



HAL
open science

Indicateurs d'évaluation de la désassemblabilité des produits

Hibo Said-Chekh-Waiss, Peter Mitrouchev, Michel Tollenaere

► **To cite this version:**

Hibo Said-Chekh-Waiss, Peter Mitrouchev, Michel Tollenaere. Indicateurs d'évaluation de la désassemblabilité des produits. CFM 2013 - 21ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2013, Bordeaux, France. hal-03440639

HAL Id: hal-03440639

<https://hal.science/hal-03440639v1>

Submitted on 22 Nov 2021

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.

Indicateurs d'évaluation de la dés-assemblabilité des produits

H. SAID CHEKH-WAISS, P. MITROUCHEV, M. TOLLENAERE

Univ. Grenoble Alpes, G-SCOP, F-38000, Grenoble, France
CNRS, G-SCOP, F-38000 Grenoble, France

Résumé :

Afin d'aider les concepteurs à considérer le désassemblage dans leurs activités de conception, une méthode pour l'évaluation du désassemblage des produits est proposée. Des critères caractérisant la dés-assemblabilité d'un produit sont identifiés. À chaque critère est attribué un coefficient, ainsi proposant un indice de dés-assemblabilité (ID) comme indicateur en conception permettant d'évaluer le niveau de dés-assemblabilité d'une solution générée par le concepteur. Cet indice est calculé comme une moyenne pondérée des indicateurs d'évaluation de la dés-assemblabilité du produit. Ainsi, les critères proposés sont en phase d'être intégrés dans un outil d'aide de prise de décisions en conception. La méthode proposée utilise des informations comme la liste de sous-ensembles (modules), l'arborescence des composants, la géométrie des pièces, les liaisons fonctionnelles entre composants et modules, les propriétés des composants (masse volumique, traitement de surface,...) contenues dans une base de données. Elle a été testée sur plusieurs produits. A titre d'exemple, une étude de cas sur une agrafeuse de bureau est présentée.

Abstract :

In order to help designers considering disassembly in their activities, a method for evaluating the disassembly of products is proposed. Criteria characterizing the disassembly level of a product are identified. A coefficient is assigned to each criterion, thus offering an index ID as an indicator allowing to assess the disassembly level of a solution generated by the designer. This index is calculated as a weighted average of indicators for assessing the disassembly level of a product. Thus, the proposed criteria are in the process of being integrated into a tool for decision-making in design. The proposed method uses information such as the list of subsets (modules), the component tree, part geometry, functional contacts between components and modules, component properties (density, surface treatment,) contained in a database. It has been tested on several products. For example, a case study on a desktop stapler is presented.

Mots clefs : conception, désassemblage, critères, indicateurs d'évaluation

1 Introduction

Avec la prise de conscience des enjeux de développement durable et du renforcement du cadre législatif relatif à la gestion des déchets et des volumes de produits en fin de cycle de vie, l'urgence de mettre en place des modalités de développement à la fois performantes sur le plan économique, responsables sur le plan social et respectueux de l'environnement devient essentiel pour les concepteurs. Une des stratégies qui se présentent à ces derniers, est de concevoir les produits dans une vision de réutilisation des composants, recyclage des matières et de remanufacturing [1, 2]. Cette stratégie implique le désassemblage des produits. Dans ce contexte, les concepteurs sont amenés à intégrer de plus en plus tôt, les contraintes liées au désassemblage du produit dans le processus de conception afin de garantir sa dés-assemblabilité. *Mais comment définir et évaluer la dés-assemblabilité d'un produit ? Quelles sont les étapes à suivre afin d'intégrer la dés-assemblabilité dans les phases préliminaires de conception ? Comment aider le concepteur à améliorer une solution qui ne satisfait pas la contrainte de dés-assemblabilité ?* Au regard des bénéfices (économiques et environnementaux) liés à la pratique du désassemblage, plusieurs chercheurs ont développé des travaux de conception pour le désassemblage (DFD : design for disassembly) visant l'amélioration de la dés-assemblabilité des produits. Simon et Dowie dans [3, 4] proposent un ensemble de règles génériques pour la conception de produits facilement désassemblables : simplification et structuration du produit, réduction de variétés. Kroll et Hanft [5] et Kroll et Brad [6] ont proposé une méthode développée après trois années d'expériences de désassemblage manuel de produits électriques (ustensiles électriques, ordinateur,...) permettant d'évaluer l'aptitude du produit à être facilement désassemblé. La dés-assemblabilité du produit est évaluée à partir d'un

tableau contenant des données relatives à différents aspects du désassemblage (accessibilité, force nécessaire au désassemblage, précision du positionnement, temps opératoire). À chaque paramètre est associé un ensemble de scores quantifiant la difficulté de chaque opération. Ces scores sont obtenus à partir de l'estimation de temps d'exécution des tâches déterminées en utilisant le système MOST (maynard operation sequence technique). Une fois le tableau complété, deux métriques sont calculées : *efficacité de la conception* et *du temps opératoire prévisionnel de désassemblage*. Dans leurs travaux, Desai et Mital [7] abordent la difficulté de désassemblage en proposant des échelles pondérées pour plusieurs facteurs, tels le degré d'accessibilité des composants et des attaches, les outillages nécessaires au désassemblage, la force, précision du positionnement, le poids, la forme etc. La somme des poids de pondération donne un temps opératoire de désassemblage total en TMU (time measurement uncertainty). Ainsi, un score élevé indique des anomalies dans la conception du produit en vue de désassemblage. Les auteurs proposent aussi de règles de conception en tenant compte de désassemblage de produit dès la phase de sa conception initiale. Notre contribution est une extension de l'approche proposée par Desai et Mital en associant des indicateurs à ces règles afin de les quantifier. La méthode proposée est présentée en section 2 et illustrée sur un exemple en section 3.

2 Caractérisation des produits

Rappelons que la dés-assemblabilité représente l'aptitude d'un produit à être facilement désassemblé. En d'autres termes, elle représente la facilité et la rapidité avec lesquelles un produit peut être désassemblé. Les critères qui confèrent à un produit un bon niveau de dés-assemblabilité sont de deux types : les critères intrinsèques au produit et ceux inhérents au milieu d'exploitation du produit (contextuels). Comme critères intrinsèques, on peut citer : l'accessibilité, la modularité, la standardisation des liaisons (nombre et nature des attaches, diversité des attaches, diversité des outils). Comme critères extrinsèques, on a les ressources humaines (qualifications, expériences requises), outillages et matériels nécessaires aux opérations de désassemblage. Parmi les règles de conception pour le désassemblage proposée par Dowie et Simon [3, 4], six ont été jugées comme les plus pertinentes et sont par la suite utilisées, ainsi permettant ici de proposer des indicateurs quantitatifs.

2.1 Formulation des critères de désassemblage

2.1.1 Indicateur fixations faciles

Pour évaluer les règles «*utiliser des types de fixations faciles à séparer, maximiser les directions d'accessibilité aux composants/ aux liaisons cibles*», un indicateur IF_{ff} est proposé appelé *indicateur fixations faciles*. Il est défini par l'équation (1) :

$$IF_{ff} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{TF} CTF_i + A_{TO} CTO_i + A_{DA} CDA_i)}{n} \quad (1)$$

avec : CTF : coefficient type de fixation,

CTO : coefficient type d'outil,

CDA : coefficient direction d'accès, n : nombre de fixations.

Les termes A_{TF} , A_{TO} et A_{DA} sont respectivement les poids des différents facteurs de l'indicateur IF_{ff} . Ces derniers sont calculés comme suit :

$$A_i = \frac{2(m+1-k)}{m(m+1)} \quad (2)$$

avec : m : nombre de coefficient de l'indicateur de fixation, k : nombre correspondant à l'ordre de priorité des facteurs.

Si on prend $k=1$ pour la direction d'accès, $k=2$ pour le type de liaison et $k=3$ pour le type d'outil, et avec $m=3$, alors :

$$A_{DA} = \frac{2(3+1-1)}{3(3+1)} = 0.5, \quad A_{TF} = \frac{2(3+1-2)}{3(3+1)} = 0.34 \quad \text{et} \quad A_{To} = \frac{2(3+1-3)}{3(3+1)} = 0.16$$

Ainsi, l'indicateur de fixation IF_{ff} est un nombre réel compris entre 0 et 1. Plus il est proche de 0, plus la contrainte de séparabilité est satisfaite, plus il est proche de 1 moins cette contrainte est satisfaite. Le type de fixation peut être qualifié selon une échelle prédéterminée. Afin de qualifier le type de fixation, une pondération est proposée qui augmente avec la difficulté à rompre la fixation considéré (voir. Tableau 1). Les deux autres facteurs à savoir, *type d'outils* et *directions d'accès*, sont également pondérés par des coefficients qui définissent le niveau de sophistication des outils utilisés et la restriction de nombre de directions d'accès respectivement (voir Tableaux 2 et 3).

Type de fixations	Coefficients
Pose	1/5
Insertion, rivetage	1/4
Turner	1/3
Combiner	1/2
Collage, soudage	1

TAB.1 – Coefficient de difficulté de séparation

Type d'outils	Coefficients
Manuel	1/5
Tournevis	1/4
Petit outil	1/3
Outil spéciaux	1/2
Grand outil	1

TAB.2 – Exemple des coefficients associés à quelques types d'outils

Nombre de directions d'accès	Coefficients
5 angles	1/5
4 angles	1/4
3 angles	1/3
2 angles	1/2
1 angle	1

TAB.3 – Exemple des coefficients associés à quelques nombres de directions d'accès

2.1.2 Indicateurs fixations identiques

Pour évaluer la règle « *minimiser la variété de fixations* », un indicateur IF_{fi} : appelé *indicateur fixations identiques* est défini. La valeur de cet indicateur dépend des nombre de fixations identiques.

$$IF_{fi} = \frac{N_{fi}}{n} \quad (3)$$

avec : N_{fi} : nombre de fixations identiques, n : nombre de fixations.

Cet indicateur est un nombre réel compris entre 0 et 1. Plus il est proche de 0, moins la contrainte de séparabilité est satisfaite, plus il est proche de 1 plus la contrainte est satisfaite.

2.1.3 Indicateur nombre de composants aux matériaux identiques

Pour évaluer la règle « *minimiser le nombre de types de matériaux constitutif du produit* », un indicateur IM_{mi} : appelé *indicateur nombre de composants aux matériaux identiques* est proposé. La valeur de cet indicateur dépend du nombre des composants faits du même matériau.

$$IM_{mi} = \frac{N_{cmi}}{N_{ct}} \quad (4)$$

avec : N_{cmi} : nombre de composants aux matériaux identiques, N_{ct} : nombre total de composants.

2.1.4 Indicateur poids de composants aux matériaux identiques

Pour évaluer la règle « *minimiser le poids du produit* », un indicateur IM_{pmi} : appelé *indicateur poids de composants aux matériaux identiques* est proposé. La valeur de cet indicateur dépend du nombre des

composants ayant le même de scénario de fin de vie.

$$IM_{pmi} = \frac{P_{cmi}}{P_t} \quad (5)$$

avec : P_{cmi} : poids de composants de même matériau, P_t : poids total du produit.

Cet indicateur est un nombre réel compris entre 0 et 1. Plus il est proche de 0, moins la contrainte est satisfaite, plus il est proche de 1 plus la contrainte est satisfaite.

2.1.5 Indicateur nombre de fixation ayant la même direction d'accès

Pour évaluer la règle « maximiser le nombre de fixation aux directions d'accès identique », nous avons défini un indicateur IS_{dai} appelé *indicateur nombre de fixations ayant la même direction d'accès*. La valeur de cet indicateur dépend du nombre des fixations ayant les mêmes directions d'accès.

$$IS_{dai} = \frac{N_{fdai}}{n} \quad (6)$$

avec : N_{fdai} : nombre de fixations aux directions d'accès identiques, n : nombre de fixations.

Cet indicateur est un nombre réel compris entre 0 et 1. Plus il est proche de 0, moins la contrainte est satisfaite, plus il est proche de 1 plus la contrainte est satisfaite.

2.1.6 Indicateur type d'outil

Pour évaluer la règle « minimiser le nombre de types d'outil utilisé pour le désassemblage », nous avons défini un indicateur IS_{TO} appelé *indicateur type d'outil*. La valeur de cet indicateur dépend du nombre de fixation désassemblés par un type d'outil.

$$IS_{TO} = \frac{N_{foi}}{n} \quad (7)$$

avec : N_{foi} : nombre de fixations aux outils identiques, n : nombre de fixations.

Cet indicateur est un nombre réel compris entre 0 et 1. Plus il est proche de 0, moins la contrainte est satisfaite, plus il est proche de 1 plus la contrainte est satisfaite.

2.2 Quantification de la désassemblabilité

Un *indice de dés-assemblabilité ID* est proposé afin d'estimer globalement le niveau de dés-assemblabilité d'une solution générée par le concepteur. Cet indice est calculé comme une moyenne pondérée des indicateurs d'évaluation de la désassemblabilité du produit avec pour coefficients de pondération C_i , comme l'indique l'équation (8). A cette fin, une échelle traduisant le niveau d'appréciation d'une solution proposée est définie (voir. Figure 1).

$$ID = \frac{\sum_{i=1}^j C_i I_i}{\sum_{i=1}^j C_i} \quad (8)$$

avec : I_i : indicateur d'évaluation de la dés-assemblabilité, C_i : coefficient de pondération pour I_i , J : nombre des indicateurs utilisés.

0	25 %	50 %	75 %	100 %
Mauvaise	Pas satisfaisante	Satisfaisante	Bonne	

FIG.1 – Seuils de satisfaction de l'indice de dés-assemblabilité ID

3 Etude de cas

Afin de valider la méthode proposée, une étude de cas est présentée dans la suite. La figure 2 représente une illustration du produit décrivant une solution en vue éclatée.

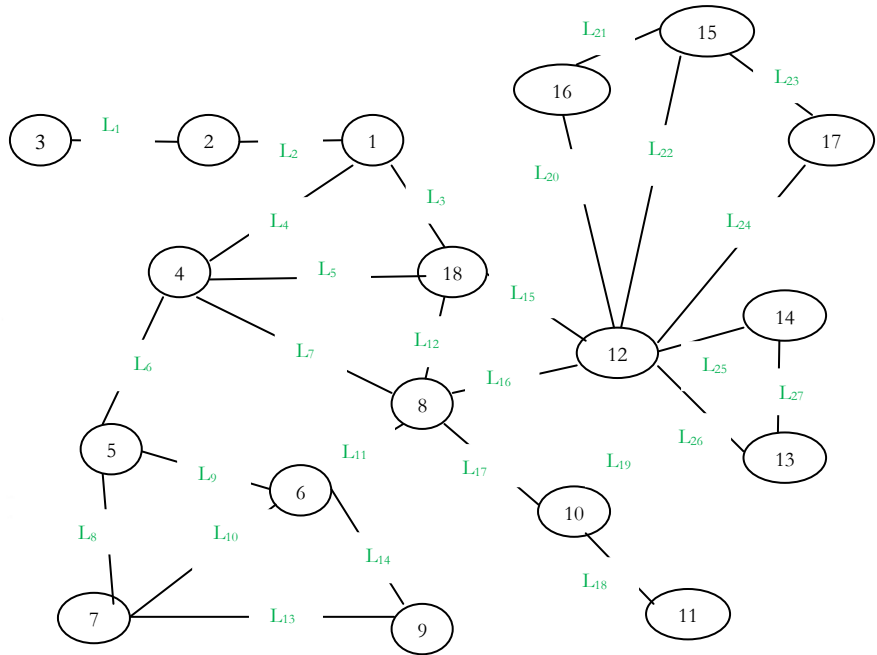
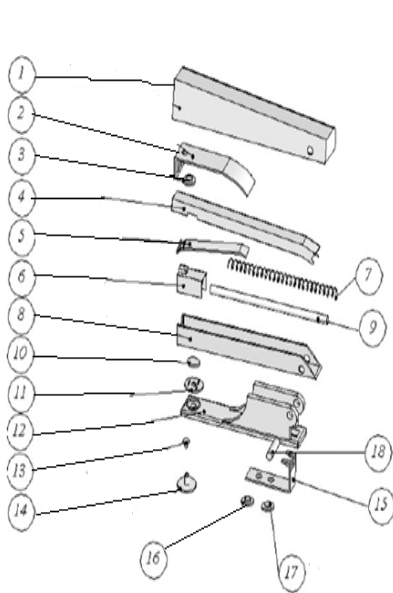


FIG.2 – Vue éclatée de l’agrafeuse

FIG.3 – Graphe des liaisons de l’agrafeuse

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Composant	Couvercle	Support de ressort	Rivet 1	Capuchon	Ressort pivot	Glissière	Agrafe	Magasin	Tige de guidage	Rivet 2	Enclume	Base	Ressort	Rivet base	Composant d'attache	Rivet 3	Rivet 4	Axe
Matériau	Fer	Fer	Fer	Acier	Acier	Al	Fer	Acier	Fer	Fer	Al	Acier	Fer	Acier	Acier	Fer	Fer	Acier
Poids (g)	15	5	3	8	25	3	1,25	6	2	3	2	12	09	21	25	3	3	4

TAB.4 – Composants, matériaux et poids de l’agrafeuse

3.1 Descriptions des solutions

La dés-assemblabilité de l’agrafeuse est évaluée à partir de six indicateurs proposés pour trois solutions dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Solution 1 : l’agrafeuse est constituée de trois parties (modules). La partie supérieure est composée des composants 1, 2, 4 et 5. L’intérieur de l’agrafeuse est composé des composants 6, 7 et 9. La partie inférieure est composée des composants 8, 11, 12, 13, 15 et 18. L’assemblage entre ces trois parties est assuré par rivetage.
- Solution 2 : cette solution est similaire à la précédente, il est proposé d’utiliser un rivet au lieu de deux pour solidariser les composants 12 et 15. Ainsi, le composant 17 est retenu et de ce fait les liaisons 20 et 21 sont supprimées.
- Solution 3 : cette solution est aussi similaire à la solution 1, seuls les matériaux constitutifs du produit changent. Ainsi, au lieu de l’aluminium, matériau constitutif des

composants 6 et 11 (enclume et glissière), il est proposé d'utiliser l'acier.

3.2 Evaluation des solutions

Le tableau 5 résume l'ensemble des résultats obtenus pour les trois solutions. Ainsi, les *indices de dés-assembly ID* sont de l'ordre de 55,57 % pour la solution 1, de 55,61 % pour la solution 2 et 57,42 % pour la solution 3. Les trois solutions appartiennent à l'intervalle [50%, 75%] qui traduit une solution satisfaisante. Mais la solution 3 présente l'indice de dés-assembly le plus élevé, elle est alors jugée comme la solution de conception la plus respectueuse des contraintes de désassemblage en fin de vie que les solutions 1 et 2.

Produit (Agrafeuse)	Solution 1	Solution 2	Solution 3
<i>ID</i> (%)	55,57	55,61	57,42

TAB.5 – Bilan de l'évaluation

4 Conclusion et perspectives

Dans cet article, des critères influençant la dés-assembly d'un produit ont été identifiés. Des règles de conception pour le désassemblage ont été utilisées afin de définir des indicateurs permettant d'évaluer la dés-assembly d'un produit. Ainsi, dès la phase initiale de conception d'un produit, des modifications à la structure du produit peuvent être apportées pour améliorer sa dés-assembly. Les perspectives qui peuvent être envisagées sont multiples, tant dans le domaine de la conception orientée désassemblage que dans le domaine de définition/planification de séquences de désassemblage. Des incertitudes étant inhérentes au processus du désassemblage, le but de la suite des travaux est de proposer une nouvelle méthode d'évaluation du désassemblage du produit en fin de vie en présence d'incertitudes inhérentes à ce domaine, utilisable en phase de conception préliminaire. Un environnement informatique comme support de la méthodologie proposée sera développé et intégré dans le cadre d'une « *application métier* » aux systèmes classiques de CAO existants ainsi contribuant à l'insertion de la modélisation des opérations de désassemblage dans le processus de conception.

References

- [1] Millet D., Brissaud D., Zwolinski P (2007). "Design for reuse, remanufacture and recycling; an alternative to design for landfill." *International Journal of Environmentally Conscious Design and Manufacture*, G. Bertolucci guest editors 13 (3/4).
- [2] Haoues N. Froelich D. Zwolinski P (2004). "Disassembly for valorisation in conceptual design." In *Environmentally Conscious Manufacturing IV*, 5583 : 31-42.
- [3] Dowie, T. A. and Simon M (1994). "Guidelines for designing for disassembly and recycling", Department of Mechanical Engineering, Design and Manufacture, the Manchester Metropolitan University
- [4] Dowie, T. A. and D. a. M 1995). Manchester Metropolitan University. Dept. of Mechanical Engineering A Disassembly Planning and Optimisation Methodology for Design.
- [5] Kroll, E. and T. A. Hanft (1998). "Quantitative evaluation of product disassembly for recycling." *Research in Engineering Design* 10(1): 1-14.
- [6] Kroll, E. and B. S. Carver (1999). "Disassembly analysis through time estimation and other metrics." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 15(3): 191-200.
- [7] Desai, A. and A. Mital (2003). "Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production." *International Journal of Industrial Ergonomics* 32(4): 265-281.