Figure 49 : Conditions atmosphériques pour le modèle de contexte France

Culture

Pour la partie culture, les études sur les attitudes des Français par rapport à l'environnement ont été utilisées, ainsi que les textes de loi relatifs à l'éducation environnementale.

La liste complète de la partie culture du modèle de contexte est présente en annexe *A.5 Liste complète des parties habitudes et culture du modèle de contexte France*.

4.2.4 Instanciation du modèle de scénario

Le paragraphe suivant illustre l'utilisation du modèle de la phase d'utilisation, du modèle de produit et des modèles de contexte pour créer les deux modèles de scénario Brésil et France.

4.2.4.1 Construction de la structure du modèle à partir des paramètres produit et phase d'utilisation

On peut simplifier le modèle complet de scénario présenté au chapitre précédent de la façon suivante :

Tableau 10 : Représentation schématique du modèle de scénario

	Moment(s)
Occurrence	
	Actions composant le(s) moment(s)
Durée Paramètres produits	

Nous voyons donc que pour construire le modèle de scénario nous devons reprendre la liste des moments et des actions disponible dans le modèle de la phase d'utilisation explicité au paragraphe 4.2.1, ainsi qu'une liste des paramètres produit.

La phase d'utilisation a été documentée en documentant chaque moment les actions qui lui sont associées.

La figure suivante montre la mise en forme des premiers moments de la phase d'utilisation.

Installation				Apprentissage		Usage été	Usage automne	Usage Hiver	Usage Printemps	Courses	
Installation				Apprentissa		Tâche d'usag	Tâche d'usa	Tâche	Tâche	Tâche d'usage	
1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	7.2
Déposer	Enlever emballage	Brancher	Ranger les manuels d'instruct	Lire le manuel d'instructions	Faire des analogies	Brancher	Brancher	Brancher	Brancher	Etablir la liste	Ranger les aliments

Figure 50 : Mise en forme de moments dans le scénario d'utilisation

Pour établir la liste des paramètres produit et de leurs valeurs, nous avons utilisé plusieurs sources d'information : l'étude préparatoire à l'établissement des exigences d'éco-conception pour les réfrigérateurs (Faberi 2007), les lois de la thermique et des informations générales du GIFAM – Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils Ménagers.

Il existe six grandes familles de réfrigérateur correspondant à des classes climatiques. Ces classes climatiques sont des plages de températures larges sur lesquelles le produit fonctionne. Ces classes garantissent que le produit maintient le froid à l'intérieur quelque soit la température dans cette plage. N'ayant pas d'informations sur les catégories de produit vendues en France et au Brésil, nous avons décidé de prendre un modèle sans catégorie qui se base sur un réfrigérateur moyen européen (de classe énergétique A).

Le tableau suivant récapitule les paramètres produit et les valeurs associées à chacun.

Tableau 11 : Liste des paramètres produit pour le cas d'étude

	Paramètre	Valeur	Unité	Sources
1	Branchement (Text=25°C; Patmosphérique)	3.70E-02	kWh	(Faberi 2007)
2	Surconsommation pour 1°C (par rapport à 25°C)	2.04E-03	kWh	Loi thermique
3	Coté obstrué par un élément froid		kWh	
4	Coté obstrué par un élément chaud		kWh	
	(Taliment-Tint)*Maliment			
5	Aliments = Fruits et Légumes	1.60E-03	kWh/(kg*K)	Loi thermique
6	Aliments = Viandes et Poissons préparés	1.33E-03	kWh/(kg*K)	Loi thermique
7	Aliments = Pain et Gâteau	1.74E-03	kWh/(kg*K)	Loi thermique
8	Aliments = Viandes et Poissons crus	1.15E-03	kWh/(kg*K)	Loi thermique
9	Aliments = Repas préparés (20%Viandes, 30%Légumes, 20% PVC, 30%Carton)	9.62E-04	kWh/(kg*K)	Loi thermique
10	Aliments = Laitages	1.58E-03	kWh/(kg*K)	Loi thermique
11	Aliments = Liquides	1.74E-03	kWh/(kg*K)	Loi thermique
12	Aliments = Condiments	1.74E-03	kWh/(kg*K)	Loi thermique
13	Ouverture porte < 5 secondes	2.90E-04	kWh	(Faberi 2007)
14	Ouverture porte > = 5 secondes	8.71E-04	kWh	(Faberi 2007)
15	Dégivrage	-9.73E+01	kWh	GIFAM
16	Recyclage emballage carton	1.00E+00	Recyclage Emballage	Bilan Produit
17	Recyclage PS	1.00E+00	Recyclage Emballage	Bilan Produit
18	Recyclage réfrigérateur	1.00E+00	Recyclage Réfrigérateur	Bilan Produit
19	Ordure ménagère papier administratif	1.00E+00	OM Papier	Bilan Produit
20	Ordure ménagère emballage	1.00E+00	OM Emballage	Bilan Produit
21	Ordure ménagère réfrigérateur	1.00E+00	OM Réfrigérateur	Bilan Produit
22	Produit d'entretien	2.00E+00	G	Bilan Produit
23	Joint d'étanchéité	2.00E-01	kg EPDM	Bilan Produit
24	Ampoule	1.00E+00	Unité	Bilan Produit

Deux paramètres produit n'ont pas pu être associés à des valeurs : le paramètre 3 « Coté obstrué par un élément froid » et le paramètre 4 « Coté obstrué par un élément chaud » par manque de données sur le modèle thermique du réfrigérateur.

Une fois regroupé sous forme de tableau, Figure 51, nous avons une matrice à 51 colonnes, correspondant aux actions par moment, 25 lignes de paramètres de produit, une ligne de durée à associer aux actions et une d'occurrence sur le cycle de vie. Au maximum, le nombre d'information à remplir est de :

- 21 occurrences correspondant aux 21 moments et,
- 1326 paramètres de produit par action ((25+1)*51).

Nous verrons dans le paragraphe suivant que peu de paramètres produit sont sollicités lors d'une action spécifique ce qui réduit considérablement le nombre de données à documenter.

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
				Installation	Apprentissage	Usage été	Usage automne	Usage Hiver	Usage Printemps	Courses	Petit-déjeuner Semaine	Petit-déjeuner Week-end	Déjeuner Semaine	Déjeuner week-end	Diner Semaine	Diner week-end	Gouter	Grignotage	Rafraichissement	Nettoyage	Maintenance	Amélioration	Rangement	Mise au rebut
Type				Installation	Apprentissa	Tâche	Tâche	Tâche	Tâche	âche d'usag	âche d'usag	âche d'usag	âche d'usag	âche d'usag	âche d'usag	âche d'usag	âche d'usag	âche d'usag	âche d'usag	Maintenance et Nettoyage	Maintenance et Nettoyage	Amél	ngement	Mise au rebut
Occurrence sur durée de vie																								
				1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	7.2	8.1	8.2	9.1	9.2	10.1	10.2	11.1	11.2	12.1	12.2	13.1	13.2	14.1	14.2	15.1	15.2	16.1	16.2	17.1	17.2	17.3	17.4	17.5	17.6	17.7	18.1	18.2	18.3	18.4	18.5	19.	20.1	20.2	21.1	21.2	21.3	21.4	21.5	21.6
				Déposer	Enlever emballage	Brancher	Ranger les manuels d'instruct	Ure le manuel d'instructions	Faire des analogies	Brancher	Brancher	Brancher	Brancher	Etablir la liste	Ranger les aliments	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Débrancher	Vider les aliments	Enlever les rayons	Passer un produit d'entretier	Remettre les rayons	Ranger les aliments	Brancher	Débrancher	Démonter	Changer les pièces défectueu	Remonter	Brancher		Débrancher	Rebrancher	Débrancher	Garder	Donner à un tiers	Revendre	Donner à une filière de traite	Jeter aux ordures ménagères
		Valeur	Unité																																																	
	Durée																																																			
1	Branchement (Text=25°C; Patmosphérique)	324.40	kWh/an																																																	
2	Surconsommation pour 1°C (par rapport à 25°C)	17.84	kWh/an																																																
3	Coté obstrué par un élèment froid		kWh/an																																																
4	Coté obstrué par un élèment chaud		KWh/an																																																
	(Taliment-Tint)*Maliment)																																																		
5	Aliments = Fruits et Légumes	5.78	kWh/(kg*K)																																																
6	Aliments = Viandes et Poissons préparés	4.80	kWh/(kg*K)																																																
7	Aliments = Pain et Gateau	6.27	kWh/(kg*K)																																																
8	Aliments = Viandes et Poissons crus	4.14	kWh/(kg*K)																																																
9	Aliments = Repas préparés (20%Viandes, 30%Légumes, 20% PVC, 30%Car	3.46	kWh/(kg*K)																																																
10	Aliments = Laitages	5.70	kWh/(kg*K)																																																
11	Aliments = Liquides	6.27	kWh/(kg*K)																																																
12	Aliments = Condiments	6.27	kWh/(kg*K)																																																
13	Ouverture porte < 5 secondes	0.03	kWh																																																
14	Ouverture porte > = 5 secondes	0.09	kWh																																																
15	Dégivrage	-97.32	kWh																																																
16	Recyclage emballage	1.00	Recyclage Emballage																																																
17	Recyclage réfrigérateur	1.00	Recyclage Réfrigérateur																																																
18	Ordure ménagère emballage	1.00	OM Emballage																																																
19	Ordure ménagère réfrigérateur	1.00	OM Réfrigérateur																																																
20	Joint d'étancheité	0.20	kg EPDM																																																
21	Ampoule		Unité																																																

Figure 51 : Format du scénario d'utilisation

4.2.4.2 Hypothèses de modélisation communes aux deux modèles

Pour transformer les données du modèle de contexte en modèle de scénario afin d'évaluer l'impact environnemental, nous avons fait des hypothèses qui s'appliquent aux deux parties du cas d'étude. Ces hypothèses portent à la fois sur la documentation du scénario en soi mais aussi sur son implémentation dans le logiciel d'évaluation environnementale Bilan Produit, logiciel d'ACV simplifiée distribué par l'ADEME.

Hypothèses pour l'instanciation du scénario

Les données du modèle de contexte ne sont pas directement utilisables dans le scénario. Par exemple, certaines données ne sont pas disponibles dans les modèles de contexte. Certains manques se retrouvent dans les deux modèles Brésil et France. Dans ce cas, les mêmes hypothèses ont été appliquées.

Pour toutes les habitudes comportant des transferts d'aliment (paramètres produit 5 à 11), le poids exact des aliments et la température de l'aliment avant de le mettre au réfrigérateur n'ont pas été identifiés lors des entretiens. Il a été décidé de simplifier les calculs en associant comme température la température ambiante la plus haute (25°C), une masse d'aliment de référence pour chaque moment et une répartition en fonction du contenu du modèle de contexte :

- Variation de température entre l'extérieur - à 25°C et l'intérieur - à 6°C : 19 °C
- Masse d'aliments transférés lors des courses : 10 kg
- Masse d'aliments transférés pour les petits-déjeuners et rafraîchissement : 1kg
- Masse d'aliments transférés pour les déjeuners et dîners : 2 kg.

La durée des actions dans les moments de repas a aussi été standardisée, par manque de données précises :

- 5 minutes pour les actions de rangement de tous les repas ainsi que la préparation du petit-déjeuner (sur les deux zones géographiques, le petit-déjeuner ne nécessite pas de cuisson).
- 20 minutes pour les actions de préparation des repas en semaine et,
- 30 minutes pour les actions de préparation des repas le week-end.

A partir des données documentées sur les paramètres par action, la durée de l'action et l'occurrence sur le cycle de vie, on obtient la valeur sur le cycle d'utilisation pour chacun des paramètres d'action. Cette valeur servira ensuite à modéliser la phase d'utilisation dans un logiciel d'analyse de cycle de vie, dans notre cas Bilan Produit.

Hypothèses liées à Bilan Produit

Les hypothèses liées à l'utilisation de Bilan Produit sont essentiellement associées à la modélisation de la fin de vie. En effet, dans ce logiciel, le scénario de fin de vie ne peut prendre que deux valeurs : déchets ménagers et pas de fin de vie. Les informations concernant le moment de mise au rebut ou les paramètres produits liés à l'emballage n'ont pas pu être modélisées suivant les données disponibles dans les modèles de contexte.

Le logiciel Bilan Produit ayant été développé pour un public français, les données de modélisation correspondent à la zone géographique France ou Europe. Pour la modélisation du modèle Brésil, il a été choisi de faire une équivalence avec les systèmes européens. Cette équivalence sera faite sur le composition énergétique pour l'électricité au Brésil qui est très différente du mix énergétique européen mais les résultats utilisés dans cette méthodologie étant essentiellement relatifs, les ordres de grandeur seront partiellement respectés.

4.2.4.3 Modèle de scénario Brésil

Pour remplir le modèle de scénario Brésil, nous avons utilisé les informations documentées dans le modèle de contexte rempli à partir des entretiens.
Cependant les données du modèle de contexte ne sont pas directement utilisables dans le scénario. Par exemple, les informations documentées dans les habitudes sont sous forme de texte et le scénario ne supporte que des chiffres.
En fonction des habitudes, plusieurs transformations ont été faites :

- Les habitudes qui ont été identifiées chez une seule personne (représentativité de 10%) n'ont pas été considérées car elles peuvent être liées à des variables individuelles.
- A chaque habitude alternative, une pondération en fonction de sa représentativité sur l'échantillon a été faite. Par exemple :
    - Pour l'installation, nous avons 2 personnes sur les 8 ayant répondu à cette partie du questionnaire qu'ils ont jeté le manuel d'instruction à ce moment-là. Pour le moment installation, le paramètre 19 « Ordure ménagère papier administratif » a été affecté à hauteur de 0.25, soit deux huitièmes.
- Pour les habitudes comportant des ouvertures de portes, le calcul se fait à partir de trois informations disponibles dans les habitudes :
    - La personne préparant le repas sort tous les aliments d'un coup (1 ouverture de porte longue) ou elle sort les aliments en plusieurs fois (3 ouvertures courtes)
    - La famille mange ensemble (1 ouverture de porte longue pour ranger les restes) ou la famille mange séparément (une ouverture de porte courte par membre de la famille).
    - Les restes sont rangés tous d'un coup (1 ouverture de porte longue) ou en plusieurs fois (3 ouvertures courtes).

Pour le modèle Brésil, nous avons modélisé 44 valeurs dans Bilan Produit (Annexe *A.6.2 Utilisation Brésil*).

4.2.4.4 Modèle de scénario France

Pour le modèle de scénario France, la représentativité des données est déjà considérée par les études qui ont servi à construire le modèle de contexte.
Cependant un certain nombre de transformations a été nécessaire à l'établissement du modèle :

- Pour le contenu transféré dans le réfrigérateur lors des courses et des repas, une répartition massique à partir des apports journaliers a été faite. Par exemple, pour le petit-déjeuner, les deux produits qui sont sortis du réfrigérateur sont le lait, avec 44,4 g/jour et les laitages, avec 11,6 g/jour. Lors du transfert de la nourriture du petit-déjeuner le lait s'est vu attribuer un coefficient de 79% (équivalent à 44,4/ (44.4+11.6)).
- Lorsque le repas est pris en famille, il est associé une ouverture de porte longue à la préparation et au rangement et lorsque le repas est pris séparément ce sont trois ouvertures de portes longues qui y sont associées.

Pour le modèle France, nous avons modélisé 28 valeurs dans Bilan Produit (Annexe *A.6.3 Utilisation France*).

Les résultats des deux évaluations sont présentés dans le paragraphe suivant.

4.3 Réduction de la variabilité dans les évaluations environnementales

4.3.1 Comparaison de l'évaluation environnementale des modèles de scénarios Brésil et France

Une des premières différences entre les deux évaluations est le choix de l'indicateur environnemental le plus important à considérer. Le modèle de contexte nous renseigne sur le fait que les brésiliens sont très préoccupés par la perte de biodiversité et les français par le réchauffement climatique. Or, comme démontré par Curran et al. (2011), il n'existe pas aujourd'hui de méthode de calcul de d'indicateur d'impact suffisamment reconnue pour la perte de biodiversité. Bilan Produit propose une évaluation sur un jeu de 8 indicateurs d'impact environnementaux : consommation d'énergie, consommation de ressources, effet de serre à 100 ans, acidification, eutrophisation, pollution photochimique, écotoxicité aquatique et toxicité humaine. On peut donc choisir parmi ces indicateurs ceux qui représentent les problématiques d'importance pour les deux pays.

Nous avons donc choisi :

- L'écotoxicité aquatique, comme indicateur typique des pressions sur la biodiversité, pour le Brésil, Figure 52 et
- L'effet de serre à 100ans, comme indicateur du réchauffement climatique, pour la France, Figure 53.

Pour chacun des huit indicateurs, on pourra avoir une représentation de la même forme que pour l'écotoxicité aquatique et l'effet de serre.

Afin d'alléger la représentation des résultats, tous les paramètres produit, les moments et les actions qui n'ont aucune contribution à l'impact environnemental illustré ont été retirés.

On obtient alors pour l'écotoxicité aquatique au Brésil 11 paramètres produit répartis sur 13 moments et 22 actions et pour le réchauffement climatique 8 paramètres produit, 9 moments et 14 actions (Cf. Figure 52 et Figure 53).

		1	3	5	7		8		9		10		11		12		13		16		17		20
		Installation	Usage été	Usage Hiver	Courses		Petit-déjeuner Semaine		Petit-déjeuner Week-end		Déjeuner Semaine		Déjeuner week-end		Dîner Semaine		Dîner week-end		Rafraîchissement		Nettoyage		Rangement
		stallati	Tâche	Tâche	Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		nance et Net		ngeme
Par Moment																							
		1.3	3.1	5.1	7.1	7.2	8.1	8.2	9.1	9.2	10.1	10.2	11.1	11.2	12.1	12.2	13.1	13.2	16.1	16.2	17.1	17.4	20.1
		Brancher	Brancher	Brancher	Etablir la liste	Ranger les aliments	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Débrancher	Passer un produit	Débrancher
Par Action																							
1	Branchement (Text=25°C; Patmosphérique)																						
2	Surconsommation pour 1°C (par rapport à 25°C)																						
5	Aliments = Fruits et Légumes																						
8	Aliments = Viandes et Poissons crus																						
9	Aliments = Repas préparés (20%Viandes, 30%Légu																						
11	Aliments = Liquides																						
12	Aliments = Condiments																						
13	Ouverture porte < 5 secondes																						
14	Ouverture porte > = 5 secondes																						
15	Dégivrage																						
22	Produit d'entretien																						

Figure 52 : Résultats de l'évaluation environnementale pour le scénario Brésil sur l'indicateur écotoxicité aquatique

			3	4	5	6	7		8		10		12		14	
			Usage été	Usage automne	Usage Hiver	Usage Printemps	Courses		Petit-déjeuner Semaine		Déjeuner Semaine		Dîner Semaine		Goûter	
			Tâche	Tâche	Tâche	Tâche	Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage	
Par Moment																
			3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	7.2	8.1	8.2	10.1	10.2	12.1	12.2	14.1	14.2
			Brancher	Brancher	Brancher	Brancher	Etablir la liste	Ranger les aliments	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger
Par Action																
1	Branchement (Text=25°C; Patmosphérique)															
2	Surconsommation pour 1°C (par rapport à 25°C)															
5	Aliments = Fruits et Légumes															
9	Aliments = Repas préparés (20%Viandes, 30%Légumes, 20% PV															
10	Aliments = Laitages															
11	Aliments = Liquides															
13	Ouverture porte < 5 secondes															
14	Ouverture porte > = 5 secondes															

Figure 53 : Résultats de l'évaluation environnementale pour le scénario France sur l'indicateur Effet de serre à 100 ans

Malgré des frontières d'évaluation différentes (modèle de scénario avec différents niveaux de détails et hypothèses de modélisation), on voit que les moments les plus contributeurs sont les usages saisonniers. L'usage du réfrigérateur en été, c'est-à-dire avec une température extérieure de plus de 25°C, est un des contributeurs majeurs pour les deux cas. Associé à l'usage saisonnier, le paramètre produit Branchement est aussi un des premiers contributeurs.
Cependant sur les repas et le refroidissement des aliments, les contributeurs sont ordonnés de façon différente. Pour le Brésil, le repas le plus contributeur est le rafraîchissement ; le paramètre produit le plus important est le refroidissement de liquide. Pour la France, les repas les plus contributeurs sont les petits-déjeuners et les goûters ; le refroidissement des fruits est relativement impactant par rapport à celui des autres aliments.
Les explications dans les deux cas sont à associer à l'occurrence importante de ces deux éléments sur la phase d'utilisation : 5 fois par jour pour le rafraîchissement au Brésil et tous les jours pour 96% des utilisateurs pour le petit-déjeuner en France.
Associés à l'occurrence des moments, le type et la quantité de produit transféré pendant les tâches d'usage expliquent les contributeurs importants sur les paramètres produit.
Le rafraîchissement au Brésil étant associé à l'introduction d'une quantité de liquide avec une occurrence importante, le paramètre produit « Aliments=Liquides » est donc un contributeur majeur.
Pour la France, c'est la somme du transfert de liquides lors du déjeuner et du dîner qui contribue beaucoup à l'impact environnemental sur le réchauffement climatique du paramètre produit « Aliments = Liquides».

Pour obtenir une comparaison plus réaliste entre les deux cas, nous avons décidé d'utiliser un indicateur commun. Les impacts environnementaux étant quasiment entièrement influencés par la consommation d'énergie en utilisation (hormis l'utilisation de détergent pour le nettoyage dans le cas Brésil), nous avons choisi cet indicateur pour comparer les priorités de reconception à donner.

		1	3	5	7		8		9		10		11		12		13		16		17	20
		Installation	Usage été	Usage Hiver	Courses		Petit-déjeuner Semaine		Petit-déjeuner Week-end		Déjeuner Semaine		Déjeuner week-end		Dîner Semaine		Dîner week-end		Rafraîchissement		Nettoyage	Rangement
Type		stallati	Tâche	Tâche	Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		nce et	ngeme
Contribution des moments																						
		1.3	3.1	5.1	7.1	7.2	8.1	8.2	9.1	9.2	10.1	10.2	11.1	11.2	12.1	12.2	13.1	13.2	16.1	16.2	17.1	20.1
		Brancher	Brancher	Brancher	Etablir la liste	Ranger les aliments	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Débrancher	Débrancher
Contribution des actions																						
1	Branchement (Text=25°C; Patmosphérique)																					
2	Surconsommation pour 1°C (par rapport à 25°C)																					
5	Aliments = Fruits et Légumes																					
8	Aliments = Viandes et Poissons crus																					
9	Aliments = Repas préparés (20%Viandes, 30%Lég																					
11	Aliments = Liquides																					
12	Aliments = Condiments																					
13	Ouverture porte < 5 secondes																					
14	Ouverture porte > = 5 secondes																					
15	Dégivrage																					

Figure 54 : Résultats de l'analyse des contributeurs à la consommation d'énergie pour le Brésil

			3	4	5	6	7		8		10		12		14	
			Usage été	Usage automne	Usage Hiver	Usage Printemps	Courses		Petit-déjeuner Semaine		Déjeuner Semaine		Dîner Semaine		Goûter	
Type			Tâche	Tâche	Tâche	Tâche	Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage		Tâche d'usage	
Contribution des moments																
			3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	7.2	8.1	8.2	10.1	10.2	12.1	12.2	14.1	14.2
			Brancher	Brancher	Brancher	Brancher	Etablir la liste	Ranger les aliments	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger	Préparer	Ranger
Contribution des actions																
	Durée															
1	Branchement (Text=25°C; Patmosphérique)															
2	Surconsommation pour 1°C (par rapport à 25°C)															
5	Aliments = Fruits et Légumes															
9	Aliments = Repas préparés (20%Viandes, 30%Légumes, 20%															
10	Aliments = Laitages															
11	Aliments = Liquides															
13	Ouverture porte < 5 secondes															
14	Ouverture porte > = 5 secondes															

Figure 55 : Résultats de l'analyse des contributeurs à la consommation d'énergie pour la France

En comparant les consommations d'énergie, les conclusions sont assez similaires à celles sur l'écotoxicité et le réchauffement climatique.
Les différences entre l'évaluation sur l'écotoxicité et celle sur la consommation d'énergie au Brésil sont essentiellement liées à la diminution des contributeurs lorsque l'on ne prend en compte que l'énergie. En effet, le paramètre produit 22 « Produit d'entretien » et l'action de Nettoyage 17.4 « Passer un produit de nettoyage » ne sont plus considérés dans la deuxième évaluation.
Pour le cas France, n'ayant considéré que des consommations d'énergie en utilisation, les contributeurs sont strictement les mêmes que ceux associés au réchauffement climatique.
Hormis les actions associées aux usages saisonniers, l'étude des contributeurs par action permet de dresser un bilan intéressant de l'influence des utilisateurs sur la consommation d'énergie.
Au Brésil, les premiers contributeurs par action sont : « Ranger les aliments » lors des courses, le rangement de liquides et de plats préparés lors des repas. Ceci s'explique par les quantités importantes à refroidir de la température ambiante à la température interne du réfrigérateur ainsi qu'à l'occurrence importante de ces actions sur le cycle d'utilisation.
En France, c'est le rangement de liquides pendant le petit-déjeuner (avec le lait) et le dîner (avec la soupe) qui contribue le plus à la consommation d'énergie. Encore une fois, l'explication tient à la quantité de liquide transférée et à l'occurrence des repas sur la phase d'utilisation du réfrigérateur.

4.4 Proposition de solutions d'éco-conception en fonction de l'évaluation environnementale

A partir des modèles à disposition (produit, contexte, phase d'utilisation, scénario d'utilisation) et de l'évaluation environnementale, nous pouvons proposer des solutions d'éco-conception.
L'évaluation environnementale sert à donner la priorité aux actions d'amélioration environnementale et les modèles permettent d'analyser où des améliorations sont possibles sur l'utilisation : modifier l'architecture du produit, influencer le comportement de l'utilisateur, l'informer….
Nous allons détailler les solutions pour les deux zones géographiques considérées : le Brésil et la France. Pour nous aider, nous avons utilisé l'outil stratégies. Nous avons vu que les plus grands contributeurs à l'impact environnemental de l'utilisation sont des tâches d'usage. La figure suivante reprend les solutions proposées par l'outil en utilisant ce critère de sélection :

		Volonté d'agir
1	Minimiser les consommations	+/-
	Diminuer l'intensité des consommations	--
	Diminuer la durée des consommations	+/-
	Mettre par défaut les paramètres les moins impactants pour l'environnement	--
2	Etendre la durée de vie	++
	Concevoir pour la maintenance et pour les améliorations pour augmenter la dur	++
	Anticiper les besoins et les améliorations de produit	+/-
	Augmenter la tolérance aux erreurs	--
3	Minimiser l'impact des consommables	+/-
4	Passer du produit aux services	+/-
5	Répondre à tous et uniquement aux besoins fonctionnels de l'utilisateur	++
	Etre conforme aux besoins de l'utilisateur	+/-
6	Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit	++
7	Guider le comportement de l'utilisateur	++
	Fournir un système auto-descriptif	+/-
8	Proposer des fonctions intelligentes qui donnent le contrôle de l'impact environnemental seulement au produit	--
	Adapter le produit à la tâche	--
	Adapter le produit à l'utilisateur en tant qu'individu	--
9	Donner le contrôle total à l'utilisateur	++
10	Se concerter avec les utilisateurs, les représentants de la société civile et les ONG	++

Figure 56 : Liste des stratégies applicables à l'amélioration des tâches d'usage et la volonté d'agir des utilisateurs visés

En fonction des tâches d'usage les plus impactantes, du modèle de contexte et des paramètres, plusieurs solutions d'éco-conception sont proposées.

4.4.1 Solutions d'éco-conception associées aux modèles Brésil

Les tâches les plus contributrices pour les deux modèles sont les tâches saisonnières. Ici, la seule action de l'utilisateur est d'avoir branché le réfrigérateur et de l'avoir installé à un endroit spécifique. Une solution basée sur la minimisation des consommations est intéressante. Dans le cas d'un réfrigérateur, la fonction principale attendue étant constante dans le temps, il faudra plutôt travailler sur l'intensité des consommations.
Pour le Brésil, les températures extérieures auxquelles le réfrigérateur est soumis couvrent un grand intervalle : de 0°C à 30°C. Cette plage est à prendre en compte pour le choix de la technologie de compresseur, par exemple un tropical élargi (de 10°C à 43°C) ou un tempéré élargi (de 10°C à 32°C) pourrait être plus performant qu'un tempéré. Cette large amplitude rend difficile l'optimisation énergétique du compresseur qui doit refroidir de façon constante le compartiment interne (6°C) avec des contraintes extérieurs qui varient beaucoup entre les saisons.

Le deuxième moment impactant de la phase d'utilisation est le rafraîchissement. Cette activité très fréquente nécessite le refroidissement du liquide après chaque action 16.2 « Ranger ».
Deux stratégies ont été sélectionnées pour améliorer l'impact de ce moment : « Guider le comportement de l'utilisateur » et « Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit ».
La première stratégie peut être mise en œuvre par l'ajout d'un réservoir d'eau avec un robinet sur la porte du réfrigérateur, comme dans certains modèles dits « américains ». De cette façon, le liquide à

refroidir le sera en une fois, lors du remplissage du réservoir. Cette solution a deux conséquences importantes sur l'évaluation environnementale : on aura l'ajout d'un paramètre produit « Ouverture du robinet pour remplir un verre de 25 cl » correspondant à la surconsommation associée, et l'ajout d'un moment de « Remplissage de réservoir » et de deux actions associées, extraire le réservoir, remettre le réservoir. Il faudra faire attention aux transferts d'impacts : lors de la fabrication, on rajoutera la fabrication et l'intégration du robinet et du réservoir, ainsi que la baisse d'efficacité énergétique en utilisation liée à l'affaiblissement de l'isolation thermique par le perçage du trou du robinet.
La deuxième stratégie consiste à créer un moment d'apprentissage. Pour inciter l'utilisateur à moins ouvrir et fermer la porte pour chercher un rafraîchissement, des informations sur la meilleure hydratation obtenue par une boisson à température ambiante et l'impact sur la biodiversité de la production d'énergie pour rafraîchir cette boisson peuvent être communiquées à l'utilisateur.
Le modèle de contexte nous apprend que les brésiliens ont un accès partiel à internet mais ont quasiment tous un téléphone portable. On peut envisager lors de l'acquisition du produit que l'on inscrive les utilisateurs le souhaitant à une liste de messages automatiques avec des conseils sur une utilisation environnementalment responsable du réfrigérateur. Les messages incitatifs pourront être envoyés de façon régulière pour sortir l'utilisateur des tâches d'usage et initier des moments d'apprentissage. On aura donc ajouté une fonction dérivée associée au produit en cours d'utilisation, c'est-à-dire un moment d'amélioration. Après ce moment, on peut rentrer dans un moment d'apprentissage et modifier les tâches d'usage.

Les dîners et déjeuners en semaine sont des contributeurs moyens à l'impact environnemental du produit. En examinant la décomposition en paramètres produit par action, on voit que ce sont les ouvertures de portes qui participent le plus à l'impact du produit.
Le fait que les membres de la famille prennent leur repas chacun leur tour augmente le nombre d'ouvertures de porte associées à ce repas. Pour améliorer ce constat, on peut tenter d'implémenter une stratégie de type « Se concerter avec les utilisateurs, les représentants de la société civile et les ONG » en passant une campagne conjointe d'incitation à prendre ces repas ensemble, en famille. Cette stratégie risque de ne pas avoir d'effet à court terme mais on peut espérer une modification à long terme du modèle de contexte qui associera aux moments repas moins d'ouvertures de porte qu'actuellement.

Enfin, on voit que les fruits et légumes occupent un place importante dans le réfrigérateur pour 50% des utilisateurs interviewés. Même si leur contribution n'est pas majoritaire, on peut proposer une solution d'amélioration du type « Répondre à tous et uniquement aux besoins fonctionnels de l'utilisateur ». En ajoutant un compartiment pour fruits et légumes correspondant à 30% du volume du réfrigérateur avec une température modérée (10-15°C) et avec un compresseur dédié, on pourra voir une baisse de la consommation d'énergie tout en gardant la fonctionnalité de préserver les fruits et légumes. On peut même envisager une légère amélioration de la fonctionnalité liée au fait que cette plage de températures est plus propice à la conservation des fruits et légumes.
Il faudra faire cependant attention aux transferts d'impact associés à la fabrication et à la fin de vie d'un compresseur supplémentaire.

Nous avons ajouté un moment d'amélioration suivi d'un moment d'apprentissage via le service de messages téléphoniques informationnels. Afin de diversifier les informations envoyées, la partie connaissance et savoir-faire nous apportent des pistes sur les perceptions faussées des utilisateurs de l'impact environnemental du produit. En parallèle des conseils sur la meilleure utilisation, on peut envisager des informations sur l'importante contribution de l'utilisation à l'impact environnemental du réfrigérateur, ou bien sur les filières de fin de vie les plus performantes pour l'environnement (réutilisation et recyclage). Des informations sur la protection de la biodiversité au sens large ou sur la toxicité réelle du réfrigérateur sur les écosystèmes peuvent aussi être ajoutées.

Le tableau suivant propose un résumé des solutions d'amélioration proposées :

Tableau 12 : Résumé des solutions d'éco-conception pour le Brésil

	Stratégies	Solutions proposées
1	Diminuer l'intensité des consommations	Compresseur optimisé pour une température extérieure allant de 0°C à 35°C et intérieure de 6°C
2	Guider le comportement de l'utilisateur	Réservoir et Robinet pour servir les rafraîchissements Transferts possibles : Perte d'isolation thermique et Fabrication du réservoir et robinet
3	Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit	Service de SMS avec des informations et des conseils d'amélioration de l'impact environnemental du réfrigérateur Transferts possibles : Impact environnemental de l'envoi d'un SMS
4	Se concerter avec les utilisateurs, les représentants de la société civile et les ONG	Campagne d'informations sur l'incitation à la prise de repas en famille Transferts possibles : Coût environnemental sur leur cycle de vie des supports publicitaires
5	Répondre à tous et uniquement aux besoins fonctionnels de l'utilisateur	Ajout d'un compartiment pour les fruits et légumes avec un compresseur supplémentaire avec une efficacité énergétique adaptée à la plage intérieure de 10°C à 15°C Transferts possibles : Coût environnemental sur son cycle de vie de l'ajout d'un composant type compresseur.

4.4.2 Solutions d'éco-conception associées aux modèles France

La première solution d'éco-conception illustrée ici est similaire à celle proposée pour le modèle Brésil : «Diminuer l'intensité des consommations » en minimisant la consommation d'énergie du compresseur sur les plages de températures saisonnières documentées dans le modèle de contexte. Dans le cas français, les plages de températures sont plus proches de la catégorie tempérée des réfrigérateurs (16°C à 32°C) variant de 18°C à 27°C en extérieur et de 6°C à l'intérieur.

En ce qui concerne les performances par paramètre produit, on voit que le transfert de liquide est très contributeur, notamment à cause du lait utilisé dans la préparation du petit-déjeuner. On peut appliquer une solution de type « Guider le comportement de l'utilisateur » en livrant avec le réfrigérateur des contenants pour les liquides d'une quantité plus faible que les bouteilles de un litre ou de deux litres de boissons. On peut envisager des contenants de 25 centilitres pour couvrir les besoins en lait du petit-déjeuner sur 4 jours. En faisant cela, on incitera l'utilisateur à ne sortir du réfrigérateur que la quantité nécessaire à la préparation d'un petit-déjeuner et à y transférer une quantité moindre d'aliments à température ambiante.
Cette solution peut aussi être appliquée à la soupe transférée lors du dîner.

De manière générale, on peut créer un moment d'apprentissage pour améliorer les habitudes identifiées dans le modèle de contexte. Ce même modèle nous fournit des propositions sur les médias par lesquels nous pouvons faire passer les informations pour implémenter la stratégie « Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit » : les utilisateurs n'ont pas tous accès aux services télécoms de type téléphonie fixe, mobile et internet. Un autre média pour diffuser l'information est le produit lui-même. Un jeu d'aimants décoratifs avec des conseils de bonne utilisation du réfrigérateur peut être livré avec le produit. Les conseils peuvent porter des messages du type « Laisser refroidir les aliments avant de les ranger permet d'économiser X grammes de CO_2 » ou bien « Est-ce bien nécessaire de stocker ces fruits au réfrigérateur ? Les pommes se conservent aussi longtemps à 20°C qu'à 6°C ! »

Une dernière solution à partir de la stratégie « Se concerter avec les utilisateurs, les représentants de la société civile et les ONG » est de s'investir dans des campagnes de promotion de la baisse de température dans les logements. En effet, si la température baisse de 2°C à l'extérieur du réfrigérateur, il y aura un gain environnemental lié à la diminution de la consommation d'énergie du produit.

Le tableau suivant résume les solutions d'éco-conception exposées ci-dessus :

Tableau 13 : Résumé des solutions d'éco-conception pour la France

	Stratégies	Solutions proposées
1	Diminuer l'intensité des consommations	Compresseur optimisé pour une température extérieure allant de 18°C à 27°C et intérieure de 6°C
2	Guider le comportement de l'utilisateur	Petits contenants pour une unité de lait pour le petit-déjeuner ou une unité de soupe pour le dîner Transferts possibles : Fabrication des contenants en plastique et nettoyage supplémentaire.
3	Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit	Aimant sur le réfrigérateur avec des conseils d'utilisation Transferts possibles : Coût environnemental sur leur cycle de vie de la fabrication des aimants
4	Se concerter avec les utilisateurs, les représentants de la société civile et les ONG	Campagne d'informations sur la diminution de la température de chauffage du logement (et de la cuisine en particulier) Transferts possibles : Coût environnemental sur leur cycle de vie des supports publicitaires

On voit que dans le cas d'étude France, il y a un nombre légèrement moins important de solutions d'éco-conception. Ceci est dû au fait que l'outil de collecte utilisé a un niveau B (remplit partiellement le critère) sur plusieurs critères. Une collecte de données avec des outils ethnographiques pourra fournir des informations plus détaillées permettant d'imaginer des solutions d'éco-conception plus nombreuses pour le réfrigérateur.

4.4.3 Comparaison des performances environnementales sur les deux segments après application des solutions

En comparant le Tableau 12 et Tableau 13, on voit qu'en utilisant un même jeu de stratégies et ayant une typologie d'impact partiellement similaire, les solutions d'éco-conception sont différentes.
Le modèle de contexte différencié par pays nous a fourni des informations permettant d'adapter les stratégies génériques à des situations d'utilisation différentes.
En remontant le fil de la démarche, on voit qu'en partant d'un même modèle de produit, de la phase d'utilisation et de scénario, nous arrivons à une évaluation environnementale différente. Ces différences sont liées à deux éléments :

- D'abord, des outils d'instanciation des modèles différents. Pour le cas Brésil, les entretiens semi-directifs fournissent des informations détaillées mais longues à traiter et pour le cas de la France, l'analyse préliminaire nous fournit des informations sommaires mais rapides à traiter.
- Des contextes d'utilisation différents. Ceci justifie d'ailleurs la segmentation géographique pour le développement de produit.

Un autre cas de comparaison est l'éco-conception d'un réfrigérateur pour des utilisateurs britanniques par Tang & Bhamra (2012). La démarche est partiellement similaire à la nôtre : à partir de la combinaison d'entretiens semi-directifs et d'analyse des tâches auprès de 18 familles, elles proposent des solutions d'éco-conception des réfrigérateurs. Sans passer par une évaluation

environnementale, la solution principale proposée est l'ajout d'un tiroir spécifique permettant de sortir en une seule fois tous les ingrédients pour préparer le petit-déjeuner et le déjeuner. On voit que cette solution, si elle est performante pour les britanniques, a un effet limité pour les contextes brésiliens et français. En effet, en Grande-Bretagne, le contenu du petit-déjeuner et du déjeuner est similaire et surtout, la préparation des deux repas a lieu au même moment, le matin (Tang & Bhamra 2012). Ce contexte n'est retrouvé ni au Brésil ni en France où les contenus alimentaires du petit-déjeuner et du déjeuner sont très différents et où la préparation de ces repas a lieu soit directement au moment du repas soit à l'extérieur de la maison.
Cette étude nous montre l'importance de la différenciation géographique pour le développement de solutions d'éco-conception : l'application du tiroir à petit-déjeuner/déjeuner en France et au Brésil risque de n'être qu'un ajout de matériaux ne générant pas de diminution des ouvertures de porte du réfrigérateur.

On voit aussi, en analysant ces cas d'études que les outils de collecte de données sur les utilisateurs issus des sciences sociales fournissent des informations détaillées qui permettent de générer des solutions d'éco-conception novatrices. Cependant, l'ambition de la méthode proposée ici est de supporter le processus de conception et notamment ses contraintes de type coût et temps limités. L'utilisation de l'analyse préliminaire pour les modèles France montre que malgré tout avec des ressources limitées, on peut proposer de nouvelles solutions d'éco-conception adaptées le plus possible aux spécificités des utilisateurs visés.

Le paragraphe suivant va plus loin dans l'analyse de l'adéquation de la méthode avec un processus de conception. Nous allons y discuter les limites du cas d'étude exposé pour la validation de l'efficacité de la méthode dans le cadre du processus de conception.

4.5 Evaluation du cas d'étude : adéquation à la conception de produit

4.5.1 Levée des verrous

Le cas d'étude précédent a montré que l'on pouvait réaliser une itération de conception à partir des outils et des modèles à disposition dans la méthode proposée au chapitre précédent. La situation du cas d'étude est similaire à une étape de planification car elle propose d'instancier les différents modèles pour une première évaluation. A la différence d'une étape de planification, ce ne sont pas des spécifications qui ont été développées mais directement des concepts. En effet, n'étant pas dans un cadre réel de conception, les spécifications sont difficilement formalisables. Pour cela, il nous aurait fallu avoir des objectifs stratégiques quant au développement du produit ainsi que les conséquences sur ces spécifications des autres contraintes de conception (coût unitaire produit, délai de mise sur le marché, fabricabilité, recyclabilité…).

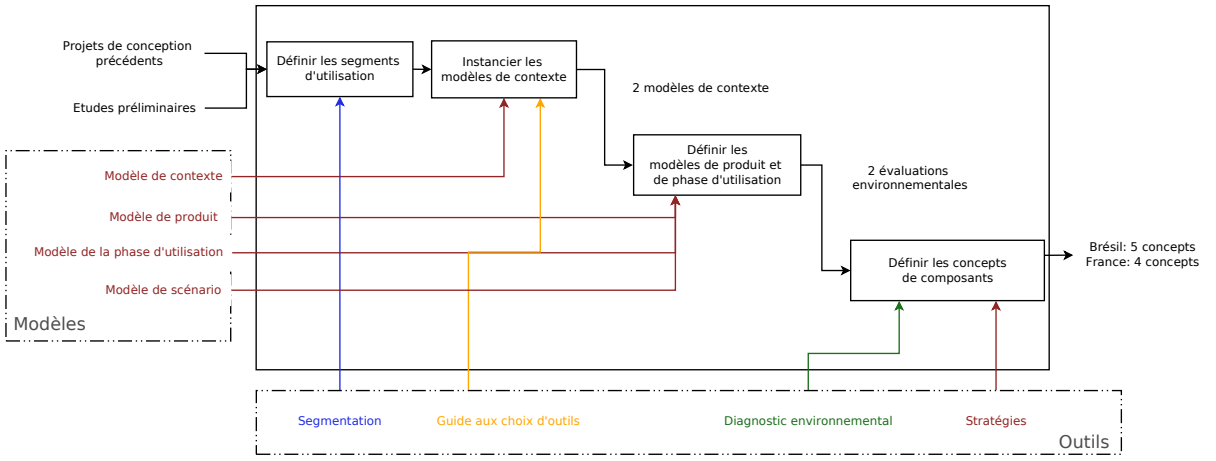


Figure 57 : Situation de conception du cas d'étude

Cependant, en définissant sommairement une situation de conception, la re-conception d'un réfrigérateur, nous avons pu définir deux modèles de l'utilisation (composé d'un modèle de produit, d'un modèle de la phase d'utilisation et de deux modèles de contexte, un pour la France et un pour le Brésil). Ces modèles ont permis d'évaluer l'impact environnemental de cette phase du cycle de vie pour un produit utilisé au Brésil et le même produit utilisé en France. A partir de cette évaluation et des modèles, nous avons proposé des solutions d'éco-conception de type « concept » qu'il faudra détailler au cours du processus de conception.

Ce cas d'étude permet de montrer que la méthode proposée permet de lever deux des trois verrous associés à notre question de recherche :

- Temporalité: Le modèle de l'utilisation composé du produit, de la phase d'utilisation, du contexte et du scénario permet de projeter pour les activités de conception l'impact environnemental de l'utilisation.
- Variabilité : En rassemblant les utilisateurs en fonction de leur lieu d'habitation et de leur culture, nous avons pu proposer des solutions de conception plus proches des situations d'utilisation du groupe visé.

En ce qui concerne le verrou Conception, nous avons partiellement levé ce verrou. D'abord, le cas d'étude France a pu montrer qu'avec une contrainte temporelle et financière importante, nous étions capables de proposer des concepts pour l'éco-conception adaptés à l'utilisation du produit. Ensuite, nous avons pu simuler une boucle de conception de type DfX avec une partie évaluation de l'impact environnemental de l'utilisation puis une amélioration de la solution basée sur les stratégies proposées par la méthode.

Malgré tout, un certain nombre de conditions réelles de conception n'a pas pu être illustré par ce cas d'étude. Le prochain paragraphe détaille les aspects manquants du cas d'étude dans la validation de la levée du verrou Conception.

4.5.2 Support au processus de conception complet

Dans un premier temps, ce cas d'étude représente partiellement les premières étapes de conception. Les étapes amont du processus sont primordiales pour un processus de conception centrée sur l'utilisation, et la faisabilité de ces étapes est importante pour la validation de la méthode. Le cas d'étude a montré que l'on pouvait établir une liste de concepts qui seront détaillés plus tard dans le processus de conception, c'est-à-dire à la fin de l'étape de conception préliminaire.

Nous avons aussi montré qu'une étape de conception basée sur une boucle itérative de proposition d'un modèle de produit puis évaluation et amélioration était possible. Ces itérations se retrouvent à l'étape de conception préliminaire et de prototypage.

La proposition de rationalisation des concepts en conception préliminaire n'a cependant pas été testée par ce cas d'étude. Cette rationalisation se basant sur des décisions en adéquation avec la

stratégie de l'entreprise, nous n'avons pas pu la réaliser (tout comme l'étape de propositions de spécifications en planification).

Cette absence de stratégie dans le cas d'étude vient du fait que les acteurs de la conception, en tant qu'individus, ne sont pas présents. En effet, ce cas d'étude a été réalisé en laboratoire « in-vitro» par des experts en éco-conception, faute d'avoir trouvé un partenaire industriel intéressé par l'application de la méthode. De ce fait, les activités liées à la collaboration entre métiers lors des différentes étapes de la méthode n'ont pas pu être vérifiées. Par exemple, le support des modèles de l'utilisation aux activités du bureau d'études n'a pas été vérifié « in-vivo ».
De même, l'adéquation des outils proposés aux métiers auxquels ils s'adressent n'a pas pu être validée dans une situation de conception.
Les objets de conception utilisés pour ce cas d'étude se sont limités à la gamme de produit précédente et aux concepts de composants éco-conçus. Il faudra vérifier que les activités de conception basées sur des spécifications, sur des plans détaillés et sur des descriptions pour la fabrication sont aussi supportées par les outils proposés par notre méthode.

4.5.3 Acceptabilité terrain des solutions d'éco-conception

Notre cas d'étude se limite à la proposition de concepts. Nous n'avons pas validé l'acceptation et l'efficacité en situation réelle de ces propositions. Pour les solutions « transparentes » pour l'utilisateur, comme l'amélioration de la performance énergétique pour une plage de température restreinte (solutions n°1 dans le Tableau 12 et le Tableau 13), l'influence de l'utilisateur est minime. C'est uniquement le contexte géographique et culturel qui l'influence. Ce contexte peut être modifié de deux façons :

- Modification importante du régime climatique régional.
- Généralisation du chauffage individuel au Brésil, ou baisse généralisée des températures de chauffage en France.

Ces modifications peuvent être considérées comme étant de long terme et donc pourront être intégrées dans la conception de produit en mettant à jour le modèle de contexte à chaque développement de produit.
Pour les solutions nécessitant l'intervention de l'utilisateur pour être efficaces, il faudra vérifier qu'elles ont bien l'effet escompté et pas un effet rebond. Par exemple, la solution du robinet sur le réfrigérateur sera performante uniquement si l'utilisateur remplit le réservoir lorsqu'il est à moitié vide et pas à chaque utilisation, ou si le réfrigérateur est connecté à une arrivée d'eau potable.
Il y a un risque que l'utilisateur n'intègre pas du tous les propositions faites. Par exemple, la stratégie « Fournir un retour d'information sur l'impact environnemental du produit » est associée à une volonté d'agir forte de la part de l'utilisateur. Si celle-ci est faible, les aimants et les messages sur téléphone portable n'auront pas d'incidence sur les habitudes d'utilisation.

La méthode nous propose de valider à chaque itération de conception les propositions de produit en cours de développement. A minima, il faut valider l'adéquation des solutions aux informations déjà documentées dans le modèle de contexte. Le mieux est de relancer une campagne de collecte de données auprès des utilisateurs sur la base du modèle de produit à disposition (focus group ou analyses des tâches). Cette deuxième collecte permettra de mettre à jour les modèles et d'évaluer l'amélioration, ou non, de l'impact environnemental potentiel du produit.

4.6 Conclusion

Ce cas d'étude a permis d'établir un modèle de l'utilisation pour un réfrigérateur au Brésil et en France. Ce modèle a été établi à partir d'un modèle de produit et de la phase d'utilisation générique ainsi que deux modèles de contexte spécifiques au Brésil et à la France. Ces contextes ont été développés en utilisant deux outils de collecte, respectivement les entretiens semi-directifs et l'analyse préliminaire.

Le modèle de scénario a permis d'établir une évaluation environnementale pour les deux territoires. De ce fait, le verrou temporalité a été levé en proposant une modélisation de l'impact environnemental de la future utilisation du produit en cours de développement.
Le développement disjoint d'un même produit pour deux territoires différents permet de lever le verrou variabilité. En effet, en proposant un modèle de contexte par pays, nous avons obtenu une évaluation environnementale spécifique. Cette évaluation et le modèle de contexte ont permis de développer des solutions d'éco-conception adaptées à chaque pays.
La levée du verrou conception n'a pas été complètement illustrée par ce cas d'étude. L'application de la méthode de conception à un projet complet, du lancement à la mise sur le marché, permettrait de valider cette méthode. Afin de prouver l'efficacité de la méthode, il faudrait organiser un cas d'étude comparatif avec un projet de conception « classique » et un projet de conception « orientée utilisation ».

De plus, le critère définitif de validation de la méthode serait le développement de produit à plus faible impact sur leur cycle de vie et notamment sur la phase d'utilisation. Cependant pour compléter cette validation, il faudrait que le produit développé pour la validation du verrou conception soit suivi tout au long de son cycle d'utilisation. En effet, seule une analyse a posteriori de l'impact environnemental du produit pourrait valider la méthode et prouver que la différence entre la modélisation de l'impact en conception et l'impact réel a diminué.

Chapitre 5 Conclusions

La conception intégrée est une démarche itérative qui se base sur la modélisation des contraintes de toutes les parties prenantes comme moyen de les prendre en considération au cours du processus de conception. Pour prendre en compte l'impact environnemental d'un produit sur son cycle de vie, il faut intégrer cette contrainte en conception. Dans le cadre de cette thèse, la contrainte à intégrer est l'impact environnemental du produit en utilisation.

5.1 Apport de la thèse

Nous avons proposé une démarche visant à modéliser l'impact environnemental de l'utilisation d'un produit et un support d'aide à la conception en vue de l'amélioration de cet impact. Nous avons proposé :

- Un modèle de l'utilisation composé du modèle de produit, d'un modèle de la phase d'utilisation, d'un modèle de contexte et d'un modèle de scénario pour l'évaluation environnementale. Ce modèle fin permet d'améliorer à la fois la précision de l'évaluation environnementale et la compréhension de la phase d'utilisation.
- Des outils supports à la réalisation de la démarche de conception intégrée : un guide pour la segmentation des utilisations, un pour le choix des outils d'instanciation des modèles, un de choix de stratégies d'éco-conception de la phase d'utilisation et un outil de diagnostic environnemental. Le concepteur est alors outillé pour éco-concevoir en complément de ces outils classiques.

Au-delà de la réponse à la question de recherche initiale, notre proposition apporte aussi quelques réponses à des problématiques plus globales associées à l'évaluation environnementale en conception ainsi qu'un enrichissement des démarches globales d'éco-conception en apportant une nouvelle perspective. Les deux sections suivantes explicitent ces apports supplémentaires.
Ce chapitre traitera ensuite des limites de cette proposition en terme de gamme de produit. Enfin, un aperçu des perspectives à donner à cette recherche sera proposé.

5.2 Apports de la proposition méthodologique à l'évaluation environnementale

5.2.1 Un moyen de mieux prendre en compte l'utilisation dans l'unité fonctionnelle

L'analyse de cycle de vie utilise comme référence pour ses calculs l'unité fonctionnelle. Elle représente les fonctions du produit ou du service que l'utilisateur souhaite réaliser via l'acquisition de ce dernier.
La définition de l'unité fonctionnelle est un exercice difficile car elle doit représenter toutes les alternatives de configuration de système que l'utilisateur pourrait acquérir pour la réaliser.
En se basant sur l'utilisation et sur l'utilisateur, la méthode proposée dans cette thèse permet de clarifier et préciser l'unité fonctionnelle principale et les fonctions secondaires attendues pour un produit.
L'étude détaillée des pratiques d'utilisation permet de définir les contraintes extérieures réelles auxquelles est soumis le produit. Que ce soit en termes d'intensité ou bien de fréquence des sollicitations, le modèle de contexte permet de définir de façon détaillée le niveau de performance attendu pour le système en cours de conception.
Cette définition plus contrainte et précise de l'unité fonctionnelle a deux conséquences :

- Elle réduit les possibilités de standardisation des gammes de produit. En effet, pour chaque utilisateur, on aura une définition de l'unité fonctionnelle et donc un produit spécifique. Pour la fabrication, la standardisation permet de diminuer les impacts environnementaux. Une unité fonctionnelle contrainte aura tendance à diminuer la standardisation des gammes de produit.

- Elle permet de mieux définir les critères dans le but d'une optimisation environnementale. En réduisant les intervalles de contraintes à améliorer, on aura une optimisation plus fine des performances environnementales du produit.

Indépendamment du raffinement de l'unité fonctionnelle par des contraintes liées à l'utilisation, on obtiendra le point de vue de la partie prenante « utilisateur » dans le processus d'évaluation environnementale. Il est en effet fréquent que le point de vue des utilisateurs ne soit pas identifié pour la définition de l'unité fonctionnelle. Par exemple, le programme suédo-italien EPD - déclarations environnementales produit - propose de développer des règles par catégorie de produit- Product Category Rules PCRs- pour l'évaluation environnementale. Les utilisateurs ne font pas partie du groupe de travail alors même que c'est à ce moment-là qu'est définie l'unité fonctionnelle pour l'évaluation (EPD 2013). L'utilisation des outils pour la création du modèle de contexte permettrait d'intégrer le point de vue de l'utilisateur sur l'unité fonctionnelle attendue pour la création de ces PCRs. Aujourd'hui, l'unité fonctionnelle choisie par le groupe de travail sur les réfrigérateurs est « un produit ».
En prenant comme point de départ l'utilisateur, on peut aussi éviter les conflits d'intérêt. Indépendamment des controverses entre industriels choisissant l'unité fonctionnelle qui met leur produit sous un meilleur jour, les utilisateurs définiront les produits qu'ils considèrent comme substituables (avec la même unité fonctionnelle) de ceux ayant des fonctions différentes.

5.2.2 Une meilleure appréhension des incertitudes sur la phase d'utilisation

En chapitre 2, nous avons vu que les hypothèses de modélisation de la phase d'utilisation en évaluation environnementale sont très larges et génèrent des incertitudes importantes.
Notre méthode apporte deux améliorations sur ce point : premièrement une séparation des utilisations d'un même produit qui réduit la variabilité, et deuxièmement une collecte de données de modélisation plus formelle et méthodique.

La segmentation permet de regrouper, dans l'éventail des possibilités d'utilisation, des utilisateurs par type. Cette typologie permet de diminuer les variations dans le groupe des utilisateurs en les rassemblant selon des caractéristiques communes : le lieu géographique d'utilisation, les pratiques culturelles et les facteurs individuels.
Même si l'évaluation environnementale est faite sur une moyenne des utilisateurs, les sources de variations entre les différentes évaluations pourront être identifiées. Cette identification permettra une première approximation des incertitudes liées à l'évaluation environnementale de la phase d'utilisation.

Le modèle de contexte, le modèle de scénario et le guide aux choix des outils pour l'instanciation des modèles donnent un formalisme pour les hypothèses de modélisation du cycle de vie dans un logiciel dédié. En choisissant un outil d'instanciation, on identifiera la qualité des données extraites, la taille de l'échantillon représentatif à sélectionner et la validité des informations sur les moments de la phase d'utilisation.
On pourra associer à chaque outil d'instanciation un indicateur de qualité des données (niveau de détail) et de quantité des données (représentativité statistique de l'échantillon d'utilisateurs considérés). A partir de ces deux indicateurs, on peut définir une incertitude aux données issues de chaque instanciation par type d'outil.
Le modèle de contexte permet de garder la trace des informations initialement utilisées avant de les transformer en données implémentables dans un logiciel d'ACV. Cette trace permet de revenir facilement sur les hypothèses de modélisation choisies pour le scénario d'utilisation.
L'évaluation environnementale enrichie par les incertitudes associées permettra de prendre des décisions d'éco-conception proportionnées aux incertitudes des données.

5.3 Apports de la proposition méthodologique à l'éco-conception

5.3.1 Concevoir avec l'utilisateur

Pour beaucoup de produits, les efforts d'éco-conception basés sur une amélioration de l'efficacité technique sont arrivés à leur optimum. Des systèmes plus efficaces dans la gestion des consommations, des consommables moins impactant ont permis de générer des réductions d'impacts environnementaux importantes.

Aujourd'hui, les solutions se tournent de plus en plus vers les consommateurs, les citoyens et les utilisateurs, qui peuvent se retrouver combiner chez tous les individus. La méthode proposée permet d'évaluer les aspirations des utilisateurs au-delà de cet aspect de l'individu en intégrant les dimensions connaissances, savoir-faire et culture dans le modèle de contexte. Ces informations permettent de proposer des solutions où l'utilisateur a un rôle actif dans la gestion de l'impact environnemental. Dans notre cas d'étude, les solutions basées sur la stratégie « Se concerter avec les utilisateurs, les représentants de la société civile et les ONG » permettent de sortir du cadre restreint de l'utilisateur seul face à son produit. En remettant en question les habitudes et les pratiques culturelles, on peut envisager de faire changer la norme d'utilisation des produits. Cette stratégie permet d'envisager de négocier avec l'utilisateur des modifications concertées de ses pratiques et de le responsabiliser sur l'impact environnemental du produit en utilisation.

Concevoir avec l'utilisateur permet aussi de s'intéresser aux améliorations environnementales faites aux dépends de la conception du produit. Les modifications apportées par l'utilisateur ont été faites contre la conception actuelle du produit mais vont en améliorer l'impact sur l'environnement. Redström (2006) parle de « Hackability », c'est à dire de capacité des objets à être détournés par les utilisateurs afin de mieux correspondre à leurs besoins. Certains utilisateurs ont proposé des modifications de produit pour en améliorer l'impact environnemental : installation d'une prise avec un interrupteur pour les produits sans mode arrêt, recyclage des eaux de chauffe de douche… En concevant avec les utilisateurs, les concepteurs peuvent s'inspirer de ces détournements, « hacks », environnementaux pour améliorer leur produit.

5.3.2 Adapter la conception au contexte d'utilisation

L'utilisation d'un produit est un processus contraint par des variables difficilement identifiables. Le modèle de contexte est une tentative de capture de toutes ces contraintes. Même si des négociations sur ces contraintes peuvent être faites, comme expliqué au paragraphe précédent, certaines sont plus difficiles à lever.

Les contraintes liées aux infrastructures externes, comme les systèmes de production d'électricité, doivent être intégrées afin d'adapter les solutions d'éco-conception aux systèmes existants. L'exemple le plus commun est celui des solutions d'éco-conception pour la fin de vie : si l'infrastructure support à cette solution (compostage par exemple) n'est pas disponible sur le territoire où la fin de vie aura lieu, les bénéfices environnementaux ne pourront être réalisés.

Les contraintes liées aux infrastructures internes permettent d'envisager des associations de produit pour développer des solutions d'éco-conception (récupération des eaux de lavage pour la chasse d'eau par exemple).

Les contraintes liées à la culture permettent d'éviter un rejet du produit à cause d'une mauvaise perception d'un tel objet par ses utilisateurs. En environnement, la notion de propreté peut, par exemple, entrer en conflit avec les solutions d'éco-conception limitant la quantité d'eau ou de nettoyant utilisé (Shove 2003).

Les contraintes liées aux habitudes, aux connaissances et aux compétences permettent de mieux spécifier les conditions d'utilisation du produit et les moyens à disposition pour modifier les usages.

Le modèle de contexte, de façon qualitative, et le modèle de scénario, de façon quantitative, permettent d'exprimer les contraintes de l'utilisation pour la conception.

Découpage temporel : exprimer les contraintes utilisateurs de façon adéquate

Ces travaux de thèse viennent compléter les propositions faites par le projet Synergico (Evrard et al, 2010) sur le découpage temporel de l'utilisation pour l'éco-conception.

La directive ErP- Energy related product (European Commission 2009) propose de découper l'utilisation en mode de fonctionnement produit (allumé, éteint, veille) ordonné de façon séquentielle. Ce découpage offre deux possibilités de re-conception :

- L'ajout de modes à basse puissance, éteint et veille notamment, et
- Un passage automatique dans ces modes basse puissance, au bout de X minutes.

Synergico propose un découpage plus fin et non séquentiel du temps de l'utilisation en fonction de la sollicitation des composants électroniques dans la réalisation d'une fonction (Domingo et al, 2011).

Cette thèse a proposé un autre découpage du temps de l'utilisation avec un premier niveau de détail non séquentiel (les moments) complété par un niveau de détail allant jusqu'à l'action de l'utilisateur avec le produit.

En définissant l'utilisation par rapport à l'utilisateur, les contraintes qui lui sont liées semblent être plus facilement identifiables que dans le cadre d'ErP et de Synergico qui base leur découpage temporelle sur des caractéristiques produit. Ceci peut permettre de proposer des solutions d'éco-conception se basant aussi bien sur l'utilisateur que sur le produit, en fonction des contraintes identifiées dans le découpage temporelle.

5.4 Limites de la proposition méthodologique

Cette proposition a rempli le cahier des charges exprimé au chapitre 2. Cependant, des limites ont déjà été identifiées dans le cas d'étude quant à l'applicabilité en conception du produit. D'autres limites liées à la typologie du produit à reconcevoir peuvent apparaître.

5.4.1 Application à des produits innovants

Le cas d'étude sur le réfrigérateur a permis de définir un modèle de l'utilisation pour un produit à reconcevoir. La création de ce modèle a été facilitée par le fait que le réfrigérateur fait partie intégrante des foyers depuis plus de 60 ans, les habitudes d'utilisation ont eu le temps de se figer et son utilisation est intuitive. On peut donc facilement projeter son utilisation à partir des données disponibles aujourd'hui.

Pour les produits innovants, c'est-à-dire pour lesquels il n'y a pas de version précédente de produit, il faudra définir les modèles par analogie. Cette activité peut s'avérer difficile surtout si les analogies ramènent à l'utilisation de produits avec des profils variés. Les résultats de ces analogies peuvent donner des résultats contradictoires quant aux habitudes d'utilisation que le produit devra supporter.

Ces difficultés ne sont pas limitées à l'éco-conception mais dans ce cas précis, on doit pouvoir projeter le début de l'utilisation du produit, installation, apprentissage mais aussi ce qu'il se passera une fois que la nouveauté sera intégrée dans les pratiques quotidiennes des utilisateurs jusqu'à ce qu'ils décident de s'en débarrasser. Les décisions de conception, prises sur un modèle de l'impact environnemental de l'utilisation trop éloigné de la réalité, peuvent avoir une influence contre-productive sur l'éco-conception du produit à long terme.

Pour ce genre de produit, une conception avec des moments d'amélioration fréquents peut permettre de remettre à jour le modèle de contexte et de modifier le produit à partir des nouveaux modèles au cours de l'utilisation.

5.4.2 Application à des produits à très longue durée de vie

Une autre difficulté pour l'éco-conception est liée aux produits à très longue durée de vie. Dans ce cas plusieurs modifications du contexte d'utilisation peuvent avoir des conséquences sur l'éco-conception du produit.

En effet, il y a plus de chance d'avoir un produit avec des utilisateurs successifs différents qui pourront avoir des contextes d'utilisation distincts. Le fait qu'un utilisateur ait acquis son produit

d'occasion ou neuf modifie déjà le modèle de l'utilisation. Pour ces produits à longue durée de vie, une conception modulaire permet de modifier les paramètres produits au cours de l'utilisation si le contexte d'utilisation du produit est grandement modifié. Une autre solution est de se baser sur le partage du produit entre différents utilisateurs, avec un approche de type système-produit-service. A chaque changement de contexte d'utilisation par le changement d'utilisateur, un changement de produit est proposé. L'utilisation du produit se fera consécutivement avec différents utilisateurs représentés par le même modèle de contexte.
Puis, avec une longue durée de vie, la probabilité de modification des infrastructures supportant le fonctionnement du produit est plus grande. Le changement du modèle de production d'électricité peut modifier l'impact environnemental du produit et rendre caduque les solutions d'éco-conception. Dans le développement du modèle de contexte pour ce type de produit, les études prospectives concernant les infrastructures sont une source d'information très importante. Ces modifications à long terme doivent être prises en compte dans l'évaluation environnementale des scénarios d'utilisation.

5.4.3 Application à des produits avec peu d'impact en phase d'utilisation

Cette méthode est destinée en priorité aux produits ayant un impact significatif en utilisation. Cependant son application à tous les types de produit est possible. Le point de vue de l'utilisateur a un intérêt pour tous les processus de conception puisque c'est lui qui prendra, à minima, la décision d'acquisition du produit et donc la décision qui permettra de réaliser l'unité fonctionnelle.
Cependant une attention trop importante à l'utilisation peut conduire à prendre des décisions générant des transferts d'impacts majeurs sur les autres phases du cycle de vie. Comme explicité dans le cas d'étude, cette méthode ne se substitue pas à une démarche d'éco-conception sur le cycle. Une évaluation globale sur leurs cycles de vie des fonctions ajoutées pour l'éco-conception de l'utilisation doit être faite. De même, les conséquences de ces modifications sur les autres contraintes de conception (coût, délai, robustesse, recyclabilité…) doivent être évaluées par les experts qui intègrent ces paramètres dans le développement produit.
Cette méthode n'est pas la plus performante pour piloter une démarche d'éco-conception pour des produits à faible impact en phase d'utilisation. Cependant, elle pourrait donner des informations intéressantes sur l'utilisation de ces derniers qui peuvent aider aux développements de solutions d'éco-conception, notamment via le modèle de contexte.

5.5 Perspectives

5.5.1 Interface avec les phases amont et aval à l'utilisation

Cette méthode se concentre sur la phase d'utilisation du produit. Comme beaucoup de propositions visant à améliorer une partie de la vie du produit, l'interface avec les autres phases est souvent négligée. Les relations entre les gestes de tri (en fin d'utilisation) et le recyclage des déchets triés ou bien entre le recyclage des matériaux et leur réemploi en produit sont souvent négligées.
Une perspective de recherche intéressante est de regrouper toutes les méthodes centrées sur une phase de cycle de vie et de les connecter avec les phases amont et aval.
Dans notre cas, en reliant le moment de mise au rebut à la collecte des déchets, des actions spécifiques pour améliorer les gestes de tri ou pour adapter la collecte aux actions de mise au rebut pourraient améliorer l'impact environnemental du produit au global.
En ce qui concerne les phases en amont, en liant les connaissances sur l'amélioration de l'impact environnemental de la distribution, sur les achats verts et le modèle de l'utilisation de cette thèse, de nouvelles possibilités d'amélioration pourraient être identifiées. L'élargissement du champ de l'étude aux achats permettrait de lier les propositions de l'éco-conception aux actions de soutien à une consommation soutenable.

5.5.2 Contribution à la création de comportements soutenables

Avec la promotion d'un changement vers une consommation soutenable, de plus en plus d'initiatives visent à la promotion de comportements soutenables. Elles sont souvent promues par des structures publiques qui visent à améliorer l'impact des activités humaines dans la société. Ces mécanismes incitatifs sont souvent des stratégies informationnelles ou financières, en faveur des comportements moins impactant pour l'environnement. Le développement de compteurs informatifs pour aider les consommateurs à diminuer leur consommation d'énergie fait partie de ces incitations aux comportements soutenables.

Une perspective de développement de notre méthode est de pouvoir utiliser comme point de départ un comportement soutenable à atteindre et définir le ou les produits à concevoir pour modifier le contexte initial (modèle de contexte). En modifiant l'ambition de la méthode d'éco-conception de proposer un produit avec un plus faible impact environnemental à fonction constante, nous pourrions changer l'objectif de notre proposition en visant à atteindre un comportement soutenable spécifique par le développement, la re-conception ou la recombinaison de produits.

5.5.3 La responsabilité élargie du producteur à l'utilisation : les systèmes produit-services.

Nous avons vu en introduction que la responsabilité du producteur est engagée sur les phases de production et de fin de vie. Cependant, la transaction économique qu'est l'achat transfère la responsabilité de l'impact environnemental du produit vers l'utilisateur. On sait que ce dernier n'est pas en capacité de la maîtriser totalement puisque les décisions de conception ont une influence majeure sur les performances environnementales possibles de la phase d'utilisation.

Pour la fin de vie, les autorités ont responsabilisé les producteurs en leur imposant de prendre à leur charge leur produit en sortie d'utilisation. L'élargissement de ce concept à la phase d'utilisation permettrait de responsabiliser les concepteurs de produits aux enjeux de la pollution environnementale générée en utilisation.

Si l'on suit le modèle économique proposé par la fin de vie, il faut que la propriété du produit reste sous la responsabilité du producteur. On retrouve ce schéma dans les systèmes produit-services. L'utilisateur ne paye pas pour qu'on lui transfère la propriété du produit mais pour que la fonction qu'il souhaite réaliser soit exécutée. Ce type de système permet déjà de proposer à l'utilisateur un produit plus adapté à ses pratiques actuelles. En généralisant ce système, on peut envisager que l'impact environnemental de l'utilisation soit mieux intégré en conception puisque la responsabilité du concepteur y sera directement engagée par le contrat de service avec l'utilisateur.

Bibliographie

- Aegis Media Solution, et Ethicity. 2010. « Comment révéler et stimuler le pouvoir d'action de chacun? » Résultats d'études de marché pour l'ADEME.
- AFNOR, Agence Française de Normalisation, Centre Technique des Industries Mécanique CETIM, et Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers ENSAM. 2009. XP E 01-005: Produits mécaniques Méthodologie d'éco-conception.
- Ajzen, Icek. 1991. « The theory of planned behavior ». Organizational Behavior and Human Decision Processes 50 (2) (décembre): 179‑211. doi:10.1016/0749-5978(91)90020-T.
- Akrich, Madeleine. 1993. « Les objets techniques et leurs utilisateurs, de la conception à l'action ». Les objets dans l'action, 4:35‑57.
- Amaya, Jorge, Alan Lelah, et Peggy Zwolinski. 2013. « Environmental Benefits of PSS Strategies: A Bicycle Sharing System Case Study ». The Philosopher's Stone for Sustainability, édité par Yoshiki Shimomura et Koji Kimita, 339‑344. Springer Berlin Heidelberg.
- Arikoglu, Emine Serap. 2011. « The impact of scenarios and personas on requirement elicitation : an experimental study ». Thèse de doctorat, Université de Grenoble.

- Beloin-Saint-Pierre, Didier, et Isabelle Blanc. 2011. « New spatiotemporally resolved LCI applied to photovoltaic electricity ». Proceedings of the Life Cycle Management Conference, 12 pages. Berlin, Allemagne.
- Berliner, Callie, et James A. Brimson, 1988. « Cost management for today's advanced manufacturing: the CAM-I conceptual design», Harvard Business School Press.
- Blessing, Lucienne, et Amaresh Chakrabarti. 2009. DRM, a Design Research Methodology. Springer.
- Blomquist, Åsa, et Mattias Arvola. 2002. « Personas in action: ethnography in an interaction design team ». 197‑200. Aarhus, Denmark: ACM. doi:10.1145/572020.572044.
- Boks, Casper, et Ab Stevels. 2001. « Ranking ecodesign priorities from quantitative uncertainty assessment for end-of-life scenarios ». Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2001, 76‑81. doi:10.1109/ISEE.2001.924505.
- Bonvoisin, Jérémy, Fabrice Mathieux, Lucie Domingo, et Daniel Brissaud. 2010. « Design for energy efficiency: proposition of a guidelines-based tool ». Dubrovnik - Croatia, May 17 - 20, 2010.
- Boothroyd, Geoffrey, et Leo Alting. 1992. « Design for Assembly and Disassembly ». CIRP Annals - Manufacturing Technology 41 (2): 625‑636. doi:10.1016/S0007-8506(07)63249-1.
- Boucher, Amélie. 2004. « Recette de test utilisateur ». http://www.ergolab.net/articles/test-utilisateur-ergonomie-1.php.
- Bourg, Dominique, et Nicolas Buclet. 2005. « L'économie de fonctionnalité. Changer la consommation dans le sens du développement durable ». Futuribles, (313), 27‑38.
- Boztepe, Suzan. 2007. « Toward a framework of product development for global markets: a user-value-based approach ». Design Studies 28 (5) (septembre): 513‑533. doi:10.1016/j.destud.2007.02.010.
- Brezet, Han. 1998. Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption, United Nations Environmental Program.
- Brissaud, Daniel, et Serge Tichkiewitch. 2001. « Product Models for Life-Cycle ». CIRP Annals - Manufacturing Technology 50 (1): 105‑108. doi:10.1016/S0007-8506(07)62082-4.
- Brundtland, Gro Harlem. 1987. Our Common Future. Oxford University Press, USA.
- Burgess, Jacquelin, et Michael Nye. 2010. Understanding how householders interact with feedback from smart energy monitors –Opening the black box of the household.

- Burgess, Jacquelin, et Michael Nye. 2008. « Re-materialising energy use through transparent monitoring systems ». Energy Policy 36 (12) (décembre): 4454‑4459. doi:10.1016/j.enpol.2008.09.039.
- Burgess, Jacquelin, et Tom Hargreaves. 2010. « Understanding how householders interact with feedback from smart energy monitors –Opening the black box of the household ». ESRC Seminar Series on Geographies of Energy Transition Seminar 3: Cultural Economies of Energy Consumption octobre 15, Manchester.
- Button, Graham. 2000. « The ethnographic tradition and design ». Design Studies 21 (4) (juillet): 319‑332. doi:10.1016/S0142-694X(00)00005-3.

- Carrus, Giuseppe, Paola Passafaro, et Mirilia Bonnes. 2008. « Emotions, habits and rational choices in ecological behaviours: The case of recycling and use of public transportation ». Journal of Environmental Psychology 28 (1) (mars): 51‑62. doi:10.1016/j.jenvp.2007.09.003.
- Caulton, David. 2001. « Relaxing the homogeneity assumption in usability testing ». Behaviour & Information Technology 20 (1): 1‑7. doi:10.1080/01449290010020648.
- Civit, Bárbara, Alejandro Pablo Arena, et David Allende. 2012. « Determination of Regional Acidification Factors for Argentina ». The International Journal of Life Cycle Assessment (avril): 1‑11. doi:10.1007/s11367-012-0427-6.
- Colle, Etienne, Sébastien Delarue, et Philippe Hoppenot. 2007. « Conception d'une aide technique complexe et innovante ;application au projet ARPH ». Sciences et Technologies pour le Handicap (1). Lavoisier: 71‑93.
- Cooper, Alan. 2004. The Inmates Are Running the Asylum: Why High Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity. 1re éd. Sams - Pearson Education.
- Cooper, Joyce Smith. 2003. « Specifying functional units and reference flows for comparable alternatives ». The International Journal of Life Cycle Assessment 8 (6) (novembre): 337‑349. doi:10.1007/BF02978507.
- Couet, Christine. 2006. « L'échantillon démographique permanent de l'Insee ». Courrier des statistiques.
- CREDOC. 2012. Comportements et consommations alimentaires en France, Paris: Éd. Tec & doc.
- Curran, Michael, Laura de Baan, An M. De Schryver, Rosalie van Zelm, Stefanie Hellweg, Thomas Koellner, Guido Sonnemann, et Mark A. J. Huijbregts. 2011 « Toward Meaningful End Points of Biodiversity in Life Cycle Assessment† ». Environmental Science & Technology 45, n° 1 (1 janvier 2011): 70‑79. doi:10.1021/es101444k.

- De Souza, Marilia. 2001. « Culture et design : application de l'interculturalité à l'évaluation et à la conception de produits dans un environnement globalisé ». Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne.
- DEFRA, 2008. A framework for pro-environmental behaviours, United Kingdom: Departement for Environment Food and Rural Affairs.
- Dirken, Hans. 1999. Productergonomie Ontwerpen voor gebruikers.
- Domingo, Lucie, Damien Evrard, Fabrice Mathieux, et Guillaume Moenne-Loccoz. 2011. « Synergico: a new "Design for Energy Efficiency" Method enhancing the Design of more environmentally friendly Electr(on)ic Equipments ». Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing, édité par Jürgen Hesselbach et Christoph Herrmann, 148‑153. Springer Berlin Heidelberg, 2011. doi: 10.1007/978-3-642-19692-8_26
- Domingo, Lucie, Fabrice Mathieux, et Daniel Brissaud. 2011. « A new "in-use energy consumption" indicator for the design of energy efficient electr(on)ics ». Journal of Engineering Design (mai 31).
- Douglas, Mary. 1999. « Four cultures: the evolution of a parsimonious model ». GeoJournal 47 (3) (mars 1): 411‑415.

- Dreyer, Louise, Anne Niemann, et Michael Hauschild. 2003. « Comparison of Three Different LCIA Methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99 ». The International Journal of Life Cycle Assessment 8 (4) (juillet 1): 191‑200. doi:10.1007/BF02978471.
- Dunlap, Riley E., et Richard York. 2008. « The globalization of envrionemental concern and the limits of the postmaterialist values explanation: Evidence from Four Multinational Surveys ». Sociological Quarterly 49, n° 3 (2008): 529‑563.

- Elias, Edward, Elies Dekoninck, et Stephen Culley. 2008. « Prioritisation methodology for user centred design of energy using domestic product ». Dubrovnik - Croatia..
- Ellen, Roy. 2001. « Environment and Anthropology ». International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, 4556‑4560. Oxford: Pergamon.
- EPD. 2013. « General programme instructions for the international EPD system 2.0 ». Environdec.
- Eppinger, Steven D., Daniel E. Whitney, Robert P. Smith, et David A. Gebala. 1994. « A model-based method for organizing tasks in product development ». Research in Engineering Design 6 (1) (mars 1): 1‑13. doi:10.1007/BF01588087.
- Ester, Vinken, Simoes, et Aoyagi-Usui. 2003. Culture and sustainability: A cross-national study of culture diversity and environmental priorities among mass public and decisions makers. The Netherlands: Dutch University Press.
- Ethicity. 2011. « Typologie des consommateurs ». Résultats d'études de marché pour l'ADEME.
- Ettlie, John E. 1997. « Integrated design and new product success ». Journal of Operations Management 15 (1) (février): 33‑55. doi:10.1016/S0272-6963(96)00095-2.
- European Commission. 1970. DIRECTIVE 70/156/CEE concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives à la réception des véhicules à moteur et de leurs remorques
- European Commission. 1975. DIRECTIVE 75/442/CE: relative aux déchets
- European Commission. 1996. DIRECTIVE 96/82/CE concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses
- European Commission. 2003. DIRECTIVE 2002/96/EC: Waste electrical and electronic equipment (WEEE)
- European Commission. 2005. DIRECTIVE 2006/21/CE concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive et modifiant la directive 2004/35/CE
- European Commission. 2009. DIRECTIVE 2009/125/EC: establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. L 285/10.
- European Commission. 2010. Voluntary agreements under the Ecodesign Directive 2009/125/EC for Imaging Equipment.
- Eurostat, 2009. The environmental goods and services sector, Europe: European Commission.
- Evrard, Damien, Fabrice Mathieux, et Lucie Domingo. 2010. « Rapport final des activités scientifiques et techniques de Synergico». ADEME.

- Faberi, Stefano. 2007. Preparatory studies for eco-design requirement fo EuPs - Lot 14– Domestic Washing Machine and Dishwashers – Final report.
- Finnveden, Göran. 1997. « Valuation methods within LCA - Where are the values? » The International Journal of Life Cycle Assessment 2 (3) (septembre): 163‑169. doi:10.1007/BF02978812.
- Frischknecht, Rolf. 1997. « LCANET Theme Report: Goal and Scope Definition and Inventory Analysis ». http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lcanet/ftheme2.htm.
- Fulton Suri, Jane, et Matthew Marsh. 2000. « Scenario building as an ergonomics method in consumer product design ». Applied Ergonomics 31 (2) (avril 3): 151‑157. doi:10.1016/S0003-6870(99)00035-6.

- Goedkoop, Mark, et Renilde Spriensma. 2001. « The Eco-indicator 99: A damage Oriented method for Life cycle Impact Assessment ». Amersfoort, The Netherlands: PRé COnsultants b.v.
- González-García, Sara, Érica G. Castanheira, Ana Cláudia Dias, et Luis Arroja. 2013. « Environmental Life Cycle Assessment of a Dairy Product: The Yoghurt ». The International Journal of Life Cycle Assessment 18 (4) (mai 1): 796‑811. doi:10.1007/s11367-012-0522-8.
- Goodman-Deane, Joy, Patrick Langdon, et John Clarkson. 2008. « User Involvement and User Data: A Framework to Help Designers to Select Appropriate Methods ». Designing Inclusive Futures, édité par Patrick Langdon, John Clarkson, et Peter Robinson, 23‑34. Springer London.
- Gouhier, Jean. 2013. « DÉCHETS ». Encyclopædia Universalis. Disponible à: http://www.universalis.fr/encyclopedie/dechets/ [Consulté le février 27, 2013].

- Hall, Stuart, et Paul Du Gay. 1996. Questions of cultural identity. SAGE.
- Höjer, Mattias, Sofia Ahlroth, Karl-Henrik Dreborg, Tomas Ekvall, Göran Finnveden, Olof Hjelm, Elisabeth Hochschorner, Måns Nilsson, et Viveka Palm. 2008. « Scenarios in selected tools for environmental systems analysis ». Journal of Cleaner Production 16 (18) (décembre): 1958‑1970. doi:10.1016/j.jclepro.2008.01.008.
- Holt, Raymond, et Catherine Barnes. 2010. « Towards an integrated approach to “Design for X”: an agenda for decision-based DFX research ». Research in Engineering Design 21 (2): 123‑136.
- Hosftede, Geert. 2001. Cultures consequences: Comparing Values, Behaviours, Institutions and Organization across nations. Sage Publications. Second Edition. California, USA: Sage.

- IBGE. 2009. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio 2001-2009.
- IFOP. 2011. Les Français et les courses alimentaires,
- Inglehart, Ronald. 1990. Culture Shift in Advanced Industrial Society. Princeton University Press.
- INSEE. 2009. Panorama de l’industrie française par secteurs d’activité - édition 2009 - C44 Appareils domestiques
- ISO. 2003. XP ISO/TR 14062: Environmental management -- Integrating environmental aspects into product design and development,
- ISO. 2006. NF EN ISO 14040: Life cycle assessment, principle and framework
- ISO 2011. ISO 9241-210:2010 - Ergonomie de l’interaction homme-système -- Partie 210: Conception centrée sur l’opérateur humain pour les systèmes interactifs. Norme internationale.

- Jackson, Tim. 2005. « Motivating Sustainable Consumption: A review of evidence on consumer behaviour and behavioural change ». University of Surrey, United Kingdom: Sustainable Development Research Network.
- Jeswiet, Jack, et Micheal Hauschild. 2005. « EcoDesign and future environmental impacts ». Materials & Design 26 (7): 629‑634. doi:10.1016/j.matdes.2004.08.016.
- JRC-IES. 2010. « ILCD Handbook-Framework and requirements for Life Cycle Impact Assessment (LCIA) models and indicators ». EUR 24586 EN 2010.

- Kiatkittipong, Worapon, Porntip Wongsuchoto, Khanidtha Meevasana, et Prasert Pavasant. 2008. « When to buy new electrical/electronic products? » Journal of Cleaner Production 16 (13) (septembre): 1339‑1345. doi:10.1016/j.jclepro.2007.06.019.
- Klöckner, Christian A., et Anke Blöbaum. 2010. « A comprehensive action determination model: Toward a broader understanding of ecological behaviour using the example of travel

mode choice ». Journal of Environmental Psychology 30 (4) (décembre): 574‑586. doi:16/j.jenvp.2010.03.001.

- Lebel, Louis, et Sylvia Lorek. 2008. « Enabling Sustainable Production-Consumption Systems ». Annual Review of Environment and Resources 33 (1) (novembre): 241‑275. doi:10.1146/annurev.environ.33.022007.145734.
- Lee, Inseong, Gi Woong Choi, Jinwoo Kim, Solyung Kim, Kiho Lee, Daniel Kim, Myunghee Han, Seung Yong Park, et Yongil An. 2008. « Cultural dimensions for user experience: cross-country and cross-product analysis of users' cultural characteristics ». Proceedings of the 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Culture, Creativity, Interaction - Volume 1, 3‑12. Liverpool, United Kingdom: British Computer Society.
- Li, Hua, Hong-chao Zhang, John Carrell, et Derrick Tate. 2007. « Integrating Energy-saving Concept into General Product Design ». 32nd International Electronic Manufacturing Technology Symposium, 335‑338. San Jose, CA, USA. doi:10.1109/IEMT.2007.4417085.
- Lilley, Debra, Tracy Bhamra, et Vicky Lofthouse. 2006. « Towards sustainable use: An exploration of designing for behavioural change ». DeSForM 2006 Eindhoven, The Netherlands: Koninklijke Philips Electronics N.V.
- Lilley, Debra. 2009. « Design for sustainable behaviour: strategies and perceptions ». Design Studies 30 (6) (novembre): 704‑720. doi:10.1016/j.destud.2009.05.001.
- Lim, Y.-K., et Keiichi Sato. 2006. « Describing multiple aspects of use situation: applications of Design Information Framework (DIF) to scenario development ». Design Studies 27 (1) (janvier): 57‑76. doi:16/j.destud.2005.04.004.
- Lindahl, Mattias. 2006. « Engineering designers' experience of design for environment methods and tools - Requirement definitions from an interview study ». Journal of Cleaner Production 14 (5): 487‑496. doi:10.1016/j.jclepro.2005.02.003.
- Lockton, Dan, David Harrison, et Neville A. Stanton. 2009. « The Design with Intent Method: A design tool for influencing user behaviour ». Applied Ergonomics In Press, Corrected Proof (septembre 3). doi:10.1016/j.apergo.2009.09.001.
- Lofthouse, Vicky. 2004. « Investigation into the role of core industrial designers in ecodesign projects ». Design Studies 25 (2) (mars): 215‑227. doi:10.1016/j.destud.2003.10.007.
- Lofthouse, Vicky 2006. « Ecodesign tools for designers: defining the requirements ». Journal of Cleaner Production 14 (15-16): 1386‑1395. doi:10.1016/j.jclepro.2005.11.013.
- Luttropp, Conrad, et Jessica Lagerstedt. 2006. « EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development ». Journal of Cleaner Production 14 (15-16): 1396‑1408. doi:10.1016/j.jclepro.2005.11.022.

- Mac Donald, Erin, et Jinjuan She. 2013. « Seven Cognitive Concepts for Successful Sustainable Design ». ASME 2012. Chicago, IL, USA..
- Maguire, Martin. 2001a. « Methods to support human-centred design ». International Journal of Human-Computer Studies 55: 587‑634.
- Maguire, Martin 2001b. « Context of Use within usability activities ». International Journal of Human-Computer Studies 55 (4) (octobre): 453‑483. doi:10.1006/ijhc.2001.0486.
- Manzini, Ezio, et Carlos Vezzoli. 2003. « A strategic design approach to develop sustainable product service systems: examples taken from the 'environmentally friendly innovation' Italian prize ». Journal of Cleaner Production 11 (8) (décembre): 851‑857. doi:10.1016/S0959-6526(02)00153-1.
- Mathieux, Fabrice. 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, Arts et Métiers ParisTech.

- Meadows, Donella H., Dennis Meadows, et Jorgen Randers. 1972. Limits to Growth. Chelsea Green Publishing Company.
- Meier, Alan. 1995. « Refrigerator energy use in the laboratory and in the field ». Energy and Buildings 22 (3) (août): 233‑243. doi:10.1016/0378-7788(95)00925-N
- Millet, Dominique, Luigi Bistagnino, Carla Lanzavecchia, Roger Camous, et Tiiu Poldma. 2007. « Does the potential of the use of LCA match the design team needs? » Journal of Cleaner Production 15 (4): 335‑346. doi:10.1016/j.jclepro.2005.07.016..
- Muis, Henk. 2006. « Eternally yours ». User Behavior and Technology Development, édité par Peter-Paul Verbeek et Adriaan Slob, 277‑293. 20. Springer Netherlands.
- Mutel, Christopher L., et Stefanie Hellweg. 2009. « Regionalized Life Cycle Assessment: Computational Methodology and Application to Inventory Databases ». Environmental Science & Technology 43 (15) (août 1): 5797‑5803. doi:10.1021/es803002j.

- Navarro, Oscar, Fabrice Forest, Olivier Lavoisy, et Valérie Chanal. 2009. « L'utilisation de scénario dans le processus d'innovation. Une lecture pluridisciplinaire ». Rapport final de recherche. Rapport de recherche Umanlab. Grenoble, France: Umanlab.
- Nissinen, Ari, Juha Grönroos, Eva Heiskanen, Asmo Honkanen, Juha-Matti Katajajuuri, Sirpa Kurppa, Timo Mäkinen, et al. 2007. « Developing benchmarks for consumer-oriented life cycle assessment-based environmental information on products, services and consumption patterns ». Journal of Cleaner Production 15 (6): 538‑549. doi:10.1016/j.jclepro.2006.05.016.
- Nye, Michael, et Tom Hargreaves. 2010. « Exploring the Social Dynamics of Proenvironmental Behavior Change ». Journal of Industrial Ecology 14 (1): 137‑149.

- Olsthoorn, Xander, Daniel Tyteca, Walter Wehrmeyer, et Marcus Wagner. 2001. « Environmental indicators for business: a review of the literature and standardisation methods ». Journal of Cleaner Production 9 (5) (octobre): 453‑463. doi:10.1016/S0959-6526(01)00005-1.

- Pahl, Gerhard, Wolfang Beitz, Ken Wallace, Jörg Feldhusen, et Luciënne Blessing. 2007. Engineering design. Springer.
- Peattie, Ken. 2010. « Green Consumption: Behavior and Norms ». Annual Review of Environment and Resources 35 (octobre 22): 195‑228. doi:10.1146/annurev-environ-032609-094328.
- PEC & IDP. 2009. L'écoconception: quels retours économiques pour les entreprises?, Pôle d'écoconception et management de cycle de vie- Chambre de commerce – industrie et services de Saint-Étienne/Montbrisson et l'Institut du développement produit.
- Pettersen, Ida Nilstad, et Casper Boks. 2008. « Chapter 6: User-centred Design Strategies for Sustainable Patterns of Consumption ». 2nd Conference of the Sustainable Consumption Research Exchange, 115‑135. Brussels, Belgium: Flemish Institute for Technological Research.
- Plouffe, Sylvain, Paul Lanoie, Corinne Berneman, et Marie-France Vernier. 2011. « Economic benefits tied to ecodesign ». Journal of Cleaner Production 19 (6–7) (avril): 573‑579. doi:10.1016/j.jclepro.2010.12.003..
- Portilho, Fatima. 2004. « Consumo verde, consumo sustentavel e a ambientalizaçao dos consumidores ». Encontro da ANPPAS. Brazil, SP, Indaiatuba.
- Pruitt, John, et Tamara Adlin. 2006. The Persona Lifecycle: Keeping People in Mind Throughout Product Design. 1re éd. Morgan Kaufmann.

- Ramade, François. 2013. Pollution. Encyclopædia Universalis. Disponible à: http://www.universalis.fr/encyclopedie/pollution/ [Consulté le février 25, 2013].

- Ramirez, Mariano Jr. 2010. « Traces of culture in students' concepts for sustainable product service systems: experiences from three continents ». Sustainability in Design Now! Challenges and opportunities for design research, education and practice in the XXI century: international conference of the Learning Network on Sustainability (LeNS).
- Ravandi, Mehdi, Jon Mok, et Mark Chignell. 2009. « Development of an Emotional Interface for Sustainable Water Consumption in the Home ». Human-Computer Interaction. Ambient, Ubiquitous and Intelligent Interaction, 5612:660‑669. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin / Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-02580-8_72.
- Redström, Johan. 2006. « Towards user design? On the shift from object to user as the subject of design ». Design Studies 27 (2) (mars): 123‑139. doi:10.1016/j.destud.2005.06.001.
- Rex, Emma, et Henrikke Baumann. 2007. « Beyond ecolabels: what green marketing can learn from conventional marketing ». Journal of Cleaner Production 15 (6): 567‑576. doi: 10.1016/j.jclepro.2006.05.013.
- Rio, Maud. 2012. « A l'interface de l'ingénierie et de l'analyse environnementale, fédération pour une éco-conception proactive ». Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes.
- Robert, Paul, Jostte Rey-Debove, et Alain Rey. 2013. Le petit Robert 2013. Dictionnaires Le Robert.
- Rosson, Mary-Beth, et John M. Carroll. 2009. « Chap 53: Scenario-Based Design ». Human-Computer Interaction: Development Process, 1032‑1050. CRC Press.
- Ruhland, Alexander, Gabriel Striegel, et Günter Kreisel. 2000. « Functional Equivalence of Industrial Metal Cleaning Processes Comparison of Metal Cleaning Processes Within LCA ». The International Journal of Life Cycle Assessment 5 (3) (mai 1): 127‑133. doi:10.1007/BF02978607.

- Sauer, Junger, Betina S. Wiese, et Bruno Ruttinger. 2002. « The utilisation phase as a critical element in ecological design ». Mechanical life cycle handbook: good environmental design and manufacturing. M S Hundal.
- Schmalz, Johannes, et Casper Boks. 2010. « Sustainable, user behaviour centered design applying linked benefit strategies - The Logi Desk Lamp ». ERSCP-EMSU conference. Delft, The Netherland.
- Schuler, Douglas, et Aki Namioka. 1993. Participatory Design: Principles and Practices. Routledge.
- Schwartz, Shalom H., et Wolfgang Bilsky. 1990. « Toward a Theory of the Universal Content and Structure of Values: Extensions and Cross-Cultural Replications ». Journal of Personality and Social Psychology 58 (5) (mai): 878‑891.
- Shove, Elizabeth. 2003. « Converging Conventions of Comfort, Cleanliness and Convenience ». Journal of Consumer Policy 26: 395‑418.
- Sierhuis, Maarten, William J Clancey, et Ron J. J Hoof. 2009. « Brahms An Agent-Oriented Language for Work Practice Simulation and Multi-Agent Systems Development ». Multi-Agent Programming:, édité par Amal El Fallah Seghrouchni, Jürgen Dix, Mehdi Dastani, et Rafael H Bordini, 73‑117. Springer US. doi: 10.1007/978-0-387-89299-3_3.
- Simoes, Solange. 2001. « How Green Are the Brazilians? Environmental Values, Attitudes and Behaviours in Brazil. » présenté à Open Meeting of the global challenge environmental change research community, octobre 6, Rio de Janeiro.
- Simon, Nathalie, Jean François Bassereau, Stéphanie Minel, Thomas Valette, et Christophe Rebours. 2003. « Rechercher l'adoptabilité du produit à concevoir ou comment utiliser les savoirs et savoir-faire des Sciences de l'Homme en conception de produit ». Séminaire CONFERE, pp215‑229. Belfort, France.

- Tähkämö, Leena, Manuel Bazzana, Pierre Ravel, Francis Grannec, Christophe Martinsons, et Georges Zissis. 2013. « Life Cycle Assessment of Light-emitting Diode Downlight Luminaire—a Case Study ». The International Journal of Life Cycle Assessment: 1‑10. doi:10.1007/s11367-012-0542-4.
- Tang, T., et A. Bhamra. 2008. « Changing energy consumption behavior through sustainble product design ». International design conference - DESIGN 2008 Dubrovnik. Croatia, May 19 - 22, 2008.
- Tang, Tang, et Tracy Bhamra. 2012. « Putting consumers first in design for sustainable behaviour: a case study of reducing environmental impacts of cold appliance use ». International Journal of Sustainable Engineering: 1‑16. doi:10.1080/19397038.2012.685900.
- Teisl, Mario F., Jonathan Rubin, et Caroline L. Noblet. 2008. « Non-dirty dancing? Interactions between eco-labels and consumers ». Journal of Economic Psychology 29 (2) (avril): 140‑159. doi:10.1016/j.joep.2007.04.002.
- Telenko, Cassandra, Carolyn Seepersad, et Michael Webber. 2008. « A compilation of design for environment principles and guidelines ». International design Engineering Technical conferences and Computers and Information Engineering Conference. New York, USA.
- Tolman, Edward Chace, Talcott Parsons, et Edward Albert Shils. 1952. Toward a general theory of action. Cambridge Mass: Harvard University Press.
- Triandis, Harry C. 1979. « Values, Attitudes, and Interpersonal Behavior ». Nebraska Symposium on Motivation, 27:195‑259.
- Trompenaars, Alfons, et Charles Hampden-Turner. 1998. Riding the waves of culture: Understanding cultural diversity in global business. McGraw Hill (New York). New York, NY, USA.

- Ulrich, Karl T., et Steven D. Eppinger. 2004. Product Design and Development. McGraw-Hill/Irwin.
- UN DESA. 1992. Agenda 21 : The United Nations program of actions from Rio, Brazil, Rio de Janeiro: United Nation of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable development.
- Usunier, Jean-Claude. 1992. Commerce entre cultures. Presses Universitaires de France (PUF).

- Vallet, Flore, Benoît Eynard, Dominique Millet, Stéphanie Glatard Mahut, Benjamin Tyl, et Gwenola Bertoluci. 2013. « Using eco-design tools: An overview of experts' practices ». Design Studies 34 (3) (mai): 345‑377. doi:10.1016/j.destud.2012.10.001.
- Veryzer, Robert W. 1998. « Discontinuous Innovation and the New Product Development Process ». Journal of Product Innovation Management 15 (4): 304–321. doi:10.1111/1540-5885.1540304.
- Veryzer, Robert W., et Brigitte Borja de Mozota. 2005. « The Impact of User-Oriented Design on New Product Development: An Examination of Fundamental Relationships ». Journal of Product Innovation Management 22 (2): 128–143. doi:10.1111/j.0737-6782.2005.00110.x.
- Virzi, Robert A. 1992. « Refining the Test Phase of Usability Evaluation: How Many Subjects Is Enough? » Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society 34 (4) (janvier 8): 457‑468. doi:10.1177/001872089203400407.

- Weger, Olaf, Christof Oberender, Herbert Birkhofer, et Jürgen Sauer. 2001. « Designing for ecological consumer use: A case study of a interdisciplinary approach to eco-effective product design ».ICED : international conference on engineering design, 28:701‑708. Glasgow, UK: Mechanical Engineering Publications, London.
- Wenzel, Henrik, Michael Z. Hauschild, et Leo Alting. 2000. Environmental Assessment of Products: Volume 1: Methodology, Tools and Case Studies in Product Development. Springer.

- Wever, Renee, Jasper van Kuijk, et Casper Boks. 2008. « User-centred design for sustainable behaviour ». International Journal of Sustainable Engineering 1 (1): 9. doi:10.1080/19397030802166205.
- Wolters, G., et L. Steenbekkers. 2006. « The scenario method to gain insight into user actions ». User Behavior and Technology Development, 233‑240. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-1-4020-5196-8_23.

Annexes

A.1 Manuel d'utilisation : Entretiens semi-directifs

Relation with users using semi-directive interviews

1) Construction of the interview to iterate context and scenario models for environmental analysis

The semi-directive interview is a tool widely used in social sciences, in order to have in-depth information from the interviewees. It is often used previously to construct a survey with closed questions that will give information on a larger sample of users.
In the toolbox for instancing models, it has high grades for completion of the context model and of the scenario model based on existing product used by the interviewees.
Here after, we provide information to construct the interview grid in order to fulfill all the parts of the context and the scenario models.
The grid is based on the decomposition made on the use phase model moments, so this model should be already iterated in order to start constructing the grid.
The following paragraphs describe the section that should be used for the interview. The first will be oriented toward acquisition of general data on user. The second one will related to the moments we want to inform in the use phase model. The third one will give information on the knowledge and skills of the user to complete the context model. The fourth one will only be used if the project decided to segment the market up to the individual environmental sensitivity.

1.1) General data

The general data structure can be separated in two parts: collecting the basic data on user and collecting the basic data on internal and external infrastructure.
Data on user is restricted to user age, gender, civil situation, level of education, level of income and type of job.
Data on context of use is enlarged to information on the family, home type, owned equipments, infrastructure for electricity, water supplies and waste collection and treatment.

1.2) Product Use moments

On the general part of product use, the people involved in product use, the type of owned product owned, and the way user acquire the product are collected.
The questions are grouped in moments, according to the use phase model, in order to identify the associated product parameters allowing the construction of the scenario model. It is advised that the order of the moments should be the same as the one in real life, i.e. starts with installation, usage tasks and finishes with decommissioning.
The objective is to get the most detailed information on product use to be able to find which of moments and actions of the moment are impacting the most the environment, which one can be modified and the implication of the product in a wider structure of use. To reach the objective, additional advises on driving the interview will be given in part 3.
This part is mainly composed of open questions that will let the user tell what he has been doing, for the different moments, with the product he owns
The next seven sections will be a specification of the question content depending on the moment considered.

1.2.1) Installation

Here, the collection will be separated in 3 parts:
- Process of placement of the product in its first place (if non-mobile product) and setting of basic parameters,

- Packaging and accessories (like warranty or user manual) use and discarded processes,
- Replacement of old products.

On the first part, the questions should be targeted to identify: the connected infrastructure, the persons involved in the process, the running of the actions, the settings of basic parameters depending on the product (intensity of use, power modes…) and the geographical placement.
The second part is dedicated to all the "annexes" of the product, meaning all the things delivered with the product but are not necessary for the operation of the product. You should be able to identify (if applicable) the situation of: packaging, user manual, warranty and accessories after finishing the installation.
The third part is only applicable if the new product is replacing another one. The questions aim at identifying which network the old product is oriented to.

1.2.2) Learning and Training

Here, information on what sources have been used for understanding product functions is collected.
The importance of instruction manual in the setting of product parameters and usage tasks performance is assessed.
The second information of importance is to know if similarity with other products operating practices has been made. To assess which type of knowledge and skills was used for the new product, questions on the use of the manual of instructions or analogies with previous owned product should be expressed.

1.2.3) Usage tasks

The product is most of the time involved in different moments of user daily life. That is why the usage of the product should be cut into usage tasks, each one representing recurrent activity with the product. The splitting into tasks helps getting detailed information by targeting specific practices and identified time in daily routines.
For example, for kitchen appliance, it can be useful to decompose into the different meal of the day or for bathroom appliance, to decompose into wake-up, going to bed and day activities.

For every task, the questions should at least be about getting detailed information of a typical task running and the frequency of such a task over product lifetime. It is also important to identify if the task can change over product lifetime.
Here after is presented a list of events you should ask the user about to see if the product use can be affected by them:
- Day: working day, week-end, holidays,
- Season: winter, spring, summer, autumn,
- Profession: type of work, working hours, incomes,
- Household: modification of household members.

Normally these moments are defined in the use phase models but a double check when constructing the interview can be interesting.

1.2.4) Maintenance and Cleaning

Those specific tasks are of importance because they can affect product efficiency. Here you should identify how these tasks are performed (alone or using professional help), their frequency and the reason for starting such a task.

1.2.5) Storing

It is as important to identify when the product is operating as when it does not. The question should identify three aspects of storing: the condition of storing, how long the product is stored, and the frequency of storing.

1.2.6) Upgrading

The upgrade can be done on behalf of the producer or of the user.
If it is done by the producer, the upgrade should be questioned on the potential benefits the user can identify from such a modification.
If it is done by the user, questions should be made on the reasons for making such an upgrade, the realization of this upgrade (user only or user supported by retailer or specialist of the product) and its frequency.

1.2.7) Decommissioning

The questions on decommissioning can be divided between this section and the "Installation" section.
The one in the installation will be based on previous experience and this one will be based on next experience and on a forecasting perspective.
Here questions should identify the reason why the user will decommission the product and to which circuit he will give the product (second market, waste management, donation…)

1.3) Product and Environmental impact

This section should question two topics: knowledge and skills of the interviewee on environmental impact of the product (to be able to give him adequate information) and on potential improvements of the product the user can wait for.
The first topic can be addressed by asking about what the user thinks is the most problematic aspect of the product toward the environment. You can also detail the aspect by asking if the product contributes to different environmental impact categories, and to different product life cycle stages.
The second topic can firstly evaluate the reaction of the user to solutions that the product manufacturer proposes, and secondly what improvements of the actual product or of his behavior the user can suggest to decrease environmental impacts.

1.4) Environmental behavior (if individual segmentation is used)

This section is the same for every product. It is based on the questionnaire proposed by DEFRA. Nevertheless, you should verify if all the questions are applicable for your interviewee. This applicability can be derivated from the data collected in the section "General data".
For example, if heating system is not usual in the country, the questions related to heating system are not applicable.
The questionnaire is entirely composed of closed questions so you can let the interviewee fill the form alone. This part is decomposed in 8 sub-parts describing different areas of behavior:

1) Environment and Energy
2) Food
4) Recycling
5) Energy at home
6) Transportation
7) Attitudes toward energy and environment
8) Household and Interviewee.

2) The interview

With the interview grid in your hand, you can start testing it and recruiting users to start the collection.

2.1) Validation of the interview grid

After redacting the content of the interview (a list of open and closed questions), you should do a test with experts of the product, of the environment and of the targeted users. The criterions to be checked during this testing are:

- Understandability of the questions,
- Acceptance of the questions,
- Duration of the interview

If you have positive feedback on all criterions, you can set the real interviews.

2.2) Users recruitment

First you need to characterize the sample you want information from. If you choose a geographical segmentation, the identification of the demographic characteristics of the country population is necessary. If you choose the individual segmentation, you have to identify the demographics of the individuals of the segment you evaluate.
By demographics, it is meant the distribution of age, gender, incomes, type of household (marital status, number of kids and type of home), level of education.
For semi-directive interviews, it is advised to recruit from 10 to 20 users to perform the interview with. Based on the characterization of the interviewed sample, you should recruit user that representative of all the existing types of users according to the demographics parameters. If you can, the number of users selected for each category should be statistically correlated to their importance in the sample characterization.

A reward should be offered to the participants for their time. In the case of semi-directive interviews in a laboratory, if it lasted for thirty minutes, it should equal a budget of 10 to 15 euros in gift. For a the same length interview at home, a little higher retribution should be offered for the inconvenience of having stranger at home (from 15 to 20 euros).
This amount is set to compensate for the inconvenience to answer personal questions but should not be too high in order to avoid greedy participants.

2.3) Conducting the interview

In order to be able to analyze efficiently the interview content, it is advised to record the interview. The record is a reliable source for the data processing and it can help to identify topics that deviate from the original questionnaire but are data of interest. Nevertheless, you should also write down the answer, partially or entirely to be able to react on the interviewee comments by using quotes from previous answers.

During the interview, you should avoid to mention the environmental objective of the questionnaire before the section 3 on Product and the Environment. This precaution is taken to avoid bias in the description of the moments.
In the section 2, which is mainly based on open questions, it can be difficult to get a complete answer. A first advice is to rephrase or ask again the initial question. A second advice is to use the quote you make to support interviewee description of task: you can for example recall the list of users that is in contact with product or recall the given answer for others tasks.
Regarding all types of questions, if an interviewee shows difficulty or does not want to answer to a question, you must not force him into giving answer. You should recall him that he can always answer by “I don’t know” or “I don’t want to answer”.

A.2 Questionnaire de collecte de données Brésil

Brasil, Fevreiro 2012

Introdução

Bom dia,
Sou doutoranda em *Ecodesign* da Universidade de Grenoble (França) e esta entrevista faz parte da coleta de dados para o meu doutorado.
Ela terá duração de aproximadamente uma hora (ou menos) e os temas são uso de sabonete e de geladeira no Brasil e o impacto deste produto sobre o ambiente.
O conteúdo oral dessa entrevista vai ser gravado com este computador e também vou anotar parte de suas respostas. O conteúdo vai ser conservado no máximo 5 anos.
Todos os dados coletados são de caráter confidencial e vão ser tratados de maneira que sua identidade não seja divulgada. Qualquer comunicação sobre o conteúdo das entrevistas será realizada de forma anônima.
Se desejar, posso encaminhar o conteúdo da entrevista
E-mail: .....@.....
Endereço: .....
.....
.....

Dados Gerais

P1: Qual são o mês e o ano do seu nascimento?
Ano: _ _ _ _ Mês: _ _ (01 –Janeiro; 02- Fevereiro)

P2: Sexo:
Masculino:_ Feminino: _

Situação familial

P3: Estado Civil:
Casado(a): _ Divorciado(a):_ Solteiro(a):_ Desquitado(a):_ Viúvo(a):_

P4: Você tem filho(s):
Sim:_ (P5) Não: _ (P6)

P5: Quantos filhos têm? Qual é a idade dele(s)? Ele(s) mora(m) com você?
1- __Anos; Mora: _
2-__Anos; Mora: _
3-__Anos; Mora: _
4-__Anos; Mora: _

Brasil, Fevreiro 2012

Moradia

P1: Onde você mora? (município)

_____

P2: Você mora num domicílio:

Próprio (Já quitado):_ Próprio (Ainda pagando):_ Alugado*:_ Cedido (por empregador):_ Cedido (de outra forma):_ Outra Condição:_____

*Se alugado: Valor do Aluguel: R$ ____,__

P3: Quantas pessoas moram em seu domicílio?

__ Pessoas

P4: Qual é a relação entre você e estas pessoas (grau de parentesco)?

_____

_____

_____

Exemplo: Cônjuge ou companheiro(a); Filho(a)s; Enteado(a); Genro ou Nora; Pai ou Padrasto; Mãe ou Madrasta; Sogro(a); Neto(a); Bisneto(a); Irmã(o); Outros Parentes; Agregado(a)@; Convivente; Pensionista; Empregado doméstico etc.

P5: Qual é a forma do abastecimento de água utilizada neste domicílio?

Rede geral de distribuição:_ Poço ou nascente na propriedade:_ Poço ou nascente fora da propriedade:_ Caminhão-pipa:_ Água de chuva armazenada em cisterna:_ Água de chuva armazenada de outra forma:_ Rios, açudes, lagos e igarapés:_ Outra: _____

P6: O esgoto do domicílio é lançado em:

Rede geral de esgoto ou pluvial:_ Fossa séptica:_ Fossa Rudimentar:_ Vala:_ Rio, Lago ou mar:_ Outro: _____

P7: Existe energia elétrica no domicílio?

Sim:_ De companhia distribuidora: _ De outras fontes (precisa):_ _____

Não:_

P8: Existe relógio ou medidor de energia elétrica no domicilio?

Sim:_De uso exclusivo:_ De uso comum:_

Não:_

Brasil, Fevreiro 2012

P1: O lixo deste domicílio é:
Coletado diretamente por serviço de limpeza:_ Colocado em caçamba de serviço de limpeza:_ Queimado (Na propriedade) :_ Enterrado (Na propriedade) :_ Jogado em terreno baldio ou logradouro:_ Jogado em rio, lago ou mar:_ Tem outro destino:_

P2: Existe coleta específica para os materiais recicláveis?
Sim:_ Não:_

P3: Quantos cômodos têm o domicílio?
__ cômodos

P4: Qual é a área construída do domicílio?
_____m²

P5: Seu domicílio possui os seguintes equipamentos?

	Sim	Quantos?	Não
Televisão			
Fogão			
Lava-roupas			
Lava-louças			
Geladeira			
Forno de Microondas			
Computador			
Telefone			
Telefone celular			
Equipamentos tipo MP3; Câmera fotográfica...			
Liquidificador ou outros equipamentos eletro portáteis			
Leitor de DVD			
Aparelho de som			
Internet			
Carro: Tipo de combustível: _____			
Outro tipo de transporte pessoal (com combustível): Tipo: _____			
Outros: _____ _____			

Situação educacional e profissonial

P6: Qual é a sua escolaridade?
Ensino Fundamental incompleto (antigo 1º grau):_
Ensino Fundamental completo (antigo 1º grau):_

Brasil, Fevreiro 2012

Ensino Médio completo (antigo 2º grau):_
Superior incompleto:_ cursando:_ trancado:_
Superior completo:_
Pós-graduação:_ especialização (mín. 360 hs):_
Mestrado:_
Doutorado:_

P1: Atualmente, você está:
Empregado:_ Desempregado:_ Aposentado:_ Estudante:_

P2: Se você está empregado, descreva brevemente sua função.
_____

P3: Qual é seu rendimento mensal (considerando todos os tipos de remuneração em reais - em porcentagem do salário mínimo - R$ 588,94)
____% do salário mínimo Rendimento: R$ _____,__.

Uso de geladeira

P4: Quem se relaciona com a geladeira na casa?
Todos:_ Só: (Faz uma lista com : Nome, Idade, Gênero, Papel/Função na casa)
1)_____
2)_____
3)_____
4)_____
5)_____
6)_____

P5: Qual tipo de geladeira você tem:
Tamanho: +500L:_ Entre 500 e 400L:_ Entre 400L e 300L:_ Entre 300L e 200L:_ -200L:_
Portas: Uma só (sem freezer):_ Uma só (com outra adentro para freezer):_ Dois (uma encima da outra, geladeira acima- freezer abaixo):_ Dois (uma encima da outra, geladeira abaixo-freezer encima):_ Dois (uma ao lado da outra):_
Opções: Luz:_ Fazer gelo:_ Outros:_____

P6: Como você adquiriu a sua geladeira ?

Brasil, Fevreiro 2012

P1: Porque você adquiriu uma nova/outra geladeira?
A antiga morreu:_ O tamanho não era adequado (porque):_/_____
Não tinha:_ Outro:_____

Instalação

P2: Onde colocou a geladeira?
Na cozinha:_ Na sala de jantar:_ Na sala comum (cozinha com sala):_ No sótão o outro cômodo pequeno perto da cozinha:_ Outro:_____

P3: Você se lembra de como foi instalada a geladeira?
Pessoas implicadas:_____
Data: _____
Narração:
_____
_____
_____
_____
_____
_____
Localização: A direita:_____ A esquerda:_____
Atrais:_____ Em frente:_____

P4: Em que tipo de embalagem vênia a geladeira?
_____

P5: Você guardou o jogou fora a embalagem:
Jogar (que lixeira):_/_____ Guardar (onde):_/_____

P6: Você guardou o jogou fora o manual de instruções:
Jogar (que lixeira):_/_____ Guardar (onde):_/_____

P7: Você guardou o jogou fora a garantia e lista de contatos para manutenção:
Jogar (que lixeira):_/_____ Guardar (onde):_/_____

P8: Você pode contar-me como foi realizado o primeiro enchimento da geladeira?
_____
_____
_____
_____

Brasil, Fevreiro 2012

P1: Si você tênia uma geladeira anteriormente, onde la - jogou fora?

_____

Uso

P2: Você pode avaliar a temperatura interna da geladeira?

Não:_ Sim:_ / ___°C

P3: Você modifica a temperatura interna da geladeira dependendo da estação?

Não:_ Sim_ / _____

_____

P4: Você pode avaliar a temperatura externa mediana no cômodo onde está localizado a geladeira?

Verão: ____°C

Outono:____°C

Inverno:_____C

Primavera:____°C

Compras:

P5: Você pode contar-me como encha a geladeira depois de sair de compras?

_____

_____

_____

_____

_____

(Avaliar os tempos associados a cada atividade)

P6: Em geral, qual é a proporção dos seguintes produtos:

Frutas, legumes ou salada:__ % / ___kg

Carnes e peixes processados (por exemplo, carnes sandwich) :__ % / ___kg

Pão e bolos :__ % / ___kg

Carne e peixe cru que prepara em casa:__ % / ___kg

Refeições preparadas ou alimentos de conveniência:__ % / ___kg

Queijo e iogurte:__ % / ___kg

Líquidos (Suco, Água, Cerveja...) :__ % / ___kg

Outros:_____

P7: Qual é a freqüência mediana da suas compras?

No supermercado: Mensal:_ Semanal:_ 2-3 cada semana:_ Diário:_



Brasil, Fevreiro 2012

No mercado: Mensal:_ Semanal:_ 2-3 cada semana:_ Diário:_
Em ferias: Mensal:_ Semanal:_ 2-3 cada semana:_ Diário:_

P1: Como avalia o que precisa comprar?

_____
_____
_____

(Avaliar os tempos associados a cada atividade)

P2: O conteúdo das compras pode ser diferente dependendo da estação.?

Não:_ Sim:_

Verão:_____
_____
_____

Otono:_____
_____
_____

Inverno:_____
_____
_____

Primavera:_____
_____
_____

Café da manha:

P3: Você usa a geladeira para preparar o café da manha?

Sim:_ Não:_

P4: Você pode explicar com detalhes todas as interações entre vocês e a geladeira durante a preparação e consumo do café da manha?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____



Brasil, Fevreiro 2012

(Avaliar os tempos associados a cada atividade)

P1: Isso se repete cada dia útil, de trabalho?
Sim:_ Não:_

P2: No fim de semana, nas ferias, o café da manha é diferente?
Não:_ Sim (explica as diferenças): _/ _____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
(Avaliar os tempos associados a cada atividade)

P3: O café da manha pode ser diferente dependendo da estação.?
Não:_ Sim:_
Verão:_____
_____
_____
Otono:_____
_____
_____
Inverno:_____
_____
_____
Primavera:_____
_____
_____

Almoço:

P4: Você usa a geladeira para preparar o almoço?
Sim:_ Não:_

P5: Você pode explicar com detalhes todas as interações entre vocês e a geladeira durante a preparação e consumo do almoço?

_____
_____



Brasil, Fevreiro 2012

_____
_____
_____
_____
_____
(Hora para começar: __h__ / Hora para terminar:__h__)
(Avaliar os tempos associados a cada atividade)

P1: Isso se repete cada dia útil, de trabalho?
Sim:_ Não:_

P2: No fim de semana, nas ferias, o almoço é diferente, especialmente você tem mais convidado?
Não:_ Sim (explica as diferenças): _/ _____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
(Hora para começar: __h__ / Hora para terminar:__h__)
(Avaliar os tempos associados a cada atividade)

P3: O almoço pode ser diferente dependendo da estação.?
Não:_ Sim:_
Verão:_____
_____
_____
Otono:_____
_____
_____
Inverno:_____
_____
_____
Primavera:_____
_____
_____

P1:



Brasil, Fevreiro 2012

Sim:_ Não:_

P2: Você pode explicar com detalhes todas as interações entre vocês e a geladeira durante a preparação e consumo do jantar?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

(Hora para começar: __h__ / Hora para terminar:__h__)
(Avaliar os tempos associados a cada atividade)

P3: Isso se repete cada dia útil, de trabalho?
Sim:_ Não:_

P4: No fim de semana, nas ferias, o jantar é diferente, especialmente você tem mais convidado?
Não:_ Sim (explica as diferenças): _/ _____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

(Hora para começar: __h__ / Hora para terminar:__h__)
(Avaliar os tempos associados a cada atividade)

P5: O jantar pode ser diferente dependendo da estação.?
Não:_ Sim:_
Verão:_____
_____
_____
Otono:_____
_____
_____

Brasil, Fevreiro 2012

_____

Primavera:_____

_____

_____

Outras interações:

P1: Você usa a geladeira em outros momentos que depois das compras, no café da manha, no almoço e no jantar?

Não:_ Sim (explica as diferenças): _/ _____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

(Avaliar os tempos associados a cada atividade)

Armazenamento

P2: Você desconecta sua geladeira quando estão fora de casa muito tempo?

Não:_ Si (quanto tempo e com que freqüência):_ /_____/_____

Manutenção e limpeza

P3: Você limpa a geladeira?

Si:_ Não: _

P4: Qual é a sinal que a geladeira está suja?

_____

P5: Com que freqüência você limpa a geladeira?

_____

P6: Você pode descrever o processo de limpeza da geladeira (precisa o tipo de produto usado e a quantidade)?

_____

_____

_____

_____

_____



Brasil, Fevreiro 2012

P1: Como você diagnostica que a geladeira tem problema?
Não esfria bastante: _ Faz um barulho anormal:_ Parou de funcionar: _ Liquido está gotejando:_
Outros sinais:_____

P2: Como procede quando a geladeira tem problema?
_____
_____
_____
_____
_____

Melhoria

P3: Você pensa em fazer o já fiz algumas melhorias na geladeira?
Não:_ Sim (de que tipo):_____

Descarte

P4: Você pensa jogar a geladeira fora quando?
Para de funcionar:_ Terei dinheiro para substituí-la:_ Vou a ter filhos o alguma mudança na minha vida familial:_ Outros motivos:_____

P5: Aonde vai a jogar o produto?
Profissional para reparar e vender de segunda mão:_ Fazer um dom:_ Jogar para coleta seletiva:_
Outros:_ _____

Produto e meio ambiente

Impacto ambiental

Todos os produtos industriais têm impacto sobre o meio ambiente. Dependendo do tipo de produto o impacto é diferente em dos niveles: o primeiro é o tipo de impacto (Mudança climática, consumo de energia, de água, contaminações do ar, da água, do solo...) e o segundo é o aspecto do produto (o fim de vida, a fabricação de um dos componentes, o consumo da energia...).

P6: Para você, qual problema ambiental pode gerar uma geladeira?
_____
_____
_____
_____
_____

Brasil, Fevreiro 2012

1- Muito grande 2- Bastante grande 3- Não muito grande 4- Nada importante em todos os casos 5- Não sei

Mudança climática:_ Biodiversidade:_ Eco-toxicidade:_ Toxicidade humana:_ Contaminação do ar:_ Contaminação da água:_ Contaminação do solo:_ Outros:_____

P1: Para você, qual é a fase do ciclo de vida que tem o mas impacto sobe o ambiente para uma geladeira?

Extração dos materiais:_ Fabricação:_ Distribuição:_ Uso:_ Fim de vida:_ Não sei:_

P2: Você pode explicar porque escolheu esta fase?

_____

_____

_____

Melhorias

Já sabemos que uma geladeira tem impacto sobe o ambiente, pensamos que os utilizadores de geladeira como você podem ter ideais para diminuir este impacto.

P3: Que tipo de soluções inovadoras pode aplicar se ao produto para diminuir seu impacto?

1) _____

Para diminuir o impacto sobe:_____

_____

2) _____

Para diminuir o impacto sobe:_____

_____

3) _____

Para diminuir o impacto sobe:_____

_____

P4: Que tipo de mudança no seu estilo de vida pode aplicar se a você para diminuir o impacto da geladeira sobe o ambiente?

1) _____

Para diminuir o impacto sobe:_____

_____

2) _____

Para diminuir o impacto sobe:_____

_____

Brasil, Fevreiro 2012

P1: Aqui tem uma lista de melhoras que se pode fazer para diminuir o impacto ambiental duma geladeira. Você pensa que isso pode mudar seu estilo de vida?

1- Muito 2- Bastante 3- Não muito 4- Nada importante 5- Não sei

1) Ter informações quando a geladeira não está em condições normais:_

2) Informação sobe a temperatura interna da geladeira:_

3) Pôr etiquetas eletrônica sobe alimentos na geladeira e mostrar o conteúdo atualizado da geladeira em qualquer equipamento com tela na casa:_

A.3 Manuel d'utilisation : Analyse préliminaire

Relation with users using preliminary analysis

Preliminary analysis is a tool that can be used without involving real users in the process. The main task of preliminary analysis is funding meaningfull and reliable data for the construction of the models. With those, a cohesive combination of the data should be done to build robust models of context for design activities.

1) Type of data to be used

Different type of data can be used for the different part of the context and scenario model. They will complete different part of the model

1.1) Demographic data

Data from census gives a lot of information on demographic composition of the user segments considered for the models. It can also provide information on the external infrastrucutre the user has access to and the internal infrastructure that is available in it household.
It is often found in the form of population breakdown according to a list of criteria related to:

- Individuals: Age, Gender, Income, Level of Education, Type of occupation…
- Housing: Type of house, ownership, equipment of the house…
- Quality of life: Sanitation, Transportation, Electricity….

1.2) Consumption data

Survey on the paterns of consumption are often used in marketing science. Such data provides information that can be used to define user habits and culture regarding buying a product.
It is often found in the form of statistical adhesion to a specific behavior.

1.3) Social sciences data

Social sciences object of study is the behavior of the user. It provides data for three part of the context model: user habits, knowledge and skills and culture of the user. Even so, it is not always quantitative data, the qualitative information can be used to document the context model.
Assessment of the level of adhesion to a specific habit or or ability provide data that can be directly used to construct the context models.

1.4) Industrial data

Internal studies may have been conduct on user interaction with the product you wish to redesign or on prototype of product that are similar to your project. This data can be used to assess: emotions, habits, knowledge and skills, infrastructure and atmospheric conditions.

2) Where to find data?

2.1) Public institutions data

A country census is most of the time available for all audience.
Public institution often provides basic statistics on population composition and general status. Almost all demographic information can be extracted from data made public by the institution.
The methodology used is most of the time based on international standards that are reliable which make it a reliable source for data.

2.2) Survey institute

Survey institute can provide all the data cited above. They can be comission to evaluate a specific topic but they can also provide informations from previous studies that are made accesible for free or for a specific fee.

It is a reliable source of information but the methodology for data collection. Carefull analysis of the compatibiltity of the survey perimeter should be carried in order to verify the adequation with your own assumptions.

2.3) Report for public decision makers

Public institutions often commission studies on the different type of data exposed in the first paragraph.

Social sciences practitioners or expert group are often asked to collect and analyse data for policy making. Such data might be available to all citizen and can be used as a reliable source for information.

Education material can also provide data for the context model (mainly on knowledge and skills).

It is a reliable source of information but the use of data for public decision makers might need to be modified to fit the specific context of your product.

2.4) Report for industry consortium

Some industry consortium provides reports or surveys on important topics to their members.

Such reports can provide information on the infrastructure (internal or external) that will be in contact of the product. Others have joined effort to collect data on topic of importance for the sector that can be used in the context model such as perception of the environmental impact of the sector or type of product used today in the geographical area of interest.

Depending on the methodology used in the report, the data can be reliable.

2.5) Internal study

The company might have commissioned studies to collect data that can be used in aspecific part of the context model. This data can be used with careful attention to the difference between the objective of the original study and your objective for the context and scenario model.

Nevertheless, it is the only data available on company's innovations that might have been tested previously with users. This informaiton can support the update of the context model during the design process.

A.4 Liste complète des parties habitudes et culture du modèle de contexte Brésil

Habitudes

Nom	Représentativité	Fréquence sur le cycle d'utilisation	Contexte	Habitudes
Acquisition-Type 1	30%	1	Cuisine	2 réfrigérateurs dans la maison, un ancien et le nouveau
Acquisition-Type 2	50%	1	Cuisine	Achat Neuf
Acquisition-Type 3	30%	1	Cuisine	"Gagné": Donner en cadeau, neuf
Acquisition-Type 4	20%	1	Cuisine	Achat ou don d'occasion
Installation-Type 1	60%	1	Cuisine	Déballage, Placement et Branchement faits immédiatement par les employés du magasin
Installation-Type 2	40%	1	Cuisine	Placement et Branchement faits par l'utilisateur avec ces proches tout de suite
Installation-Type 3	60%	1	Cuisine	Rangement des manuels d'instructions et des garanties dans un lieu réservé
Installation-Type 4	20%	1	Cuisine	Papiers administratifs à la poubelle
Installation-Type 5	60%	1	Cuisine	Carton d'emballage pour le recyclage
Installation-Type 6	10%		Cuisine	Incinération de l'emballage en PS
Installation-Type 7	40%		Cuisine	Emballage de PS au recyclage des emballages
Installation-Type 8	10%		Cuisine	Réutilisation du carton
Apprentissage				
Usage-Type 1	10%	1	Cuisine	Régulation de la température en fonction du contenu du réfrigérateur et de la température extérieure
Usage-Type 2	90%	1	Cuisine	Le thermostat reste fixe tout au long de l'année, sans que les utilisateurs sachent à quelle température est le réfrigérateur
Courses-Type 1	30%	520	Cuisine	1 magasin 1 fois par semaine
Courses-Type 2	20%	520	Cuisine	2 magasins 1 fois par semaine
Courses-Type 3	30%	260	Cuisine	3 et + magasins 1 fois par semaine

Courses-Type 4	10%	260	Cuisine	2 magasins 1 fois toutes les 2 semaines
Courses-Type 5	20%	173.3333333	Cuisine	1 magasin toutes les 3 semaines
Courses-Type 6	10%	173.3333333	Cuisine	2 magasins toutes les 3 semaines
Courses-Type 7	30%	1	Cuisine	Composition majoritaire: Plats préparés ; Fruits et Légumes ; Liquides et autres
Courses-Type 8	50%	1	Cuisine	Composition majoritaire: Fruits et Légumes ; Viandes et Poissons ; Plats Préparés
Courses-Type 9	10%	1	Cuisine	Composition majoritaire: Viandes ; Liquides ; Fruits et Légumes
Courses-Type 10	10%	1	Cuisine	Composition majoritaire: Vide ; Liquides et Plats préparés
Petit-Déjeuner Semaine- Type 1	30%	2607.142857	Cuisine	Chaque membre de la famille prend le petit-déjeuner séparément, sort et range les ingrédients nécessaires dans le réfrigérateur d'une seule fois
Petit-Déjeuner Semaine- Type 3	30%	2607.142857	Cuisine	La famille prend le petit-déjeuner tous ensemble
Petit-Déjeuner Semaine- Type 4	60%	2607.142857	Cuisine	Le lait est sorti du réfrigérateur
Petit-Déjeuner Semaine- Type 5	60%	2607.142857	Cuisine	Les condiments sont sortis du réfrigérateur
Petit-Déjeuner Week-End- Type 1	20%	1042.857143	Cuisine	Chaque membre de la famille prend le petit-déjeuner séparément, sort et range les ingrédients nécessaires dans le réfrigérateur d'une seule fois
Petit-Déjeuner Week-End- Type 3	60%	1042.857143	Cuisine	La famille prend le petit-déjeuner tous ensemble
Petit-Déjeuner Week-End- Type 4	60%	1042.857143	Cuisine	Le lait est sorti du réfrigérateur
Petit-Déjeuner Week-End- Type 5	60%	1042.857143	Cuisine	Les condiments sont sortis du réfrigérateur
Déjeuner Semaine-Type 1	30%	2607.142857	Cuisine	Tous les aliments pour préparer le repas sont sortis d'un coup
Déjeuner Semaine-Type 2	40%	2607.142857	Cuisine	Tous les aliments sont sortis au fur et à mesure

Déjeuner Semaine- Type 3	40%	2607.142857	Cuisine	Les restes sont rangés tous d'un coup
Déjeuner Semaine- Type 4	30%	2607.142857	Cuisine	Les restes sont rangés au fur et à mesure
Déjeuner Semaine- Type 5	40%	2607.142857	Cuisine	Le repas est pris ensemble
Déjeuner Semaine- Type 6	30%	2607.142857	Cuisine	Le repas est pris séparément
Déjeuner Week-End- Type 1	40%	1042.857143	Cuisine	Tous les aliments pour préparer le repas sont sortis d'un coup
Déjeuner Week-End- Type 2	50%	1042.857143	Cuisine	Tous les aliments sont sortis au fur et à mesure
Déjeuner Week-End- Type 3	50%	1042.857143	Cuisine	Les restes sont rangés tous d'un coup
Déjeuner Week-End- Type 4	30%	1042.857143	Cuisine	Les restes sont rangés au fur et à mesure
Déjeuner Week-End- Type 5	30%	1042.857143	Cuisine	Les repas sont plus longs à préparer (donc plus d'aller et retour vers le réfrigérateur)
Déjeuner Week-End- Type 6	50%	2607.142857	Cuisine	Le repas est pris ensemble
Déjeuner Week-End- Type 7	30%	2607.142857	Cuisine	Le repas est pris séparément
Dîner Semaine- Type 1	50%	2607.142857	Cuisine	Tous les aliments pour préparer le repas sont sortis d'un coup
Dîner Semaine- Type 2	20%	2607.142857	Cuisine	Tous les aliments sont sortis au fur et à mesure
Dîner Semaine- Type 3	40%	2607.142857	Cuisine	Les restes sont rangés tous d'un coup
Dîner Semaine- Type 4	20%	2607.142857	Cuisine	Les restes sont rangés au fur et à mesure
Dîner Semaine- Type 5	20%	2607.142857	Cuisine	Le repas est pris ensemble
Dîner Semaine- Type 6	60%	2607.142857	Cuisine	Le repas est pris séparément

Dîner Week-End- Type 1	60%	1042.857143	Cuisine	Tous les aliments pour préparer le repas sont sortis d'un coup
Dîner Week-End- Type 2	20%	1042.857143	Cuisine	Tous les aliments sont sortis au fur et à mesure
Dîner Week-End- Type 3	50%	1042.857143	Cuisine	Les restes sont rangés tous d'un coup
Dîner Week-End- Type 4	20%	1042.857143	Cuisine	Les restes sont rangés au fur et à mesure
Dîner Week-End- Type 5	50%	1042.857143	Cuisine	Le repas est pris ensemble
Dîner Week-End- Type 6	20%	1042.857143	Cuisine	Le repas est pris séparément
Rafraichissement	40%	15512.5	Cuisine	Sortir un rafraîchissement du réfrigérateur
Vérification du contenu	10%	29200	Cuisine	Ouverture et fermeture pour vérifier le contenu du réfrigérateur
Gouter	10%	3650	Cuisine	Ouverture et fermeture pour prendre des fruits et des boissons fraiches
Rangement-Type 1	20%	10	Cuisine	Le réfrigérateur est rangé moins de 1 mois par an
Rangement-Type 2	10%	10	Cuisine	Le réfrigérateur est rangé moins de 2 mois par an
Rangement-Type 3	10%	10	Cuisine	Le réfrigérateur est rangé 5 jours sur 7
Nettoyage et Maintenance - Type 1	40%	42	Cuisine	Le réfrigérateur est débranché pendant le nettoyage pour un dégivrage
Nettoyage et Maintenance - Type 2	20%	42	Cuisine	Le réfrigérateur reste branché pendant le nettoyage
Nettoyage et Maintenance - Type 3	60%	42	Cuisine	Du produit nettoyant est utilisé
Fin de vie- Type 1	70%	1	Maison	Donner pour revente ou utilisation de seconde main
Fin de vie- Type 2	20%	1	Maison	Orienter vers une filière de recyclage
Fin de vie- Type 3	10%	1	Maison	Jeter aux ordures ménagères

Culture

Année	Domaine	Nom	Description
2001	Impact Environnemental	Préoccupation Environnementale	Impacts environnementaux les plus préoccupants: contamination de l'eau, déchets, déforestation et disparition de la couche d'ozone
2001	Impact Environnemental	Contribution Réchauffement climatique	Contribution du Brésil au réchauffement climatique via l'utilisation de voiture et la déforestation
1999	Education environnementale	Education	Cette loi oblige à ce que toutes les matières dans tous les cursus proposent une dimension environnementale
2012	Education environnementale	Médias	Les thèmes prédominants dans les médias sont : la contamination de l'air dans les villes, la perte de biodiversité et la production d'énergie
2012	Politique	Elections	19,3% des votes pour le parti vert en 2010 (Maria Silva)
2001	Politique	Conventions internationales	1er pays à avoir signé le protocole de Rio sur la biodiversité
2001	Politique	Société	Problématiques sociétales d'importance: Chômage, Education et Santé
2012	Impact Environnemental	Impact électricité	D'après beaucoup de brésiliens, la production d'énergie n'est pas problématique pour l'environnement car elle est basée sur l'hydroélectricité
2012	Impact Environnemental	Impact électricité	Quelques travaux sont en cours sur l'impact des grands barrages sur l'eutrophisation et la toxicité

A.5 Liste complète des parties habitudes et culture du modèle de contexte France

Habitudes

Nom	Représentativité	Fréquence sur le cycle d'utilisation	Contexte	Habitudes
Acquisition-Type 1	0.46	1	Cuisine	Achat en grandes surfaces spécialisées pour le neuf
Acquisition-Type 2	0.23	1	Cuisine	Achat neuf chez des indépendants
Acquisition-Type 3	0.59	1	Cuisine	Achat d'un produit de classe A
Usage-Type 1	1.00	650	Cuisine	Le thermostat n'est jamais modifié
Courses-Type 1	1.00	650	Cuisine	La quantité d'aliments stockés au réfrigérateur est la suivante :
Courses-Type 2	1.00	650	Cuisine	Plats composés:119,5 g par jour soit 837 g par course pour des courses hebdomadaires
Courses-Type 3	1.00	650	Cuisine	Légumes: 108.9 g par jour soit 762 g par course pour des courses hebdomadaires
Courses-Type 4	1.00	650	Cuisine	Fruits: 107.6 g par jour soit 753 g par course pour des courses hebdomadaires
Courses-Type 5	1.00	650	Cuisine	Ultra frais laitiers: 79.6 g par jour soit 557 g par course pour des courses hebdomadaires
Courses-Type 6	1.00	650	Cuisine	Fréquence des courses au supermarché par semaine: 1.25
Petit-Déjeuner Semaine- Type 1	0.42	3650	Cuisine	Pris en famille
Petit-Déjeuner Semaine- Type 3	1.00	3650	Cuisine	2 premiers aliments pris dans le réfrigérateur: lait; ultra frais
Petit-Déjeuner Semaine- Type 4	1.00	3650	Cuisine	Quantité consommée: 44.4 g de lait ; 11.6 g d’ultra frais
Petit-Déjeuner Semaine- Type 5	0.96	3650	Cuisine	Pris à domicile
Déjeuner Semaine-Type 1	0.59	3650	Cuisine	Pris en famille

Déjeuner Semaine- Type 2	1.00	3650	Cuisine	2 premiers aliments pris dans le réfrigérateur : Plats composés; Légumes
Déjeuner Semaine- Type 3	1.00	3650	Cuisine	Quantité consommée: 61,4g de plats composés ; 61,4 g de Légumes;
Déjeuner Semaine- Type 4	0.33	3650	Cuisine	Pris à domicile
Dîner Semaine- Type 1	0.75	3650	Cuisine	Pris en famille
Dîner Semaine- Type 2	1.00	3650	Cuisine	2 premiers aliments pris dans le réfrigérateur : Soupes ; Plats composés
Dîner Semaine- Type 3	1.00	3650	Cuisine	Quantité des 3 aliments: 70 g de soupes ; 46.5 g de plats composés
Dîner Semaine- Type 4	0.89	3650	Cuisine	Pris à domicile
Gouter-Type 1	0.46	3650	Cuisine	Pris en famille
Gouter-Type 2	1.00	3650	Cuisine	2 premiers aliments pris dans le réfrigérateur : Fruits
Gouter-Type 3	1.00	3650	Cuisine	Quantité consommée : 9.7 g de Fruits
Gouter-Type 4	0.79	3650	Cuisine	Pris à domicile
Fin de vie- Type 1	0.60	1	Maison	Réemploi de ce qui est collecté
Fin de vie- Type 2	0.80	1	Maison	Recyclage de ce qui est collecté

Culture

Année	Domaine	Nom	Description
2011	Impact Environnemental	Informations	Volonté d'avoir plus d'informations sur la biodiversité et sur l'impact environnemental des produits
2011	Impact Environnemental	Inquiétudes	Pénurie d'eau, d'électricité, de matières premières
2011	Impact Environnemental		Problématiques environnementales d’importance : Pollution, Réchauffement climatique, Extinction des espèces
2011	Impact Environnemental	Affichage environnementale	Information complète, sur le produit, simple à comprendre, fiable

2011	Impact Environnemental	Affichage environnementale	Ajout d'information sur la fiabilité de l'information
2012	Politique		2,31% pour le parti vert aux élections présidentielles
2008	Education environnementale	Programme école primaire -Objectif	Découvrir le monde du vivant, de la matière et des objets: Les élèves repèrent des caractéristiques du vivant : naissance, croissance et reproduction; nutrition et régimes alimentaires des animaux. Ils apprennent quelques règles d'hygiène et de sécurité personnelles et collectives. Ils comprennent les interactions entre les êtres vivants et leur environnement et ils apprennent à respecter l'environnement. Ils distinguent les solides et les liquides et perçoivent les changements d'états de la matière. Ils réalisent des maquettes élémentaires et des circuits électriques simples pour comprendre le fonctionnement d'un appareil.
2009	Education environnementale	Programme école primaire - Contenu	Programme: L'eau: Une ressource > Etats et changements d'état; Le trajet de l'eau dans la nature; le maintien de sa qualité pour ses utilisations. L'air et les pollutions de l'air > Mélanges et solutions Les déchets: réduire, réutiliser, recycler L'énergie > Exemples simples de sources d'énergies (fossiles ou renouvelables); Besoin en énergie, consommation et économie d'énergie. Les êtes vivants dans leur environnement > L'adaptation des êtres vivants aux conditions du milieu; Places et rôles des êtres vivants; Notion de chaînes et réseaux alimentaires; L'évolution d'un environnement géré par l'Homme: la forêt; Importance de la biodiversité

A.6 Modélisation Bilan Produit

A.6.1 Fabrication

Sous-ensemble	Nom	Quantité	Unité	Commentaires utilisateur
Réfrigérateur	ABS	0.858	kg	
Réfrigérateur	Colle à métaux	0.141	kg	
Réfrigérateur	Aluminium mix européen	1.356	kg	
Réfrigérateur	Argon liquide	0.005	kg	
Réfrigérateur	Carton ondulé recyclé double paroi	2.699	kg	
Réfrigérateur	Cuivre courant	2.186	kg	
Réfrigérateur	Acier neuf faiblement allié	16.77	kg	Substitution fonte
Réfrigérateur	Electricité moyenne tension Europe	25.34	kWh	Substitution Electricity MV
Réfrigérateur	Module electronique de commande	0.303	kg	
Réfrigérateur	EPDM	0.208	kg	
Réfrigérateur	Extrusion de profils aluminium	0.678	kg	
Réfrigérateur	Extrusion de tubes et profilés	0.251	kg	Extrusion PVC
Réfrigérateur	Procédé d'expansion (mousse)	12.94	kg	
Réfrigérateur	Verre emballage blanc	6.281	kg	Substitution Glass (white) 250
Réfrigérateur	PEHD	0.005	kg	
Réfrigérateur	Chaudière à gaz à condensation <100kW low Nox	15.69	MJ	
Réfrigérateur	Laminage a chaud acier	2.923	kg	
Réfrigérateur	Injection	2.001	kg	
Réfrigérateur	Papier kraft blanchi	0.274	kg	
Réfrigérateur	Huile de lubrification	0.218	kg	
Réfrigérateur	Azote liquide	0.084	kg	
Réfrigérateur	Oxygène liquide	0.027	kg	
Réfrigérateur	PA6	0.02	kg	
Réfrigérateur	Peinture alkyde blanche solvantée	0.009	kg	
Réfrigérateur	PC	0.005	kg	
Réfrigérateur	PELD	0.342	kg	
Réfrigérateur	PET amorphe	0.003	kg	

Réfrigérateur	Planche pin du Parana	0.00002	m3	Substitution peuplier
Réfrigérateur	PP	1.617	kg	
Réfrigérateur	PS usage general	10.381	kg	
Réfrigérateur	PUR mousse rigide	8.105	kg	Substitution semi rigide
Réfrigérateur	PVC	0.3596	kg	
Réfrigérateur	Refrigerant R134a	0.0492	kg	
Réfrigérateur	Transport transocéanique	29	t.km	Distance : 29km Masse transportée : 1t
Réfrigérateur	Laminage de feuilles acier	4.829	kg	
Réfrigérateur	Acier courant	14.6	kg	Substitution Steel 1
Réfrigérateur	Camion moyen (16 à 32T) Euro4	68	t.km	Distance : 68km Masse transportée : 1t
Réfrigérateur	Eau déionisée	228	kg	Substitution déminéralisée
Réfrigérateur	Filage de cuivre	1.092	kg	
Réfrigérateur	Acier allié nickel chrome	0.902	kg	Substitution X5CrNi18
Réfrigérateur	Zinc (neuf)	0.17	kg	

A.6.2 Utilisation Brésil

Sous-ensemble	Nom	Quantité	Unité
1.3 Brancher-P1	Electricité moyenne tension Europe	0.07406	kWh
10.1 Préparer - P13	Electricité moyenne tension Europe	143.802	kWh
10.1 Préparer - P14	Electricité moyenne tension Europe	363.29	kWh
10.2 Ranger- P13	Electricité moyenne tension Europe	121.097	kWh
10.2 Ranger- P14	Electricité moyenne tension Europe	363.29	kWh
10.2 Ranger- P9	Electricité moyenne tension Europe	92.305	kWh
11.1 Préparer - P13	Electricité moyenne tension Europe	72.6579	kWh
11.1 Préparer - P14	Electricité moyenne tension Europe	127.151	kWh
11.2 Ranger - P13	Electricité moyenne tension Europe	51.466	kWh
11.2 Ranger - P14	Electricité moyenne tension Europe	127.151	kWh
11.2 Ranger - P9	Electricité moyenne tension Europe	32.3068	kWh

12.1 Préparer - P13	Electricité moyenne tension Europe	98.391	kWh
12.1 Préparer - P14	Electricité moyenne tension Europe	454.112	kWh
12.2 Ranger -P13	Electricité moyenne tension Europe	90.8224	kWh
12.2 Ranger -P14	Electricité moyenne tension Europe	454.112	kWh
12.2 Ranger -P9	Electricité moyenne tension Europe	115.381	kWh
13.1 Préparer - P13	Electricité moyenne tension Europe	42.3838	kWh
13.1 Préparer - P14	Electricité moyenne tension Europe	99.9047	kWh
13.2 Ranger - P13	Electricité moyenne tension Europe	39.3564	kWh
13.2 Ranger - P14	Electricité moyenne tension Europe	99.9047	kWh
13.2 Ranger - P9	Electricité moyenne tension Europe	25.3839	kWh
16.1 Ranger - P13	Electricité moyenne tension Europe	180.131	kWh
16.2 Ranger - P11	Electricité moyenne tension Europe	341.773	kWh
16.2 Ranger -P13	Electricité moyenne tension Europe	180.131	kWh
17.1 Debrancher- P1	Electricité moyenne tension Europe	-0.0518	kWh
17.1 Debrancher- P15	Electricité moyenne tension Europe	-1635	kWh
17.4 Produit entretien- P22	Savon	0.0504	kg
20.1 Débrancher - P1	Electricité moyenne tension Europe	-53.326	kWh
3.1 Brancher-P1	Electricité moyenne tension Europe	1599.78	kWh
5.1 Brancher - P1	Electricité moyenne tension Europe	1599.78	kWh
5.1 Brancher - P2	Electricité moyenne tension Europe	-1319.8	kWh
7.1 Etablir la liste- P13	Electricité moyenne tension France	196.243	kWh
7.2 Ranger les aliments-P11	Electricité moyenne tension Europe	50.7739	kWh

7.2 Ranger les aliments-P5	Electricité moyenne tension Europe	327.358	kWh
7.2 Ranger les aliments-P8	Electricité moyenne tension Europe	111.751	kWh
7.2 Ranger les aliments-P9	Electricité moyenne tension Europe	130.887	kWh
8.1 Préparer- P14	Electricité moyenne tension Europe	272.467	kWh
8.2 Ranger - P11	Electricité moyenne tension Europe	62.6627	kWh
8.2 Ranger - P12	Electricité moyenne tension Europe	12.5325	kWh
8.2 Ranger - P14	Electricité moyenne tension Europe	272.467	kWh
9.1 Préparer-P14	Electricité moyenne tension Europe	108.987	kWh
9.2 Ranger - P11	Electricité moyenne tension Europe	25.0651	kWh
9.2 Ranger - P12	Electricité moyenne tension Europe	5.01301	kWh
9.2 Ranger - P14	Electricité moyenne tension Europe	108.987	kWh

A.6.3 Utilisation France

Sous-ensemble	Nom	Quantité	Unité
10.1 Préparer - P14	Electricité moyenne tension France	1.90918	kWh
10.2 Ranger- P14	Electricité moyenne tension France	1.90918	kWh
10.2 Ranger- P5	Electricité moyenne tension France	89.2919	kWh
10.2 Ranger- P9	Electricité moyenne tension France	53.552	kWh
12.1 Préparer - P11	Electricité moyenne tension France	116.501	kWh
12.1 Préparer - P14	Electricité moyenne tension France	4.24368	kWh
12.2 Ranger -P11	Electricité moyenne tension France	116.501	kWh
12.2 Ranger -P14	Electricité moyenne tension France	4.24368	kWh
12.2 Ranger -P9	Electricité moyenne tension France	42.7496	kWh
14.1 Préparer- P14	Electricité moyenne tension France	5.22338	kWh
14.2 Ranger - P14	Electricité moyenne tension	5.22338	kWh

	France		
14.2 Ranger - P9	Electricité moyenne tension France	42.7496	kWh
3.1 Brancher-P1	Electricité moyenne tension France	799.89	kWh
4.1 Brancher- P1	Electricité moyenne tension France	799.89	kWh
4.1 Brancher- P2	Electricité moyenne tension France	-219.97	kWh
5.1 Brancher - P1	Electricité moyenne tension France	799.89	kWh
5.1 Brancher - P2	Electricité moyenne tension France	-219.97	kWh
6.1 Brancher - P1	Electricité moyenne tension France	799.89	kWh
6.1 Brancher - P2	Electricité moyenne tension France	-219.97	kWh
7.1 Etablir la liste- P13	Electricité moyenne tension France	0.19305	kWh
7.2 Ranger les aliments-P10	Electricité moyenne tension France	30.7244	kWh
7.2 Ranger les aliments-P14	Electricité moyenne tension France	1.73745	kWh
7.2 Ranger les aliments-P5	Electricité moyenne tension France	84.7826	kWh
7.2 Ranger les aliments-P9	Electricité moyenne tension France	28.0271	kWh
8.1 Préparer- P14	Electricité moyenne tension France	6.59153	kWh
8.2 Ranger - P10	Electricité moyenne tension France	36.5119	kWh
8.2 Ranger - P11	Electricité moyenne tension France	153.728	kWh
8.2 Ranger - P14	Electricité moyenne tension France	6.59153	kWh