

Influence des choix de conception sur le désassemblage pour l'environnement

Nizar Haoues ⁽¹⁾ ; Alain Cornier ⁽¹⁾ ; Peggy Zwolinski ⁽²⁾

⁽¹⁾ Institut Conception, Mécanique et environnement, ENSAM – BP 295 – Savoie Technolac, 73375
LE Bourget du lac Cedex – France, phone : 04 79 25 36 55 Fax : 04 79 25 36 70

⁽²⁾ Laboratoire Sols Solides Structures, INPG, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, France, phone: 04-76-
82-52-74, fax : 04-76-82-70-43

E-mail: nizar.haoues@chambery.ensam.fr

Résumé

Aujourd'hui, il existe de plus en plus d'incitations sur le traitement des produits en fin de vie ce qui conduit à réfléchir à des alternatives telles que le désassemblage des produits. En effet, pendant le processus de valorisation du produit, le démontage rend possible la réutilisation, la re-fabrication du produit et de ses composants et prépare quelques pièces au recyclage ; le désassemblage est également essentiel pendant le cycle de vie du produit, notamment pour la réparation et la maintenance.

Afin de faciliter le processus de désassemblage il est nécessaire de s'intéresser à l'amélioration de la démontabilité d'un produit au cours de sa phase de conception. Dans cet article, les paramètres de conception qui influencent l'aptitude du produit à être désassemblé sont identifiés. Ces paramètres sont étudiés dans le but de montrer l'importance de leur prise en compte durant la phase de conception. Pour ce faire, un produit spécifique est considéré et plusieurs paramètres (par exemple le type de matière, le type de liaison) qui influencent la démontabilité du produit sont étudiés.

Plusieurs options de conception sont analysées et l'influence de la démontabilité du produit est établie.

Mot-clés : Désassemblage, Valorisation, Conception, Cycle de vie, Produit en fin de vie.

Abstract

Nowadays, more and more products are recovered at their end-of-life that asks the question of product disassembly. During the recovery processes of a product, dismantling is one of the most famous process, retained because: - it gives the opportunity to re-use and re-manufacture the product and its components and - it prepares some parts to be recycled; dismantling is also be important during the product life-cycle, specially to repair and maintain it.

In order to facilitate the disassembly process, the ability of a product to be disassembled should be addressed during the design of the product. In this paper, design parameters that influence the product's abilities to be disassembled are identified. These parameters are then discussed in order to show the importance to take them into account during the design stage. To do that, a specific product is considered and several parameters that influence the product's dismantability are studied. (e.g. material type, joining type,...)

Several re-design options are then proposed and their influence on the dismantability of the product is established.

Keywords: Disassembly, Recovery, Design, Life Cycle, and Product end-of-life.

1 Introduction

Depuis des années, le concept du recyclage ne cesse d'évoluer en fonction des méthodologies, des procédés, du prix, de la législation, etc. Cependant de nombreuses contraintes viennent peser sur la démarche de recyclage d'un produit complexe, comme celles liées à la dépollution, au broyage total du produit, au *désassemblage*. Ceci conduit à réfléchir à de nombreux scénarios concernant le traitement des produits en fin de vie. Les produits en fin de vie peuvent être valorisés en suivant un processus classique de recyclage (broyage, tri, récupération) ou un processus basé sur le désassemblage avant le broyage, qui contribue à une meilleure qualité du matériau recyclé (Cf. figure 1). Les contraintes environnementales ont amené, au cours de cette dernière décennie, plusieurs chercheurs à s'interroger sur l'efficacité des filières de recyclage et de leurs impacts sur l'environnement, sur l'économie et la qualité des matériaux recyclés. Il est alors apparu que le désassemblage peut considérablement améliorer la valorisation en fin de vie du produit et qu'il permet de créer d'autres modes de valorisation (re-fabrication « *remanufacturing* » et la réutilisation des composants).

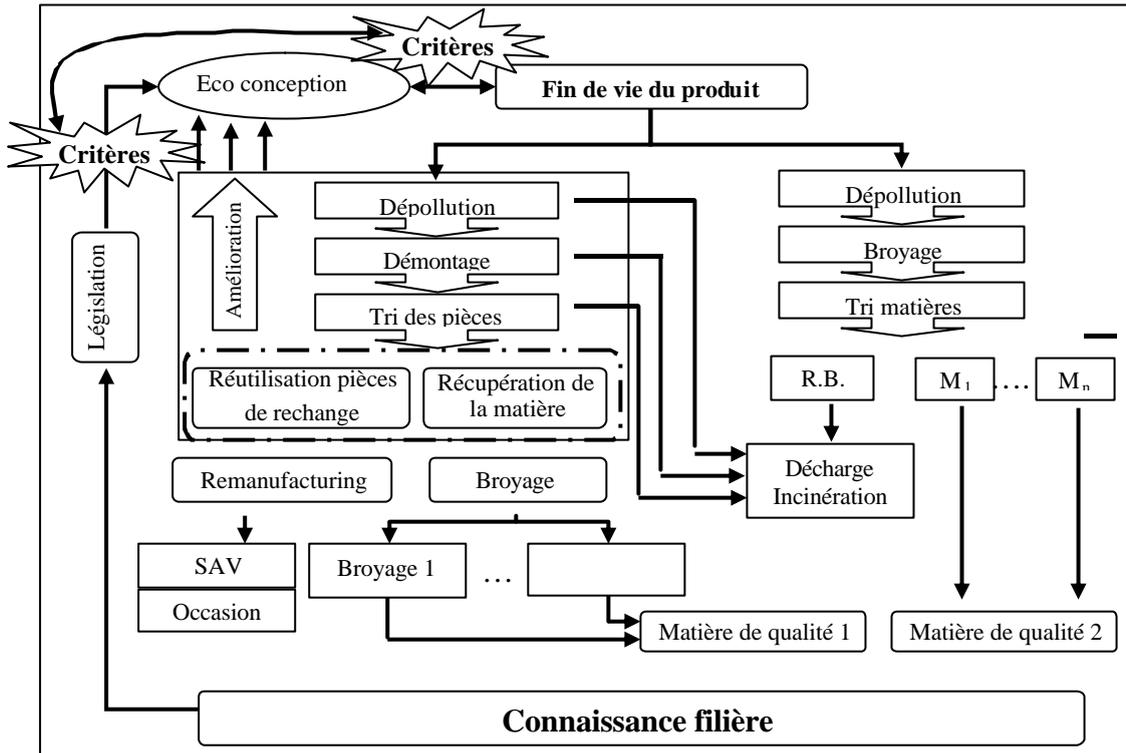


Figure 1 : Différents scénarii de fin de vie d'un produit

Face aux nouvelles directives européennes sur l'environnement et le traitement des produits en fin de vie chaque constructeur est devenu responsable des performances environnementales tout au long du cycle de vie du produit. La multiplicité des lois sur l'environnement oblige ainsi chaque industriel à chercher les meilleures méthodes pour la dépollution, la réutilisation et le recyclage des produits avant leur mise en production. Mais un produit démontable et recyclable ne garantit pas toujours un retour de bénéfices. Seuls les produits qui ont été développés avec une optique de conception pour le désassemblage et le recyclage peuvent donner de meilleures performances environnementales et économiques. Nous pouvons prendre l'exemple des liaisons réversibles qui nous permettent d'extraire les différents composants sans les endommager dans un but de réutilisation ou de tri de la matière. Dans ce cadre, plusieurs entreprises industrielles se penchent sur l'identification et l'amélioration des paramètres de désassemblage afin de développer des solutions techniques pour un désassemblage plus facile tout en respectant les contraintes fonctionnelles, techniques et économiques. Dans la phase de conception toutes les contraintes doivent être traduites en paramètres techniques.

Dans cet article, nous présenterons une méthode d'analyse du désassemblage du produit. L'analyse est basée sur des paramètres technologiques. La problématique est donc de savoir comment le choix des paramètres au cours de la conception influence sur le désassemblage des produits en fin de vie.

2 L'objectif du désassemblage

L'activité de désassemblage peut être définie comme une méthode systématique pour la séparation du produit en parties, composants, sous-ensembles ou autres groupements [Gup 94]. La contrainte de désassemblage résulte de l'influence des différents paramètres techniques et environnementaux du produit. En effet, suivant ces paramètres on peut choisir le mode de désassemblage (destructif, non destructif, etc) et celui de valorisation (réutilisation, recyclage, etc.) des produits en fin de vie. Le désassemblage peut être partiel (seules quelques pièces sont extraites) ou complet (le désassemblage destructif par exemple). Bien que le désassemblage puisse être considéré comme l'inverse de l'assemblage, pour les produits simples, ce n'est pas toujours le cas pour le désassemblage des produits en fin de vie. Des regroupements de composants en fonction de leurs matières et mode de valorisation sont nécessaires pour l'optimisation du désassemblage d'un point de vue économique. Cette action d'optimisation nous conduit à chercher une séquence de désassemblage différente de la séquence inverse. Il en résulte des caractéristiques opérationnelles de désassemblage et d'assemblage différentes suivant le mode de valorisation du produit.

Tani et coll. [Tan 97] comparent l'assemblage et le désassemblage et décrivent les étapes du processus de désassemblage. Selon leurs observations, le désassemblage du produit peut être fait par la découverte du chemin facile et optimal, tandis que le processus et l'ordre des séquences d'assemblage sont bien optimisés et clairement définis au cours de la conception.

La différence opérationnelle et technique entre l'assemblage et le désassemblage montre que les connaissances sur la gamme d'assemblage ne peuvent pas être utilisées directement pour la gamme de désassemblage du produit. Ainsi, il faut développer de nouvelles méthodes pour la détermination des séquences de désassemblage, en accord avec les buts de ces actions (maintenance, recyclage, etc.). Les recherches dans le domaine du désassemblage peuvent être regroupées suivant deux axes : le premier axe est l'évaluation du désassemblage au cours de la conception et le deuxième est la génération et l'optimisation des gammes de désassemblage. Notre but est d'améliorer l'aptitude de la démontabilité du produit afin qu'il soit mieux optimisé. Cela se traduit par les recommandations suivantes lors de la conception des produits :

- Utiliser des liaisons plus faciles à désassembler et d'un accès amélioré
- Minimiser le nombre de matières utilisées dans le produit
- Faciliter l'accessibilité aux composants de valeur et l'extraction des polluants
- Concevoir des produits modulaires

Mais, pour avoir un produit facile à désassembler, il ne suffit pas d'appliquer les recommandations précédentes, il faut avoir une vision « désassemblage » du produit sur l'ensemble de son cycle de vie. Cela permet d'analyser et d'évaluer le niveau de complexité du désassemblage suivant les différents scénarios de valorisation.

Dans une démarche d'évaluation du désassemblage une analyse préalable est nécessaire. Cette analyse consiste à identifier et à définir les différentes interactions entre les différents constituants du système. L'évaluation du désassemblage dépend de plusieurs paramètres. Ces paramètres sont généralement de trois types : les paramètres techniques, les paramètres des filières de valorisation et les paramètres économiques. L'évaluation du désassemblage est donc une agrégation de différents critères : techniques, économiques et environnementaux. La complexité du désassemblage nécessite, avant toute évaluation, de définir les paramètres à prendre en compte pour l'évaluation du désassemblage. Un tableau dans lequel sont résumés les différents paramètres techniques révélant la complexité du désassemblage est présenté ci-dessous.

| PRODUIT | | | |
|---------------------------|---|---|--|
| | Matériaux | Liaisons | Structures |
| Paramètres produit | Nombre de différents types de matériaux | Nombre des liaisons | Nombre des composants |
| | Sous-ensembles inséparables dont la matière est compatible ou identique | Nombre d'outils nécessaires pour le désassemblage | Identification des modules du produit |
| | Identification des types de matière et de composants similaires | Nombre des liaisons faciles à désassembler | Identification des parties non recyclables |
| | Matériaux recyclables | Accessibilité aux points de liaisons | Identification des parties de grande valeur |
| | Matériaux recyclés | Accessibilité aux pièces | Directions du désassemblage |
| | Incompatibilité des étiquettes avec les pièces en plastiques | Nombre des liaisons irréversibles/réversibles | Volume des composants par rapport au produit |

| Identification des différentes substances toxiques dans le produit | Type de liaisons | Disposition des composants dans le produit |
|--|------------------|--|
|--|------------------|--|

Tableau 1 : Les paramètres d'évaluation du désassemblage [VDI 2243]

La notion de la complexité de désassemblage reste floue tant que l'on n'a pas défini les facteurs dont la complexité est dépendante ainsi que les objectifs de cette étude de désassemblage. Comme on l'avait déjà indiqué, le but ici est d'évaluer le paramètre désassemblage d'un produit pour le rendre facile à traiter en fin de vie.

Comme mentionné précédemment, la complexité de désassemblage dépend de plusieurs critères. Nous avons sélectionné dans cette étude ceux qui sont les mieux définis pour exprimer le désassemblage : les critères techniques, les critères géométriques et les temps de chaque opération de désassemblage. Au cours de cette étude, seuls les critères techniques et géométriques ont été pris en compte. D'autres critères non négligeables sur le résultat du désassemblage peuvent être pris en compte dans la phase de fin de vie du produit :

- Les critères liés aux directives des produits en fin de vie et à l'environnement [BRU 02]
- Les critères liés aux filières de valorisation (réutilisation, recyclage, incinération et mise en décharge)
- Les critères liés aux opérations de désassemblage (optimisation des séquences de désassemblage)

3 Méthodologie d'étude

Plusieurs méthodologies ont été développées pour étudier le désassemblage des produits en fin de vie. Ces méthodologies peuvent être regroupées en deux ensembles. Le premier ensemble est l'étude d'optimisation du désassemblage en fin de vie du produit [KEN 01] [SAL 99] et le deuxième ensemble est l'amélioration de la désassemblabilité au cours de la conception du produit [VDI 2243] [DOW 95]. Notre but est de développer et de mettre en œuvre une méthodologie qui prend en compte les différents scénarios de valorisation. Le but de l'exemple (figure 2) est d'étudier l'évolution de la fonction désassemblage en fonction des paramètres suivants : les matières des composants, les liaisons entre les composants et la structure du produit. Les résultats obtenus pourront servir de base aux concepteurs afin de trouver des solutions pour rendre leur système plus facile à désassembler avec la considération des contraintes techniques et économiques [ERI 01].

3.1 Etude de cas

L'exemple construit est un système qui contient vingt composants dont quatre sont utilisés pour assurer la fixation d'autres composants (figure 3). Tous les composants sont constitués de matériaux variés (plastiques, métaux ferreux, métaux non ferreux). Dans la conception existante, le nombre de liaisons est de dix huit dont huit sont réversibles et dix sont irréversibles. Dans ce système, nous avons alloué à chaque composant le mode de valorisation, (réutilisation, recyclage, incinération, mise en décharge) décidé par le concepteur du système.

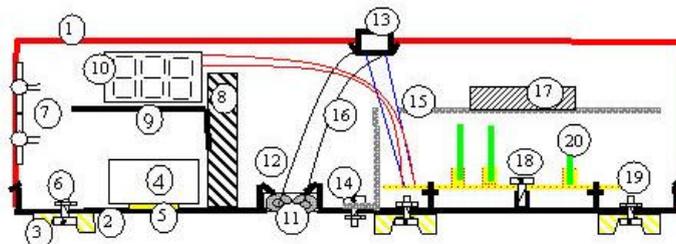


Figure 2 : La conception d'étude

L'étude se résume en trois étapes essentielles :

Première étape (figure 3) : Elle consiste en la collecte des données nécessaires pour établir la vue désassemblage. Ces données sont :

- Les types de liaisons entre différents composants
- Le poids et la matière de chaque composant
- Le mode de valorisation alloué à chaque partie du produit

| N° | Désignation | Composition | Poids g | Quant |
|----|-------------|-------------|---------|-------|
| 1 | Capot | Ferreux | 200 | 1 |
| 2 | Support | ABS | 120 | 1 |
| 3 | Pie de | Polymère | 18 | 3 |
| 4 | Préc | Cuivre | 36 | 1 |

| Liaison | Type de liaison | Eléments de liaisons |
|---------|-------------------|----------------------|
| 1-2 | Clipsage | |
| 1-10 | Collage | Colle |
| 1-18 | Clipsage | |
| 1-7 | Collage | Colle |
| 2-18 | Visage | Vis écrous 14 |
| 2-8 | Collage | Colle |
| 2-3 | Visage | Vis écrous 6 |
| 2-4 | Collage | Adhésif 5 |
| 2-19 | Visage | Vis 18 |
| 2-12 | Clipsage | |
| 10-16 | Soudure | Etain (matière) |
| 18-16 | Soudure | Etain (matière) |
| 9 | Soudure par point | |
| | Insertion ajustée | |

Figure 3 : Les paramètres d'étude de désassemblage

- *Deuxième étape* : Elle consiste en l'élaboration du processus de désassemblage avec une détermination du temps de désassemblage prenant en compte le mode de valorisation.

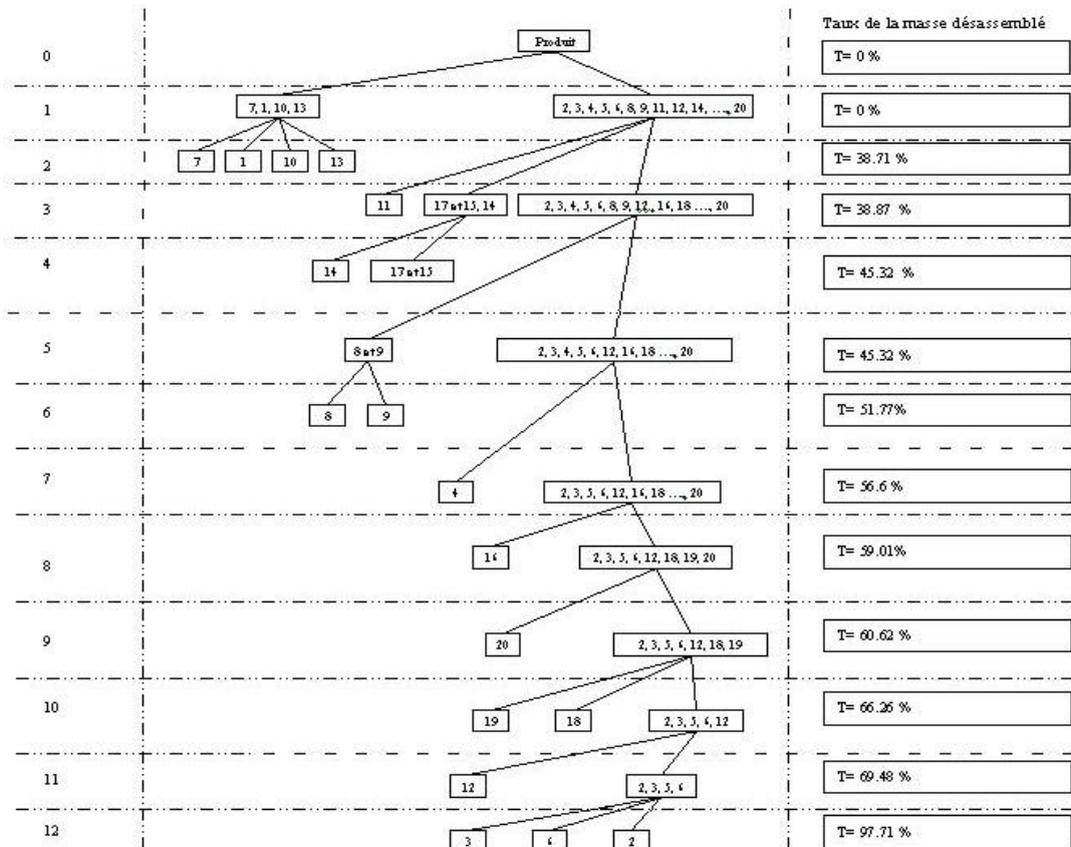


Figure 4 : Processus du désassemblage

Nous avons mis en place un outil (figure 4) qui nous permet de représenter les informations liées à nos choix de désassemblage. La séquence de désassemblage est représentée par un arbre au centre du graphe. Cet arbre indique par niveaux, les différents composants désassemblés. Dans la colonne de gauche nous avons indiqué les différents niveaux de désassemblage identifiés à partir de la gamme de désassemblage et de celle de droite, nous avons indiqué le taux de la masse désassemblé correspondant à chaque niveau

Troisième étape : elle consiste à identifier les points faibles du désassemblage du produit. C'est une étape primordiale pour l'amélioration de la désassemblabilité des produits. En effet, l'identification des points faibles est basée sur les résultats obtenus au cours de l'étape précédente. Parmi les paramètres examinés, on citera par exemple le rapport temps / type de liaison ou niveau de désassemblage par rapport à la masse désassemblée du produit.

Cette démarche d'analyse a été appliquée sur trois alternatives de conception pour voir l'évolution du désassemblage en fonction des paramètres du produit. Ces alternatives sont :

- Première alternative : la structure de base du produit (figure 2) reste la même, seuls les matériaux constitutifs des composants changent. Le but de changement de la matière est d'obtenir des groupes de composants qui sont en liaison et les considérer comme un sous-ensemble de point de vue matière. Les quatre sous-ensembles obtenus sont : A {1, 7, 10, 13} ; B {2, 3, 6} ; C {15, 17} ; D {8, 9}.
- Deuxième alternative : dans cette conception, seuls les types des liaisons ont changé. La matière des composants et la structure du produit sont restées les mêmes.
- Troisième alternative : dans cette conception les liaisons et les matériaux constitutifs des composants ont été changés.

Le but de ces changements est de voir l'évolution du taux de masse désassemblable par rapport au niveau et au temps du désassemblage. Par ces différentes alternatives nous avons cherché à optimiser la gamme du désassemblage.

Les résultats obtenus seront transférés sur une courbe avec en abscisse le temps nécessaire au désassemblage et en ordonnée la masse désassemblée.

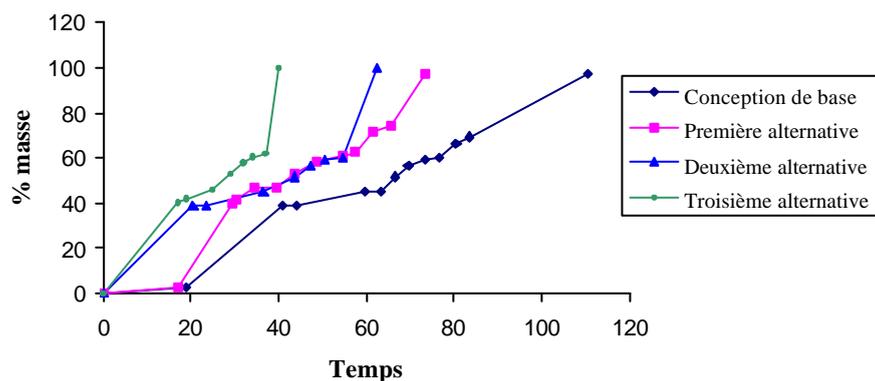


Figure 5 : Evolution de la masse en fonction du temps

3.2 Interprétation des résultats

Nous venons d'analyser l'évolution de la masse désassemblée en fonction du temps. Les résultats montrent qu'en fonction des choix de matières des composants et de liaisons entre les différentes parties du système conçu, l'aptitude du produit à être désassemblé évolue.

Les courbes précédentes sont le résultat de notre analyse de désassemblage. Ces courbes montrent clairement la dépendance du désassemblage avec les paramètres techniques du système (liaisons, matières etc.). On remarque qu'un choix pertinent des paramètres de liaisons et des matières permet d'effectuer une première optimisation du temps de désassemblage.

4 Conclusion

Plusieurs améliorations du désassemblage peuvent être effectuées au cours de la phase de conception. Le désassemblage pour le recyclage est directement dépendant des caractéristiques techniques du système définis au cours de la conception. Cette étude montre que les modifications des paramètres de liaisons et de matières peuvent rendre le produit plus facile et donc plus rentable à désassembler et à recycler.

Il est important de construire une stratégie de choix de paramètres produit au cours de sa conception. Cette stratégie peut prendre la forme de recommandations et de règles de conception [VDI 2243] ou la forme d'outils d'évaluation multicritères basés sur des critères technologiques, environnementaux et économiques du produit.

Par ailleurs, même si l'approche désassemblage pour le recyclage rend le désassemblage plus facile et plus rentable elle peut parfois s'avérer contradictoire avec les contraintes fonctionnelles du produit.

Cette étude nous permettra, dans la suite de nos travaux sur le démantèlement des produits en fin de vie, de développer et de définir les différents critères et modèles d'évaluation du désassemblage au cours de la conception du produit.

Remerciements

Nous remercions la société TEFAL et la région Rhône Alpes au travers du projet Concevoir Propre pour leur soutien et collaboration dans la réalisation de ce travail.

Références

- [BRU 02] European Union - *Draft proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on establishing a framework for Eco-design of End Use Equipment: Bruxelles, Belgique (2002)*
- [DOW 95] Tracy Dowie and Matthew Simon. «*Guidelines for designing for disassembly and recycling*». Conference "Recovery, Recycling, Re-integration" Switzerland 1995.
- [ERI 01] Erik S.«*Enhanced product design facilitating remanufacturing of tow household appliances – a case study*». International conference on engineering design 2001 ICED01 GLASGOW.
- [GUP 94] Gupta, S. M. and Taleb, K. N. «*Scheduling disassembly*» International Journal of Production Research, 32(8), 1994, pp1857-1866.
- [KEN 01] Kendra E. Moore; Askiner Güngör; Surendra M. Gupta. «*Petri net approach to disassembly process planning for products with complex AND/OR precedence relationships*». European Journal of Operational Research, 200.
- [SAL 99] Salomonski, N. and E. Zussman (1999). «*On-line predictive model for disassembly process planning adaptation*» Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 15(3): 211-220.
- [TAN 97] Tani, K. and Güner, E. «*Concept of an autonomous disassembly system using behaviour-based robotics*» Advanced Robotics, 11(2), 1997, pp187-198.
- [VDI 2243] VDI 2243. «*Konstruieren recyclingerechter technischer produkte*» Beuth Verlag, Berlin German