



**HAL**  
open science

## Utilisation de règle DFE en conception préliminaire pour une évaluation environnementale qualitative des produits par les concepteurs.

Hayder Alhomsy, Peggy Zwolinski

### ► To cite this version:

Hayder Alhomsy, Peggy Zwolinski. Utilisation de règle DFE en conception préliminaire pour une évaluation environnementale qualitative des produits par les concepteurs.. 11ème Colloque National AIP PRIMECA, Apr 2009, La Plagne, France. hal-00519419

**HAL Id: hal-00519419**

**<https://hal.science/hal-00519419v1>**

Submitted on 20 Sep 2010

**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.

# UTILISATION DE REGLES DfE EN CONCEPTION PRELIMINAIRE POUR UNE EVALUATION ENVIRONNEMENTALE QUALITATIVE DES PRODUITS PAR LES CONCEPTEURS.

**Hayder Alhomsy , Peggy Zwolinski**

Laboratoire G-SCOP, 46 av Félix Viallet – 38031 Grenoble, France

Hayder.Alhomsy@ g-scop.inpg.fr

Peggy.Zwolinski@g-scop.inpg.fr

## Résumé:

*Afin d'aider les concepteurs à comprendre et traduire les contraintes environnementales, des méthodes et des outils doivent être développés. Ceux-ci doivent conduire à mener des actions effectives pour permettre la création de nouveaux produits qui impactent moins l'environnement. Dans cet article, nous expliquons comment utiliser les règles DfE (Design for Environment) tôt dans le processus de conception, en phase d'étude conceptuelle. En effet, lors de cette phase, les concepteurs ne disposent pas d'outils ou de méthodes qualitatives simples pour évaluer leurs produits. Pour utiliser les règles DfE en conception conceptuelle, nous avons : (1) identifié quelles règles peuvent être utilisées lorsque les concepteurs ne disposent que d'une représentation fonctionnelle du produit (2). Créé les indicateurs nécessaires pour évaluer les produits selon les règles choisies en fonction des choix de conception effectués par les concepteurs. Cette approche est utilisable pour de nombreuses règles de type Df"X", même si dans cet article nous ne nous focalisons que sur les règles DfE.*

**Mots clés:** Environnement, Conception préliminaire, règles DfE, évaluations quantitatives

## 1 Introduction

Les décisions lors de la conception de produits ont un impact significatif sur l'environnement et ceci tout au long du processus de conception du produit. L'acteur principal lors des prises de décisions est le concepteur, qui peut réaliser des améliorations significatives concernant l'impact environnemental du produit en considérant des règles de conception pour l'environnement (règles DfE) pendant le processus de conception. Pour être effectives, ces règles doivent être spécifiquement intégrées pendant les phases de conception préliminaires [1], quand le concepteur a toujours la possibilité de pouvoir facilement apporter des modifications sur le produit en lien avec les exigences environnementales, sur la base de la représentation fonctionnelle du produit [2]. Mais, du fait de la nature de la représentation fonctionnelle [3] qui ne fournit pas de données finalisées et détaillées sur le produit final, l'implémentation des règles DfE n'est pas simple. Pour aider le concepteur à considérer les règles DfE plus tôt dans le processus de conception, nous proposons un outil qui consiste en une liste de règles DfE utilisables en phase de conception conceptuelle. Dans le prochain paragraphe, nous présentons les règles retenues et l'approche proposée afin d'utiliser ces règles au plus tôt ainsi que le modèle et les indicateurs qui contribuent à l'évaluation. Finalement, nous illustrerons cette approche par une étude de cas.

## 2 Approche proposée pour une réelle prise en compte des règles DfE pendant le processus de conception

### 2.1 Utilisation actuelle des règles DfE en conception

De nombreux travaux de recherche sont menés concernant l'intégration des contraintes environnementales pendant le processus de conception des produits et la conception des process relatifs à ces produits [4]. Ainsi, de nouvelles méthodes de conception sont développées, basées sur la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie des produits, afin de réduire leur impact environnemental [5]. Une représentation de la démarche actuelle est donnée figure (1).

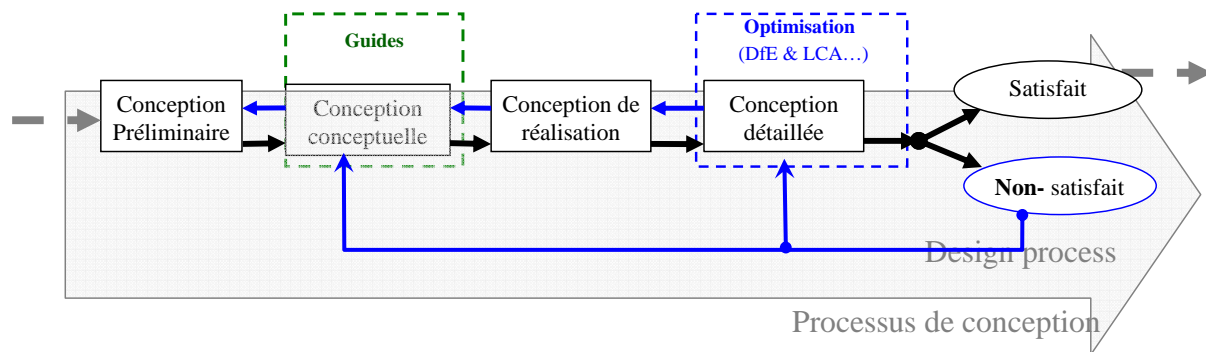


Figure 1: Approche actuelle pour la conception de produits respectueux de l'environnement

Dans les phases préliminaires, les concepteurs peuvent utiliser des guides de conception type "Ecodesign Pilot" [6] afin d'être guidés dans leurs choix. Ces guides sont bien adaptés aux phases de conception conceptuelles mais ne sont que rarement utilisées parce qu'elles ne retournent pas d'indicateurs quantitatifs utilisables pouvant être analysés et comparés à d'autres indicateurs de conception lors de ces premières étapes du projet de conception. Ainsi, l'impact environnemental du produit est principalement pris en compte durant la phase de conception détaillée. Lors de cette étape, les données nécessaires sont connues (composants, poids, matériaux, fixations, process de fabrication,...), les outils de conception pour l'environnement peuvent être utilisés et les analyses de cycle de vie (ACV) peuvent être réalisées [7] [8]. Une fois ces analyses réalisées, les concepteurs valident ou non le fait que le produit satisfait ou non les exigences environnementales. Ainsi, si les exigences sont satisfaites, le processus de conception continue. Sinon, la solution doit être reconsidérée, en y apportant des modifications mineures pour l'optimiser ou des modifications majeures en phase de conception préliminaire, ce qui conduit à une grande perte de temps au niveau du projet.

### 2.2 Approche proposée pour la prise en compte des règles DfE en conception

Afin d'aider les concepteurs à considérer l'environnement dans leur projet de conception de produit, tout en minimisant le temps consacré au projet, une évaluation environnementale simplifiée utilisable en phase de conception préliminaire a été définie. Cette évaluation peut débuter en phase de conception préliminaire mais peut être poursuivie jusqu'à la phase de conception détaillée (figure 2). Notre objectif est de proposer un outil d'évaluation utilisant les premiers éléments de la représentation fonctionnelle du produit (composants principaux, liens fonctionnels, ...) pour renvoyer des indicateurs environnementaux simples aux concepteurs [9]. Ainsi, pour chaque étape du processus de conception, une évaluation des exigences environnementales peut être réalisée pour éviter de trop longues boucles essais/erreurs pendant la conception. Les indicateurs développés ne sont pas relatifs à une évaluation d'impacts environnementaux (du type ACV) du fait d'un manque de données sur le produit à cette étape de la conception. Mais une première estimation du profil environnemental du produit est possible en utilisant les règles DfE. L'objectif ici n'est pas de remplacer les ACV qui peuvent et doivent être réalisées à la fin des études détaillées : l'objectif est de guider le concepteur au plus tôt vers un bon compromis pour le produit par des estimations simples. Cette approche est nécessaire afin d'éviter des modifications significatives à la fin des études détaillées.

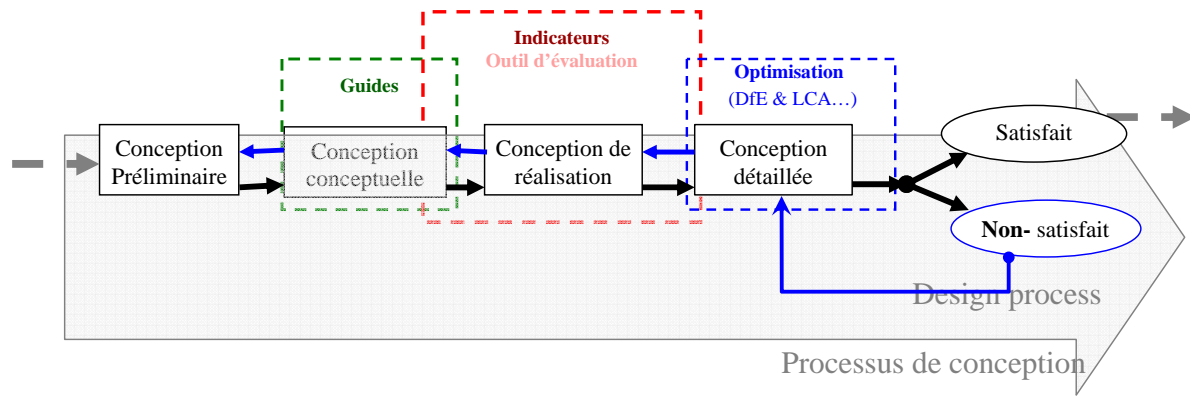


Figure 2: Approche proposée pour concevoir des produits respectueux de l'environnement

Nous présentons dans cet article quelques règles utilisables en conception préliminaire et la façon de les utiliser. Nous nous intéresserons en particulier au modèle de produit choisi qui supporte le process d'évaluation et les différents indicateurs créés en relation avec les règles DfE sélectionnées.

### 3 Les règles DfE utilisables en conception conceptuelle

L'objectif de ce travail est de montrer comment appliquer les règles DfE plus tôt dans le processus de conception, pour fournir un outil pour une évaluation quantitative aux concepteurs qui ont à évaluer leurs propositions [10] [11]. Pour cela, les règles DfE ont été sélectionnées et classifiées pour être appliquées sur une toute première définition du produit : la représentation fonctionnelle du produit [12].

#### 3.1 Classification des règles DfE

Une classification des règles DfE a été proposée selon les étapes du cycle de vie du produit : la phase d'extraction des matières premières, la fabrication, le transport, l'usage et finalement la phase de fin de vie [6]. Ainsi, il y a des règles pour choisir les bons matériaux, pour améliorer les processus de fabrication, pour réduire les transports, pour améliorer l'usage des produits, pour augmenter la durabilité des produits.

##### Classification des règles DfE

Groupe principal	Sous-groupe des règles
Choisir les bons matériaux	Sélectionner des matériaux Limiter la matière pour chaque composant
Améliorer les processus de production.	Limiter la matière par composant pendant des processus de production Economiser de l'énergie pendant les processus de production Améliorer l'assemblage du produit
Améliorer le transport.	Améliorer l'emballage Réduire les distances couvertes
Améliorer l'usage du produit	Améliorer les phases de maintenance Optimiser la fonctionnalité de produit Optimiser la consommation d'énergie dans la phase d'utilisation Réduire les déchets dans la phase d'utilisation
Augmenter la durabilité du produit	Améliorer le désassemblage Améliorer la remanufacturabilité Améliorer la recyclabilité

Tableau (1): les groupes et sous-groupes pour la classification des règles DfE

Pour chaque groupe de règles DfE il existe des sous groupes relatifs à des points techniques spécifiques pour guider le concepteur plus précisément pendant la définition du produit. En effet, ces règles guident les concepteurs lors de la prise en compte de l'environnement mais également dans d'autres domaines relatifs à la conception de produit (remanufacturing, désassemblage,

maintenance,...) Elle sont définies selon des guides pratiques de conception et traduites pour être adaptées aux données disponibles en phase de conception conceptuelle. Le tableau (1) montre quelques un de ces groupes et sous-groupes. Pour chacun de ces sous-groupes, nous avons identifié deux types de règles : les règles techniques et les règles environnementales (figure 3). Cette classification est relative aux exigences fonctionnelles [1] et environnementales [13-15] définies dans le cahier des charges du produit.

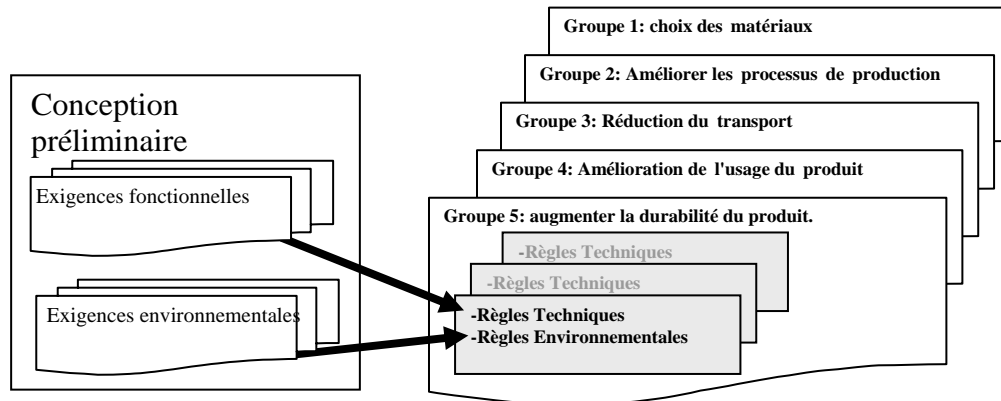


Figure (3): groupes et types de règles DfE utilisables en conception conceptuelle

### 3.2 Règles techniques

Les règles techniques sont utilisées pour répondre aux exigences techniques qui doivent être respectées par le produit durant son cycle de vie, afin qu'il soit moins impactant pour l'environnement. Quand le concepteur définit le type de produit à concevoir (mécanique, électrique, électronique,...) [6] et propose un scénario de fin de vie, il a besoin de règles pour le guider dans la conception et pour prendre en compte des aspects techniques spécifiques. Ces règles indiquent des préconisations générales relatives aux matériaux des composants, à la structure du produit, aux directions d'assemblage / désassemblage, aux techniques de fixation, aux polluants,... Ces règles sont issues des approches DfX [16] [17], telle que la conception pour le désassemblage (DfD) [18], la conception pour le remanufacturing (DfRem) [19]. Elles doivent guider le concepteur lors de la prise en compte des exigences techniques pour chaque phase du cycle de vie du produit: pour la proposition de matières premières, afin de choisir des process propres, jusqu'à la définition des stratégies de fin de vie.

### 3.3 Règles environnementales

Nous avons vu que les règles techniques permettent de proposer des idées techniques, de résoudre des problèmes techniques, pour trouver des solutions fonctionnelles, pour adapter des approche de type « conception pour le remanufacturing ». Les règles environnementales sont plus liées aux exigences et recommandations liées à l'environnement. Elles font référence aux exigences du cycle de vie pour l'ensemble du produit : consommation d'énergie, impact environnemental, scénario de fin de vie, durée de vie du produit [6].... Elles doivent aider les concepteurs à considérer les exigences environnementales dans chaque phase de vie du produit. La mise en place de ces règles a pour objectif d'améliorer la prise en compte de l'environnement en phase de conception conceptuelle en donnant des objectifs à attendre aux concepteurs, qui ne sont pas uniquement liés à des performances techniques.

### 3.4 Exemples de règles DfE

Dans cette partie, nous donnons des exemples de règles (techniques ou environnementales) pour chaque groupe considéré.

- **Choisir les bons matériaux :** L'objectif dans ce groupe de règles est de guider le concepteur dans son choix de matériaux et de déterminer l'effet de ces choix sur l'ensemble du produit.

- **Règles techniques** : “Utiliser des matériaux recyclable”, “ Minimiser le nombre de types de matériaux dans le produit”
- **Règles environnementales** : “Adapter le choix des matériaux au cycle de vie des produits”
- **Améliorer les processus de conception** : l’objectif dans ce groupe de règles est d’optimiser l’utilisation de la matière et les l’énergie utilisée dans les process de fabrication en préconisant des stratégies de production propres.
  - **Règles techniques** : “Utiliser des pièces et composants standardisés pour faciliter l’assemblage”.
  - **Règles environnementales** : “Eviter l’utilisation de matériaux toxiques dans les process”.
- **Améliorer le transport** : L’objectif de ce groupe est d’améliorer les impacts liés aux emballages et au transport.
  - **Règles techniques** : “Adopter des formes modulaires standards pour des emballages réutilisables », “Utiliser des matières premières recyclables pour les emballages”.
  - **Règles environnementales** : “Réduire les distances de transport”.
- **Améliorer l’usage du produit** : L’objectif est de minimiser l’impact du produit et de ses consommables en usage.
  - **Règles techniques** : “Minimiser la consommation d’énergie lors de l’usage”
  - **Règles environnementales** : “Augmenter la durée de vie du produit en concevant des produits pour plusieurs cycles d’usage », “Etendre l’usage du produit à plusieurs utilisateurs dans la même phase d’usage »
- **Augmenter la durée de vie du produit** : L’objectif de ce groupe de règles est de minimiser les déchets en adoptant des stratégies de gestion des produits et matériaux en flux bouclés.
  - **Règles techniques** : “Améliorer le désassemblage du produit ».
  - **Règles environnementales** : “Préférer des cycle de vie bouclés”.

#### 4 Les indicateurs DfE utilisable en phase de conception conceptuelle

De nombreuses règles DfE existent et peuvent être utilisées pour évaluer un produit. Pour améliorer l’utilisation de ces règles, en particuliers lors des phases amont du processus de conception, nous avons :

- Identifié un modèle de produit qui supporte ces règles en phase de conception conceptuelle.
- Défini des facteurs relatifs aux règles de conception et des facteurs de pondération pour évaluer les solutions préliminaires du point de vue de l’environnement.

##### 4.1 Le modèle produit utilisé en phase de conception conceptuelle

Le modèle produit retenu a été déterminé au regard de la combinaison la plus simple dont on aurait besoin pour décrire une structure de produit. Cette structure simple est constituée de deux composants mis en lien par une relation (figure 4). Nous appelons ce modèle, modèle C,R,P [20] pour composant, Relation(s) entre composants et Produit.

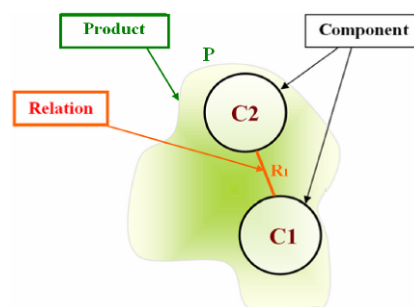


Figure (4): Le modèle (C,R,P)

### 4.2 Indicateurs

Pour évaluer les choix de conception, un triple indicateur a été mis en place (Kc, Kr, Kp) en lien avec le modèle (C, R, P). Pour chacun des trois indicateurs, un niveau est défini selon des caractéristiques spécifiques du produit identifiées par: des valeurs numériques (poids, nombre de composants,...) ou des descriptions littérales (matériaux, type de fin de vie,...). Une symbolisation a été proposée pour ces indicateurs (figure 5). Ils sont représentés par la lettre (K) et leur groupe d'appartenance est spécifié par une seconde lettre (C, R ou P). La troisième lettre est un (P) si l'indicateur a une relation spécifique avec les composants polluants. A la fin du nom de l'indicateur, figure l'abréviation de la caractéristique considérée, en petites lettres.

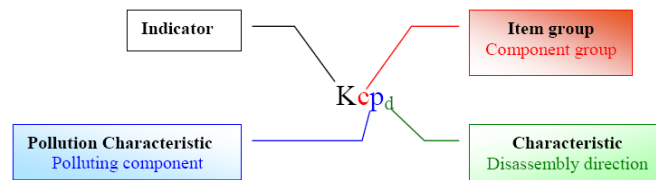


Figure (5): Symbolisation pour les indicateurs.

On a par exemple :

- Kcda qui est relatif à une caractéristique d'un composant et qui donne des informations sur les axes de désassemblage envisageables.
- Krtype qui est relatif à une caractéristique de relation et qui donne des informations sur les types de relations. Un bilan des types de relations a été réalisé sous la forme de listes présentée tableau (2).
- Kppcn qui est relatif à une caractéristique de produit et qui permet de caractériser le nombre de composants polluants dans le produit. Un exemple illustratif a été réalisé tableau (2) et dans cet exemple Kppcn = 3.

	Composants	Relations	Produit																		
<b>Nom</b>	Axes d'assemblage	Type de lien	Nombre des composants polluants																		
<b>Symbolisation</b>	<b>Kcda</b>	<b>Krtype</b>	<b>Kppcn</b>																		
<b>Valeur</b>	<b>Kcda = Liste (X, Y, Z)</b>	<b>Krtype = Liste (x1, x2, x3...)</b>	<b>Kppcn = Valeur (réel numéral)</b>																		
<b>Illustration</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Type de relation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Clipsage</td></tr> <tr><td>2</td><td>Presse</td></tr> <tr><td>3</td><td>Embouti</td></tr> <tr><td>4</td><td>Boulon &amp; écrou</td></tr> <tr><td>5</td><td>Filetage</td></tr> <tr><td>6</td><td>Pliage</td></tr> <tr><td>7</td><td>Rivet</td></tr> <tr><td>8</td><td>Collage</td></tr> </tbody> </table>	Type de relation		1	Clipsage	2	Presse	3	Embouti	4	Boulon & écrou	5	Filetage	6	Pliage	7	Rivet	8	Collage	
Type de relation																					
1	Clipsage																				
2	Presse																				
3	Embouti																				
4	Boulon & écrou																				
5	Filetage																				
6	Pliage																				
7	Rivet																				
8	Collage																				

Tableau (2) Exemple pour 3 indicateurs

### 4.3 Facteurs

Le facteur est un item évalué qui est lié aux règles DfE. Le facteur est évalué par une formule qui utilise les indicateurs présentés au paragraphe précédent et prend une valeur réelle comprise entre [0-1]. La symbolisation retenue pour les facteurs ressemble à celle des Indicateurs (figure 6). Le facteur est représenté par une lettre (F) et son groupe d'appartenance est spécifié par une seconde lettre (C, R ou P). La troisième lettre est un (P) si l'indicateur a une relation spécifique avec les composants polluants. A la fin du nom de l'indicateur, figure en petites lettres l'abréviation de la règle considérée.

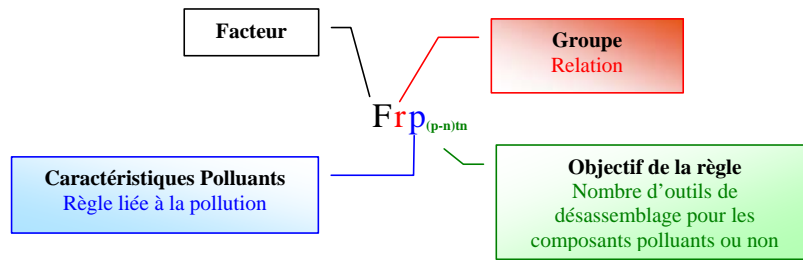


Figure 6: Symbolisation pour les facteurs

Voici un exemple de calcul de facteur, pour le facteur Fppsd (Similarity direction factor for the disassembly of Polluting components) qui est le facteur s'intéressant aux directions de désassemblage des composants polluant. Ce facteur appartient au groupe de facteurs caractérisant le produit (P). Il fait référence au nombre de composants polluants (Kppcn) et au nombre de composants polluants ayant la même direction de désassemblage (Kcpd) :

$$F_{ppsd} = \text{interval} [0-1] = \text{Max} (K_{cpd}) / (K_{ppcn}) \quad (1)$$

- Kcpd.: Nombre de composants polluants ayant la même direction de désassemblage
- Kppcn: Nombre de composants polluants

La figure (7) présente un exemple pour lequel nous allons calculer Fppsd. Dans cet exemple, nous avons un modèle de produit avec 7 composants et trois d'entre eux sont des polluants. Dans une première approche, chaque composant a sa propre direction de désassemblage, Fppsd = 1/3. Dans un deuxième temps, on considère que 2 des 3 polluants ont une direction de désassemblage commune, alors Fppsd = 2/3.

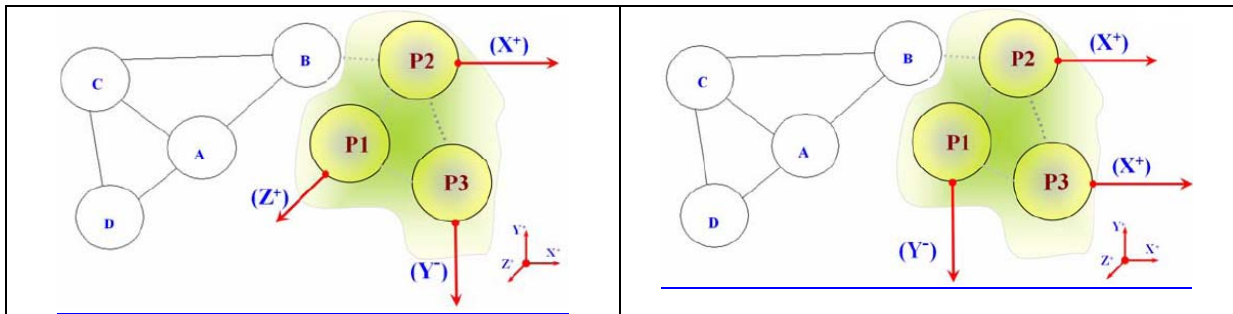


Figure 7: Exemple concernant Fppsd

#### 4.4 Facteur total et indicateur de pondération

Après avoir déterminé pour chaque règle, les facteurs correspondant et obtenu les valeurs pour chaque facteur, nous pouvons calculer le facteur total. Ce facteur total est calculé pour l'ensemble du produit et représente l'agrégation en une valeur de l'ensemble des facteurs. La valeur du facteur total est obtenue en pondérant chaque facteur (pondération définie par le concepteur) et en divisant la somme des facteurs pondérés par la somme des pondérations.

$F_{p_{tot}} = \text{interval} [0-1] = \frac{\sum_{i=1}^n I_i * F_i}{\sum_{i=1}^n I_i}$	<p><b>F<sub>ptot</sub></b>: Facteur total pour le produit (P)  <b>I<sub>i</sub></b>: Pondération pour le facteur (F<sub>i</sub>)  <b>F<sub>i</sub></b>: Facteur lié à la règle à réaliser  <b>n</b>: Nombre de facteurs utiles</p>
---	--



Une bonne justification des facteurs peut être réalisée si ces facteurs sont liés à des critères évidents issus de bases de données connues (standards, indicateurs limites ou de référence), ou à la spécificité de chaque produit et à l'expérience des concepteurs. La valeur des indicateurs de pondération est définie par le concepteur lui-même. Il choisit cette valeur selon les besoins des clients et les spécifications de la conception. L'indicateur de pondération peut ainsi prendre une valeur comprise entre 0 et 10. Le facteur total fournit une première estimation concernant l'adaptation du produit aux contraintes environnementales et ceci dès la phase de conception conceptuelle. Un exemple d'application est présenté dans le paragraphe suivant.

## 5 Application à la conception d'un réfrigérateur

Dans cette étude de cas, nous considérons la conception d'un réfrigérateur. Les composants principaux du réfrigérateur ont été définis lors de la phase de conception conceptuelle (Table 3). Un bloc diagramme fonctionnel a été réalisé (figure 9) décrivant les composants fonctionnels et leurs relations, nécessaires pour définir le modèle (C,R,P).

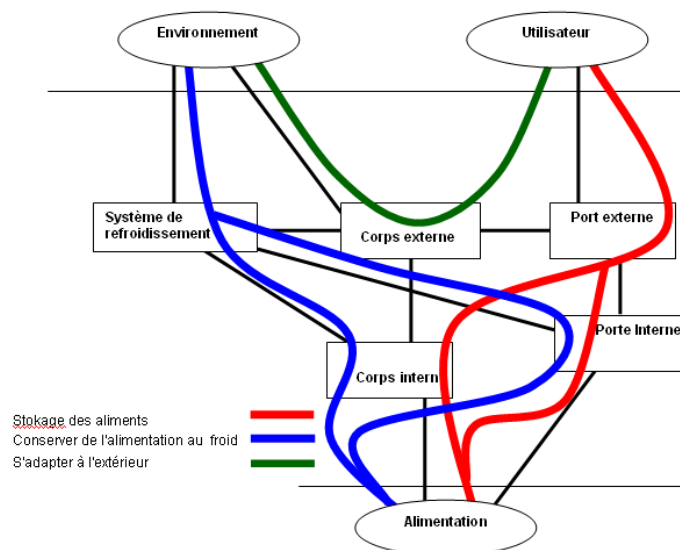


Figure (9): Le bloc diagramme fonctionnel pour le réfrigérateur

	Composant	Type de Matériel	Scénario Fdv
C1	Porte externe	Acier	Recyclage
C2	Porte Interne	Polystyrène	Incinération
C3	Corps externe	Acier	Recyclage
C4	Corps interne	Polystyrène	Incinération
C5	Système de refroidissement	Multi-matériaux	Non défini

Table (3): Matériaux et fin de vie des composants pour le réfrigérateur

Pour illustrer notre approche, nous considérons dans cet exemple les règles relatives au groupe : « Choisir les bons matériaux »

Pour évaluer la règle « Minimiser le nombre de types de matériaux dans le produit » nous avons défini le facteur  $F_{pms}$ : (facteur « matériaux similaires »): La valeur de ce facteur est déterminée à partir du nombre de composants faits du même matériau :

$$F_{pms} = \text{Max } F_{pms}(\text{numéro du matériau}) = (K_{c_{Mat}}) / (K_{pnc}) \quad (3)$$

En considérant :

$$F_{pms}(1) + F_{pms}(2) + F_{pms}(3) + \dots = 1 \quad (4)$$

**K<sub>emat</sub>**: indique le nombre de composants ayant le même matériau

**K<sub>pnc</sub>** : Nombre de composants

**F<sub>pms</sub>(1)** : Pourcentage du matériau (M1) dans le produit (P).

**F<sub>pms</sub>(2)** : Pourcentage du matériau (M2) dans le produit (P).

**F<sub>pms</sub>(3)** : Pourcentage du matériau (M3) dans le produit (P).

...

Dans notre étude,  $F_{pms} = F_{pms}(\text{polystyrène}) = F_{pms}(\text{acier}) = 40\% (2/5)$ . Si les concepteurs appliquent la règle et augmentent le nombre de composants ayant le même matériau alors  $F_{pms}$  va augmenter. Par exemple, si ils changent le matériau de la porte extérieure en polystyrène plutôt qu'en acier, le facteur devient  $F_{pms} = 60\% (3/5)$ . Ceci nous indique que le produit respecte la règle avec un pourcentage de 60% après modification d'un choix de conception.

Pour la règle "Utiliser des matériaux recyclables" nous avons défini le facteur  $F_{sEoLns}$  (similarité de la fin de vie (EoL) pour les composants). La valeur de ce facteur est déterminée à partir du nombre de composants ayant la même stratégie de fin de vie.

$$F_{pEoLns} = (K_{pEoLns}) / (K_{pnc}) \quad (5)$$

En considérant:

$$F_{pEoLns}(1) + F_{pEoLns}(2) + F_{pEoLns}(3) + \dots = 1 \quad (6)$$

**K<sub>pEoLns</sub>** : indique le nombre de composants ayant la même fin de vie

**K<sub>pnc</sub>** : Nombre de composants.

**F<sub>pEoLns</sub>(1)** : Pourcentage de composants ayant la fin de vie « EoL »(1) dans le produit.

**F<sub>pEoLns</sub>(2)** : Pourcentage de composants ayant la fin de vie « EoL »(2) dans le produit.

**F<sub>pEoLns</sub>(3)** : Pourcentage de composants ayant la fin de vie « EoL »(3) dans le produit.

...

Dans notre étude de cas,  $F_{pEoLns} = 40\% (2/5)$  et cette valeur fait référence aux deux scénarios de fin de vie (Recyclage et incinération). Si les concepteurs appliquent la règle et augmentent le nombre de composants ayant la même fin de vie (recyclable de la porte intérieure au lieu de son incinération) le facteur devient  $F_{pEoLns} = 80\% (4/5)$ .

## 6 Conclusion

Pendant les dernières étapes de la conception, il est difficile de revenir sur des choix de conception, en particulier pour prendre en compte des aspects environnementaux, car le produit est quasiment finalisé et que des modifications engendreraient des coûts et délais supplémentaires. Mais actuellement, les aspects environnementaux sont principalement considérés pendant ces phases d'étude détaillées par le biais de la prise en compte des scénarios de fin de vie et la réalisation d'ACV. Pour toutes ces raisons, nous avons proposé une méthode d'évaluation du produit pour aider les concepteurs à prendre en compte les aspects environnementaux plus tôt, pendant les phases de conception conceptuelle. Cette évaluation se base sur les règles DfE qui ont été sélectionnées et traduites en facteur quantifiables. Deux principaux apports ont été réalisés :

- Les exigences environnementales ont été traduites sous la forme de règles (règles DfE) utilisables en phase de conception conceptuelle.
- ces règles ont été traduites en facteurs. Chaque facteur est évalué afin de vérifier si la règle DfE est respectée ou non afin d'obtenir une estimation globale du produit.

Des analyses plus approfondies doivent toujours être réalisées tout au long du processus de conception pour valider/optimiser le produit. Mais avec cette première évaluation, nous sommes convaincus que les concepteurs iront plus rapidement vers l'établissement d'un bon compromis concernant leur produit. La suite de ces travaux va consister à réaliser des études de cas, afin de démontrer comment ces règles peuvent être utilisées et à montrer leur efficacité. Pour cela, nous

aurons certainement à confronter les solutions obtenues par l'utilisation de notre démarche à celles obtenus sans cette approche et à valider cette comparaison au travers d'une évaluation quantitative de type ACV, réalisable une fois que les solutions sont finalisées.

## Références

- [1] Beitz, G.P.a.W., Engineering Design (A Systematic Approach). 3rd edition 2007: p. 39.
- [2] Haoues N., Zwolinski P., Brissaud, D., How to integrate End of Life Disassembly Constraints in Early design stage? Int. Sem. CIRP LCE Belgrad, 2004.
- [3] Crow, K., Value analysis and function analysis system technique. DRM Associates, 2002.
- [4] Betz M., Schoech H., Design for Environment (Dfe)-Important Tool Towards An Environmental Efficient Product Development. October 2001.
- [5] Kurk, F., Eagan P., The value of adding design-for-the-environment to pollution prevention assistance options. Journal of Cleaner Production, 2008. 16(6): p. 722-726.
- [6] UT, V., ECODESIGN PILOT -<http://www.ecodesign.at/pilot/ONLINE/ENGLISH/>. 2000.
- [7] [http://en.wikipedia.org/wiki/Life\\_cycle\\_assessment](http://en.wikipedia.org/wiki/Life_cycle_assessment), W., Life cycle assessment. 2008.
- [8] <http://www.pre.nl/default.htm>, P.C., What is Life Cycle Assessment? 2008.
- [9] Luttrupp C., J.L., EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. Journal of Cleaner Production, 2006. 14(1396e1408).
- [10] Ammenberg J., Sundin E., Products in environmental management systems: drivers, barriers and experiences. Journal of Cleaner Production, 2005. 13(4): p. 405-415.
- [11] Shinji Kawamoto, M.A., Yuji Ito, Eco-Design Guideline for Software Products. IEEE., 2005. 1-4244(0081).
- [12] Luttrupp, C., Lagerstedt J., EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. Journal of Cleaner Production, 2006. 14(15-16): p. 1396-1408.
- [13] Union, E., 15.10.30.30 Waste management and clean technology, 2008.
- [14] Scipioni, A., et al., The ISO 14031 standard to guide the urban sustainability measurement process: an Italian experience. Journal of Cleaner Production, 2008. 16(12): p. 1247-1257.
- [15] Stoyell, J.L., et al., Results of a questionnaire investigation on the management of environmental issues during conceptual design. A case study of two large made-to-order companies. Journal of Cleaner Production, 1999. 7(6): p. 457-464.
- [16] Brissaud D., Zwolinski P., Designing products that are never discarded. Designing products that are never discarded, 2006: p. 225.
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_for\\_X](http://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_X), W., Design for X. 2007.
- [18] HAOUES N., Contribution à l'intégration des contraintes de désassemblage et de recyclage dès la première phase de conception de produits. ." (2006).
- [19] Zwolinski, P., Lopez-Ontiveros M.-A., Brissaud D., Integrated design of remanufacturable products based on product profiles. Journal of Cleaner Production, 2006. 14(15-16): p. 1333-1345.
- [20] Hayder ALHOMSI, Developing a method for elaboration the scenarios related with sustainable products lifecycle, master thesis, 2007.