

Les Assemblages

En éco-conception

eric.giordanengo

2008



Table des matières

1 - La place des assemblages dans le cycle de vie d'un produit.....	5
2 – Corrélation entre les « 3 R » et les techniques d'assemblages.	7
2.1 Premier enjeu : Réduire.....	7
2.2 Deuxième enjeu : Réutiliser	8
2.3 Troisième enjeu : Recycler	9
3 – Exigences environnementales	12
3.1 Coût énergétique, réduction des substances toxiques et des matières pré-consommateur.....	13
3.2 Durée de vie, recyclage et réduction des matières premières.	15
4 – Les techniques d'assemblages dans l'éco-conception	17
4.1 - Les assemblages statiques démontables :.....	18
4.2 – Les assemblages statiques non démontables :.....	18
4.3 – Première étude : Organigramme sur la nature des techniques d'assemblage en fonction du produit.	19
4.4 – Deuxième étude : Comment faire un projet d'éco-design :	21
4.5 - Utilisations des techniques d'assemblages en fonction des stratégies environnementales :	22
4.6 – Comparaison des techniques d'assemblages :	29



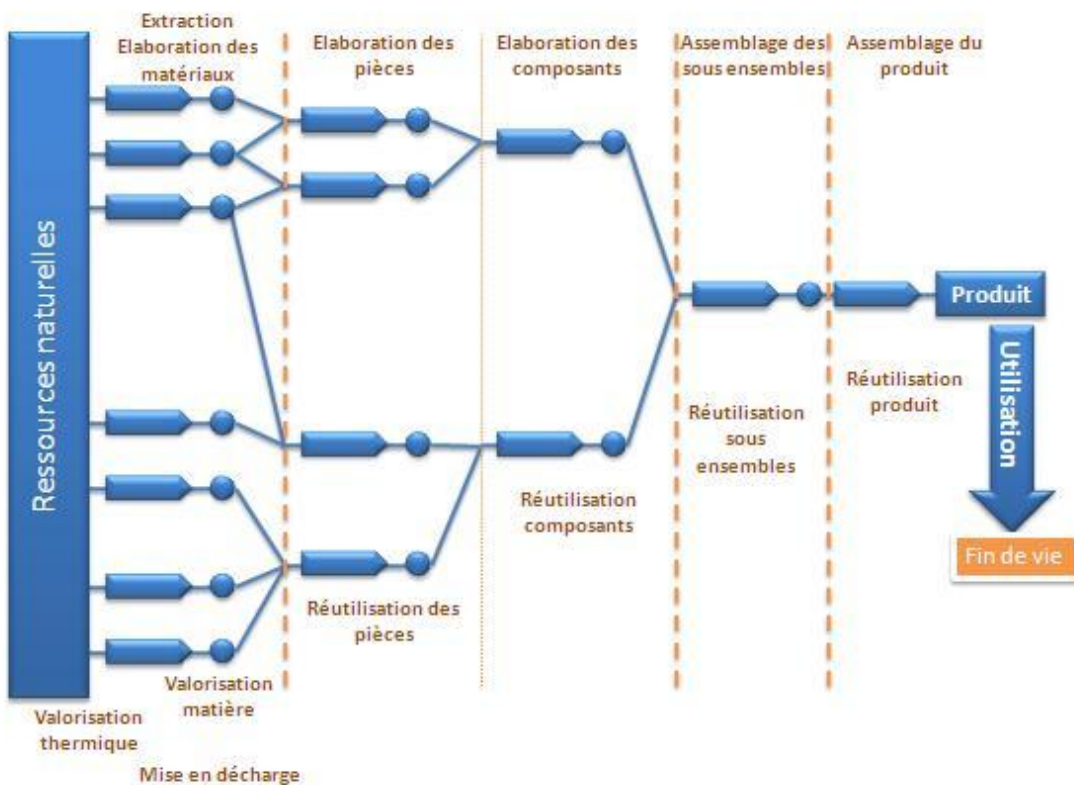


1 - La place des assemblages dans le cycle de vie d'un produit.

Idée :

Situer l'emploi des techniques d'assemblages dans les unités fonctionnelles du cycle de vie

D'un point de vue de l'éco-conception le cycle de vie du produit¹ regroupe l'ensemble des opérations industrielles nécessaire pour la fabrication, la maintenance, le recyclage ou la réutilisation partielle du produit. Chaque opération industrielle est appelée unité fonctionnelle². En observant le cycle de vie d'un produit on peut remarquer que la partie supérieure du graphique est relative à de la conception de nouvelles pièces ou de sous ensembles tandis que la partie inférieure est relative à l'utilisation de matière recyclée ou à la réutilisation de pièces voir de sous ensemble. Cela implique qu'il n'est pas impensable de réaliser un produit avec par exemple 20% de ses éléments issus de pièces réutilisées, et 40 % des nouveaux composants fabriqués avec de la matière recyclée. Tout va dépendre de la stratégie mise en œuvre par l'entreprise ainsi que de la nature même du produit.



¹ Des informations supplémentaires sur le cycle de vie d'un produit sont disponibles dans le module d'aide MA1.

² Voir le module d'aide MA1.

En tant que technologue on associe les assemblages à la réalisation de liaisons encastrements entre des pièces puis, dans le cadre de conception modulaire entre des sous ensembles. On tiendra compte alors, pour la réalisation de notre liaison, des différentes contraintes mécaniques, environnementales (milieu extérieur corrosif, humidité, salle blanche...) ainsi que des phases éventuelles de maintenance. Dans le cadre de l'éco-conception, la fin de vie du produit s'inscrit totalement dans la conception. Les assemblages doivent désormais répondre à des contraintes de démontage, de gains en terme de temps et d'intégrité des pièces permettant d'envisager le démontage total du produit en vue de sa réutilisation (partielle ou non) du recyclage des matériaux et éventuellement de la mise en décharge des éléments devenus inutilisables.

Concrètement, l'assemblage prend toute son importance dans les unités fonctionnelles du cycle de vie relatives à :

- 1. L'assemblage des sous ensembles et du produit.**
- 2. La phase d'utilisation pour la maintenance.**
- 3. La valorisation de la matière ou la mise en décharge.**
- 4. La réutilisation des pièces, des composants ou des sous ensembles.**

On doit donc définir une stratégie de réalisation des liaisons encastrements en fonction de la place de ses unités fonctionnelles dans le produit. Cependant il n'existe pas de règles déterministes préétablies et valables pour l'ensemble des produits industriels. Tout simplement parce que l'éco-conception est une méthode pensée pour tous les domaines industriels. Des produits cosmétiques aux véhicules de transports, Du simple interrupteur électrique aux automates programmables, du produit jetable au produit ayant une longue durée de vie. Quelle serait l'importance d'une conception d'assemblage favorisant la maintenance pour un produit jetable ou pour un réceptacle de cosmétique ? Ainsi, avant d'accorder des techniques d'assemblages à un produit il convient de définir clairement les unités fonctionnelles prépondérantes dans son cycle de vie.

Enfin, la réalisation des liaisons encastrements doit être l'aboutissement des exigences technologiques et du cahier des charges en regard à la structure du cycle de vie du produit étudié.

2 – Corrélation entre les « 3 R » et les techniques d'assemblages.

Idée :

Déterminer l'influence du trio « Réduire, Réutiliser et Recycler » dans le choix des techniques d'assemblages.

L'éco-conception est certainement l'aboutissement de la réflexion apportée sur l'interdépendance des « 3R » qui signifie Réduire – Réutiliser – Recycler. Le concept est simple et date du début des années 90. Partant du constat que les matières premières ne sont pas inépuisables, que la demande des produits manufacturés est en constante progression (mondialisation, émergence des marchés asiatiques) et que l'environnement devient un enjeu majeur (Sommet de Rio de Janeiro en 1992) il fallait entamer une réflexion sur la conception des produits industriels et définir certains principes simples relatif à la protection de l'environnement.

2.1 Premier enjeu : Réduire

Ce terme désigne la volonté de diminuer quantitativement l'utilisation des matières premières ou de réduire les émissions de gaz nuisibles pour l'environnement. D'un point de vue pratique, on peut atteindre cet objectif en :

- Réduisant la diversité des matériaux dans le mécanisme.
- Utilisant des matériaux recyclés ou de la matière première renouvelable.
- Réduisant la quantité des matériaux³ nécessaires et les matières « pré-consommateur »⁴

Exemple : L'industrie automobile.

Les constructeurs ont désormais comme objectif une réduction de 10% du poids de leurs véhicules à chaque nouvelle génération. Cela permet, avec l'augmentation des performances des moteurs, de réduire les émissions de Co2 et

³ On peut diminuer la quantité des matériaux en optimisant les formes des pièces par des calculs de résistance des matériaux.

⁴ Terme désignant les déchets ou les chutes générés lors d'un processus de fabrication

avec l'utilisation de matériaux recyclés ou de matières premières renouvelables de diminuer l'extraction de matières premières.

1 / « Allégement de structure »

Dans le cadre de son concept-car Faurecia a développée une nouvelle planche de bord sans traverse métallique permettant une augmentation du volume de rangement de 5 litres et une réduction du poids de la structure de 1,3 kg.



(Concept inpamo – faurecia)

2 / « matières premières renouvelables »

L'utilisation de matières issues de la biomasse permet un allégement de 25 à 30 % de ses composants. Nous trouvons ainsi des matériaux composites alliant le polypropylène et le lin ou le polyester et le polypropylène avec des fibres de bois.



(Planche de bord en polypropylène – lin)

(Documents Faurecia)



(Structure de panneau de porte en polyester-fibre de bois)

2.2 Deuxième enjeu : Réutiliser

Ce terme désigne la capacité d'un composant, d'une pièce ou d'un produit à pouvoir être réutilisé après son premier cycle de vie. On peut agir en ce sens en tachant de répondre aux points suivants :

- Peut-on réutiliser des pièces produites ?
- Peut-on réutiliser les déchets de fabrication ?
- Peut-on réutiliser les composants ?

La première et la troisième question impliquent une étude particulière sur l'assemblage des produits.

Il faut notamment améliorer l'aptitude au démontage.

Pour ce faire il est préférable d'envisager la réversibilité du processus de montage, la diminution du nombre d'étape de démontage, l'utilisation d'assemblages simples à démanteler, de positionner autant que possible les pièces s'usant en même temps à proximité et d'indiquer comment ouvrir le produit sans le détruire.

Exemple : mobilier.

La société Steelcase développe de nombreux produits mobiliers et notamment des sièges répondant aux exigences environnementales. Ils tiennent compte de la durée de vie de leurs produits et favorise le remplacement de leurs accotoirs et le processus de désassemblage en prévision du recyclage.

Conception permettant de :

- Optimiser la durée de vie
- Faciliter le montage et démontage
- Obtenir un taux de recyclage de 97 %



(Le siège « Let's B » de Steelcase)

2.3 Troisième enjeu : Recycler

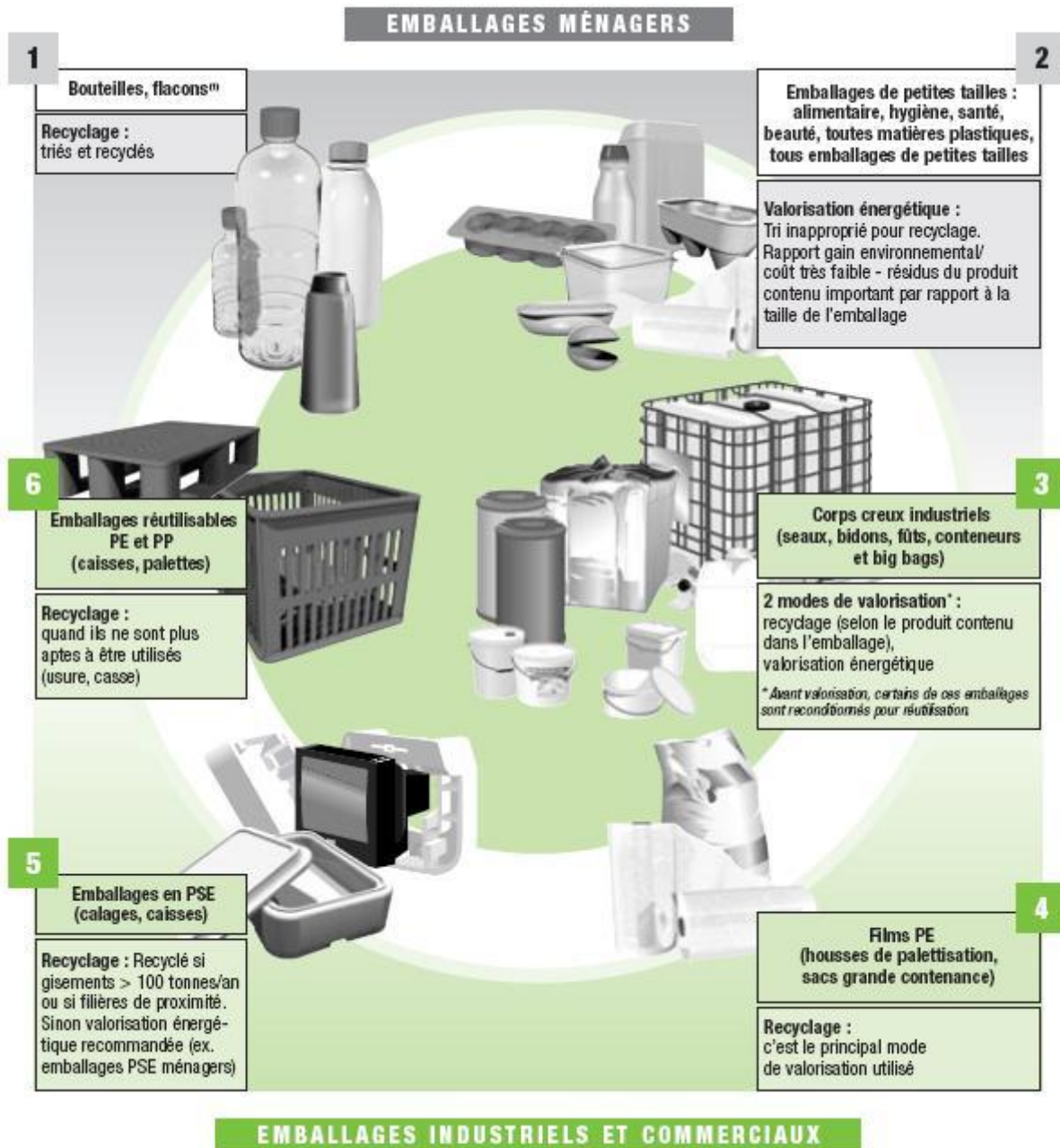
Ce terme désigne la capacité d'un élément à pouvoir être récupéré en vue d'une valorisation thermique sans externalité négative ou en vue de la réutilisation des matériaux à injecter dans un processus de fabrication. Le recyclage permet de diminuer l'exploitation des matières premières non renouvelables.

D'un point de vue de la conception, l'optimisation vers le recyclage passe par :

- la fabrication de pièces mono-matériaux (éviter les inserts dans les pièces plastiques par exemple).
- l'organisation d'assemblages simples favorisant l'extraction des éléments recyclables sans destruction.
- Le marquage des pièces à recycler.
- L'utilisation de matériaux recyclables pour lesquels il existe un système de collecte.

Exemple : les emballages.

Loin d'être à négliger les emballages représentent des éléments essentiels dans la vie du produit puisqu'ils permettent de protéger leurs contenus.



Document issu du guide pratique sur la conception et la fabrication
Des emballages en matière plastique
Pour une valorisation optimisée.

En résumé : Ce qu'il faut garder à l'esprit pour optimiser un produit.

- Envisager la réversibilité du processus d'assemblage.
- Diminuer le nombre d'étapes de démontage.
- Positionner autant que possible les pièces ayant le même temps d'usure à proximité.
- Indiquer comment ouvrir le produit sans le détruire.
- Favoriser des assemblages simples permettant l'extraction des pièces à recycler.

Les techniques d'assemblages mises en œuvre participent grandement à l'impact environnemental du produit. En choisissant judicieusement les processus et procédés d'assemblages on favorise la réutilisation des pièces ou des matériaux ainsi que leur recyclage.

3 – Exigences environnementales

Idée :

Déterminer les exigences environnementales dont on doit tenir compte dans la conception d'assemblage.

D'un point de vue du concepteur, l'assemblage démontable ou non entre des pièces ou entre des sous ensembles doit répondre aux critères suivants :

- Positionner les éléments entre eux.
- Permettre la transmission des efforts.
- Résister au milieu environnant.

Dans le cadre de l'éco-conception les choix technologiques liés aux assemblages dépendront en grande partie des stratégies de réductions des impacts potentiels sur l'environnement mise en place par l'entreprise.

Ainsi, chaque société fera le choix de son investissement en l'éco-conception en adoptant :

- ✓ **Une stratégie d'optimisation du service rendu.**
Cela implique une conception favorisant la maintenance du produit.
- ✓ **Une stratégie de préservation des ressources.**
L'effort sera mis sur la diminution du nombre de pièces, des composants et/ou des sous-ensembles avec l'optimisation des phases de montage et de démontage en vue de la maintenance.
- ✓ **Une stratégie de réduction des pollutions, des déchets et des nuisances.**
On cherchera, entre autre, à étendre la durabilité des produits et à accroître le service lié au produit.

Chaque stratégie agira de façon plus ou moins importante sur le coût énergétique, la réduction des substances toxiques et des matières pré-consommateur, la durée de vie, le recyclage et la réduction des matières premières.

3.1 Coût énergétique, réduction des substances toxiques et des matières pré-consommateur.

Les paramètres suivants sont plus à mettre à l'actif de la gestion de la société ; dans son parc de production et dans son système de transport et de stockage. Ainsi, le coût énergétique du produit et généralement déterminé grâce à l'analyse du cycle de vie ; Méthode d'évaluation permettant de quantifier les pertes énergétiques et le prélèvement des ressources naturelles, renouvelables ou non. On trouve, chez certaines sociétés des fiches techniques appelées « PEP » (Profil environnemental du produit) qui expliquent non seulement la politique mise en œuvre par l'entreprise mais aussi les valeurs relatives à l'extraction des matières premières et à la consommation énergétique.

Exemple de PEP : Société Schneider, Profil d'un disjoncteur.

Impacts environnementaux



L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) a été réalisée à l'aide du logiciel EIME (Environmental Impact and Management Explorer) version 1.6 et de sa base de données version 5.4.

L'hypothèse de durée d'utilisation du produit est de 20 ans et le modèle d'énergie électrique utilisé est le modèle européen.

L'analyse de Cycle de Vie porte sur le produit Compact NS160N calibre 160 A TM160D 3P fixe comprenant :

- le boîtier de coupure du Compact NS
- le déclencheur magnétothermique.

Les impacts environnementaux ont été analysés sur les phases Manufacturing (M) comprenant l'élaboration des matières premières, Distribution (D) et Utilisation (U).

Présentation des impacts environnementaux du produit

Données calculées pour une utilisation du produit pendant 20 ans.

Indicateurs environnementaux	Unité	Pour un Compact NS160N TM160D 3P			
		S = M + D + U	M	D	U
Épuisement des ressources naturelles	Y-1	3,96 10 ⁻¹³	3,69 10 ⁻¹³	2,67 10 ⁻¹⁷	2,75 10 ⁻¹⁴
Épuisement de l'énergie	MJ	3,11 10 ⁴	3,24 10 ²	20,30	3,08 10 ⁴
Épuisement de l'eau	dm ³	4,11 10 ³	98,80	3,80 10 ⁻¹	4,01 10 ³
Potentiel des réchauffements dit atmosphériques	g-CO ₂	1,95 10 ⁶	1,69 10 ⁴	1,54 10 ³	1,93 10 ⁶
Potentiel d'épuisement stratosphérique	g-CFC-11	2,42 10 ⁻¹	2,48 10 ⁻³	1,78 10 ⁻⁴	2,39 10 ⁻¹
Création d'ozone atmosphérique	g-C ₂ H ₄	6,91 10 ²	7,77	1,37	6,82 10 ²
Acidification de l'air	g-H ⁺	3,32 10 ²	4,42	2,83 10 ⁻¹	3,27 10 ²
Production de déchets dangereux	kg	27,90	1,64 10 ⁻¹	1,02 10 ⁻⁴	27,70

La phase d'Utilisation (phase U) est la plus impactante sur l'ensemble des phases de vie du produit. Elle correspond aux impacts liés à la production d'électricité pendant cette phase. Schneider Electric prend toutes les dispositions nécessaires pour optimiser ce paramètre.

Cette analyse prend en compte les consommations et les émissions du produit dans toutes les phases du cycle de vie : Fabrication (Manufacturing) "M", comprenant l'élaboration des matières premières, Distribution "D" et Utilisation "U".

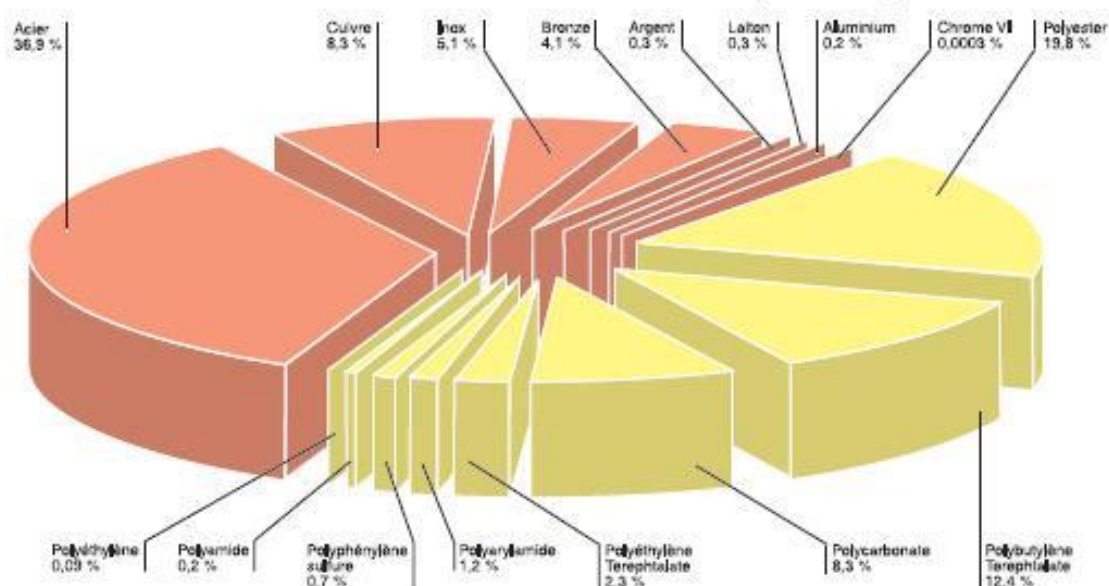
Volontairement, et afin de respecter les directives européennes, une reconception novatrice des déclencheurs et un choix ciblé des matières permet l'élimination de toute substance sensible à partir de 2006.

L'extrait de page⁵ ci dessus fait le bilan de l'analyse du cycle de vie permettant d'identifier notamment le coût énergétique.

⁵ Vous trouverez le Profil environnemental du produit complet du disjoncteur dans le fichier PEP disjoncteur.pdf

Matériaux constitutifs

La masse des produits de la gamme s'échelonne de 1790 g (NS100N 3P) à 6090 g (NS250N 4P débrochable) hors emballage. Elle est de 1825 g pour le disjoncteur Compact NS160N TM160D 3P fixe. Les matières constitutives sont réparties de la façon suivante :



Toutes les dispositions utiles sont prises auprès de nos services, fournisseurs et sous-traitants pour que les matériaux entrant dans la composition de la gamme Compact NS100 à NS250 ne contiennent pas de substances interdites par la réglementation en vigueur ⁽¹⁾ lors de sa mise sur le marché.

(1) Selon liste disponible sur demande.

Fabrication

Les produits de la gamme Compact NS100 à NS250 sont fabriqués dans des sites de production Schneider Electric qui ont mis en place un système de management environnemental certifié ISO 14001.

Distribution

Les emballages respectent la directive emballage de l'Union Européenne. Ils ont été conçus en vue d'optimiser leur poids et leur volume. Le poids de l'emballage du disjoncteur Compact NS160N TM160D 3P fixe est de 147,4 g. Il est constitué d'un emballage carton (129,6 g). Il inclut la notice de l'appareil (17,8 g).

Les flux de distribution des produits sont optimisés par l'implantation de centres de distribution locaux proches des zones de marché.

Cette page extraite du PEP indique le pourcentage de chaque matériau nécessaire à la réalisation du produit ainsi que des informations sur la norme en vigueur dans l'usine de fabrication et la nature de l'emballage du produit.

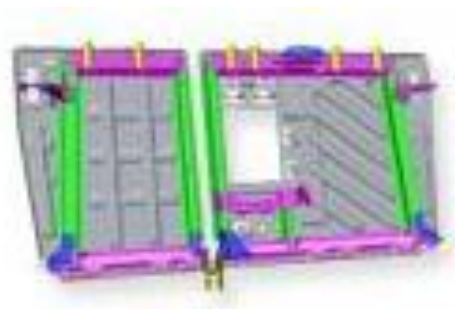
L'impact environnemental ne peut être correctement identifié qu'avec la collaboration de chaque secteur de l'entreprise. Cependant, en tant que concepteur on peut apporter tout de même un jugement critique sur les différentes techniques d'assemblages en terme de consommation énergétique lors de la fabrication et ou de la réalisation d'assemblage.

Citons comme exemple le procédé de soudage. Il existe différentes techniques pour souder deux pièces entre elles, la soudure par oxy-acétylène, la soudure plasma, la soudure par laser, la soudure par électro-gaz... Si on s'intéresse à la préservation des ressources il est judicieux d'orienter le soudage vers un procédé sans apport. Dans ce cas on choisira le soudage par arc électrique ou par laser.

Exemple : Construction d'une structure de siège pour véhicule automobile.

Dans la perspective d'alléger les composants des voitures, la structure en profilé et tôle d'un siège de véhicule est assemblée par la soudure laser. Cette technique, qui se fait sans apport de matière permet d'optimiser les pièces de métal et d'améliorer la précision des assemblages. Ainsi, la réduction des épaisseurs des sièges représente un gain de 15% du poids de ce module.

(Document Faurecia)



3.2 Durée de vie, recyclage et réduction des matières premières.

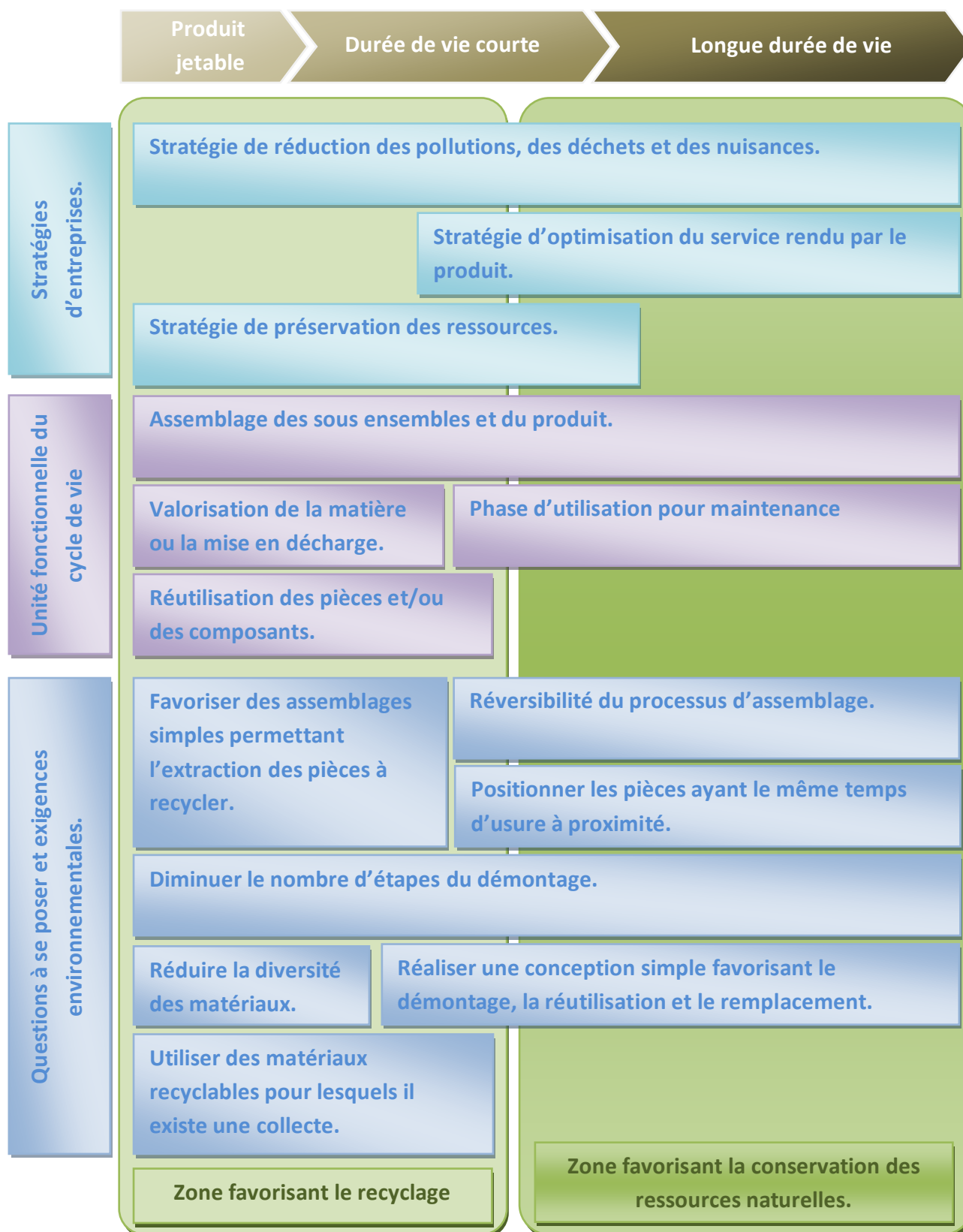
A ce stade, on peut imaginer qu'il existe des rapports étroits entre la durée de vie d'un produit, son pourcentage de recyclage et la préservation des ressources naturelles par réduction des matières premières.

Pour un produit ayant une durée de vie courte, voir un produit jetable, on fera le choix de travailler tout particulièrement sur la nature, le nombre et la quantité des matériaux en utilisant, par exemple, des matières premières renouvelables, avec un système pouvant se démonter facilement dans la perspective de récupération des pièces et composants en vue du recyclage ou de la réutilisation.

Pour un produit ayant une durée de vie longue, on cherchera plutôt à optimiser le nombre de pièces et à créer des assemblages plus modulaires capables d'être démontés facilement dans le but d'optimiser la maintenance et par l'allongement de la durée de vie, de préserver les matières premières.

Ainsi, une durée de vie courte implique un effort à apporter sur le recyclage tandis qu'une durée de vie plus longue sur la maintenance.

Le graphique ci-dessous synthétise les différentes relations que nous pouvons avoir entre la conception des différents assemblages et la durée de vie, les stratégies d'entreprises et les unités fonctionnelles du cycle de vie en fonction de la durée de vie du produit.



4 – Les techniques d’assemblages dans l’éco-conception

Idée :

Apporter une étude comparative simplifiée des techniques d’assemblages au regard des exigences environnementales et techniques.

Ce chapitre n’a pas pour vocation d’établir des règles de conception dans les techniques d’assemblages intégrées à l’éco-conception. En effet, les différentes normes ISO sont rédigées avec la volonté de ne pas privilégier des solutions technologiques de référence et/ou de matériaux à utiliser ou à éviter. Ce serait faire défaut au principe de l’amélioration continu tant indispensable à l’éco-conception. Cependant on peut établir quelques principes simples et de bons sens pouvant, dans une première approche, nous orienter vers une conception acceptable.

Le chapitre suivant nous a fourni un tableau liant la durée de vie du produit aux stratégies d’entreprises et aux unités fonctionnelles du cycle de vie. Il indique aussi les questions à se poser pour satisfaire aux exigences environnementales. Avant d’analyser plus en détails ce tableau tachons de définir avec plus de précisions les assemblages que nous allons étudier.

Traditionnellement on regroupe les assemblages en deux catégories. Les assemblages démontables et les assemblages non démontables. On peut certainement au préalable préciser s’il s’agit d’assemblages permettant des liaisons encastrement entre des pièces statiques (assemblages des différents éléments d’un châssis par exemple) ou entre des pièces transmettant un mouvement (assemblage entre un arbre moteur et une poulie).

On distinguera ainsi :

1. Les assemblages statiques démontables.
2. Les assemblages statiques non démontables.
3. Les assemblages dynamiques démontables.
4. Les assemblages dynamiques non démontables.

Notre étude portera ici que sur les techniques d’assemblages statiques. Par définition, ce type de liaisons est réalisé entre les pièces du produit ne transmettant pas de mouvements au sein du mécanisme. On peut les associer à

l'assemblage de tous les éléments se trouvant en contact avec l'environnement du produit et permettant l'architecture interne du mécanisme (châssis ou carter...)

4.1 - Les assemblages statiques démontables :

L'avantage de ce type de liaisons est qu'il ne détériore pas les pièces lors du démontage. **Ce type d'assemblage est à privilégier pour des produits bénéficiant d'une stratégie d'optimisation du service rendu ou d'une stratégie de préservation des ressources naturelles.** Ainsi Le caractère démontable des liaisons permet la mise en place d'une maintenance ou la récupération des éléments internes en vue du recyclage d'une réutilisation.

On favorisera ces assemblages dans les cas :

- De produits jetables ou à très faible durée de vie, constitués de plusieurs matériaux (recyclage ou réutilisation).
- De produits à longue durée de vie (maintenance).

L'importance de ce type de liaisons n'est donc pas à négliger dans l'éco-conception

On réalise généralement ce type de liaisons par les procédés de :

- ✓ **Vissage** : Utilisation de vis, d'écrous, de boulons, de goujons, d'inserts métalliques généralement taraudés.
- ✓ **Clipsage** : Utilisé généralement sur des pièces en matériaux plastique.

4.2 - Les assemblages statiques non démontables :

Ce type de liaison est à étudier avec plus de rigueur. En effet, même si le caractère non démontable n'est pas à prendre au pied de la lettre il engendre certainement un surcoût pour un produit devant être démantelé en vue du recyclage. On devra ainsi prévoir des étapes supplémentaires telles que le nettoyage des pièces dissociées pour un assemblage collé ou un coût énergétique plus important. Cependant, même si à priori cette technique n'a pas davantage flagrant en ce qui concerne l'éco-conception elle ne doit pas être défavorisée. En effet dans certain cas elle peut être un choix plus que raisonnable.

On pourra privilégier ainsi des assemblages statiques non démontables dans le cas de :

- Produit ou sous ensemble mono-matériau.
- D'ensemble en matériaux composites permettant l'intégration de ressources naturelles renouvelables.

Ainsi, en termes de stratégie environnementale les assemblages statiques non démontables peuvent participer à la réduction des pollutions, des déchets et nuisances ou même de préservation des ressources.

On réalise généralement ce type de liaison par les procédés de :

- ✓ Soudage
- ✓ Collage
- ✓ Frettage
- ✓ Rivetage

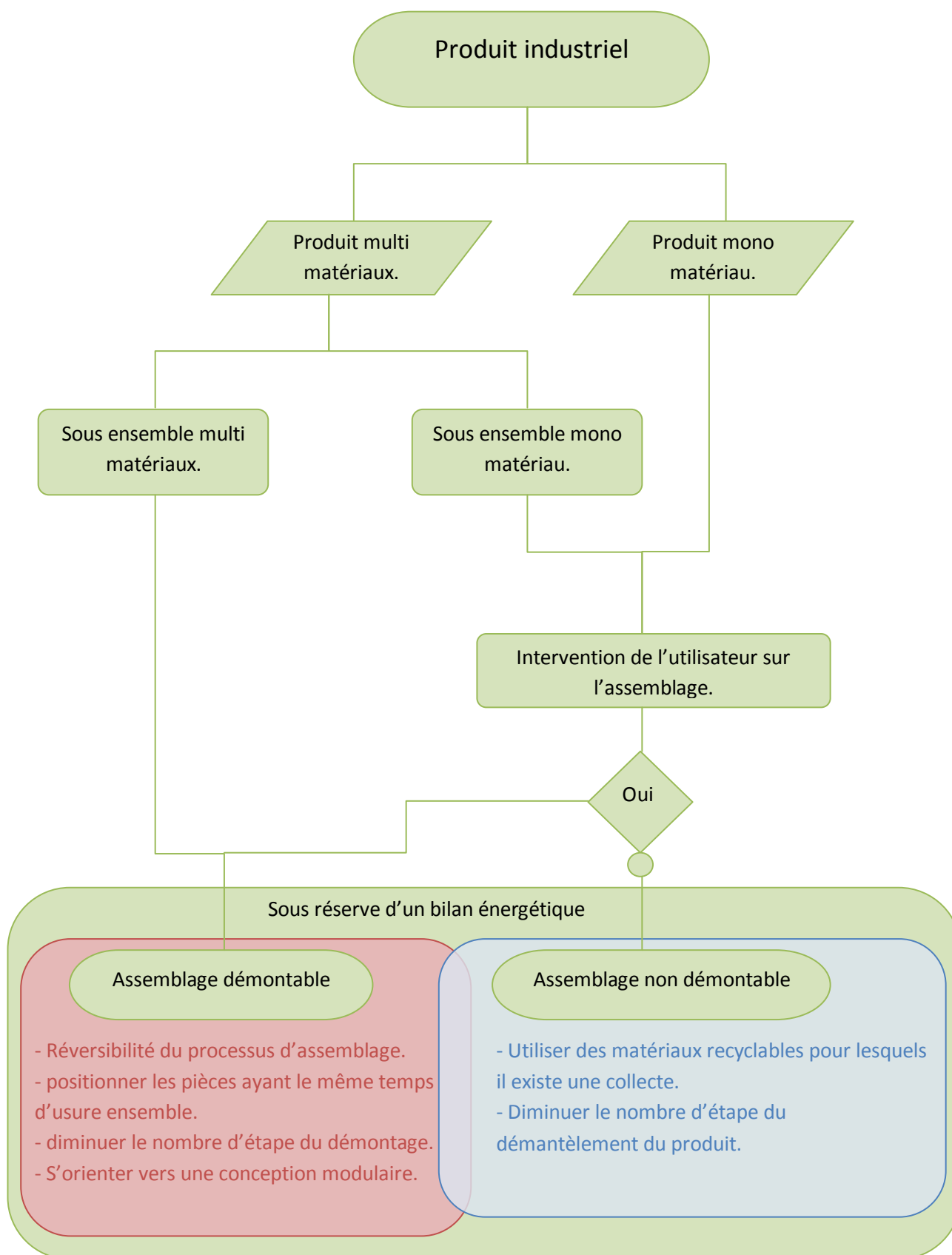
4.3 – Première étude : Organigramme sur la nature des techniques d'assemblage en fonction du produit.

A ce niveau, on peut d'ores et déjà se faire une idée de l'emploi des différents assemblages en fonction de la nature du produit et des exigences environnementales. L'organigramme suivant nous donne une piste de réflexion.

Le produit industriel est un produit au sens large du terme. Il peut aussi bien représenter un système technique complexe qu'un ensemble simple de deux voir trois composants.

Si l'ensemble est constitué d'un seul matériau ou s'il contient un sous ensemble de pièces de même matière, on peut se demander à juste titre si la liaison entre les pièces peut être non démontable. La réponse peut provenir de l'utilisateur (le consommateur du produit comme le technicien de maintenance) mais aussi du bilan énergétique réalisé sur les méthodes de fabrication. Quoi qu'il en soit, si nous nous plaçons selon le point de vue de la conception et ne disposant pas des données énergétiques des entreprises quant à leurs outils de production et d'assemblage on peut logiquement penser en premier lieu que l'intervention de l'utilisateur influencera principalement le choix d'un assemblage démontable ou d'un assemblage non démontable sur des systèmes mono-matériaux.

Pour les ensembles multi-matériaux, la contrainte de recyclage impose à priori le choix d'assemblages démontables.



4.4 – Deuxième étude : Comment faire un projet d'éco-design :

Le site www.prorecyclage.com propose un plan pour la réalisation d'un produit tenant compte de l'éco-conception. Il a l'avantage de poser clairement tous les objectifs.

Plan d'un projet d'éco-conception

1. FIXER LA STRATEGIE D'ENTREPRISE.

2. PROJETER SON CYCLE DE VIE.

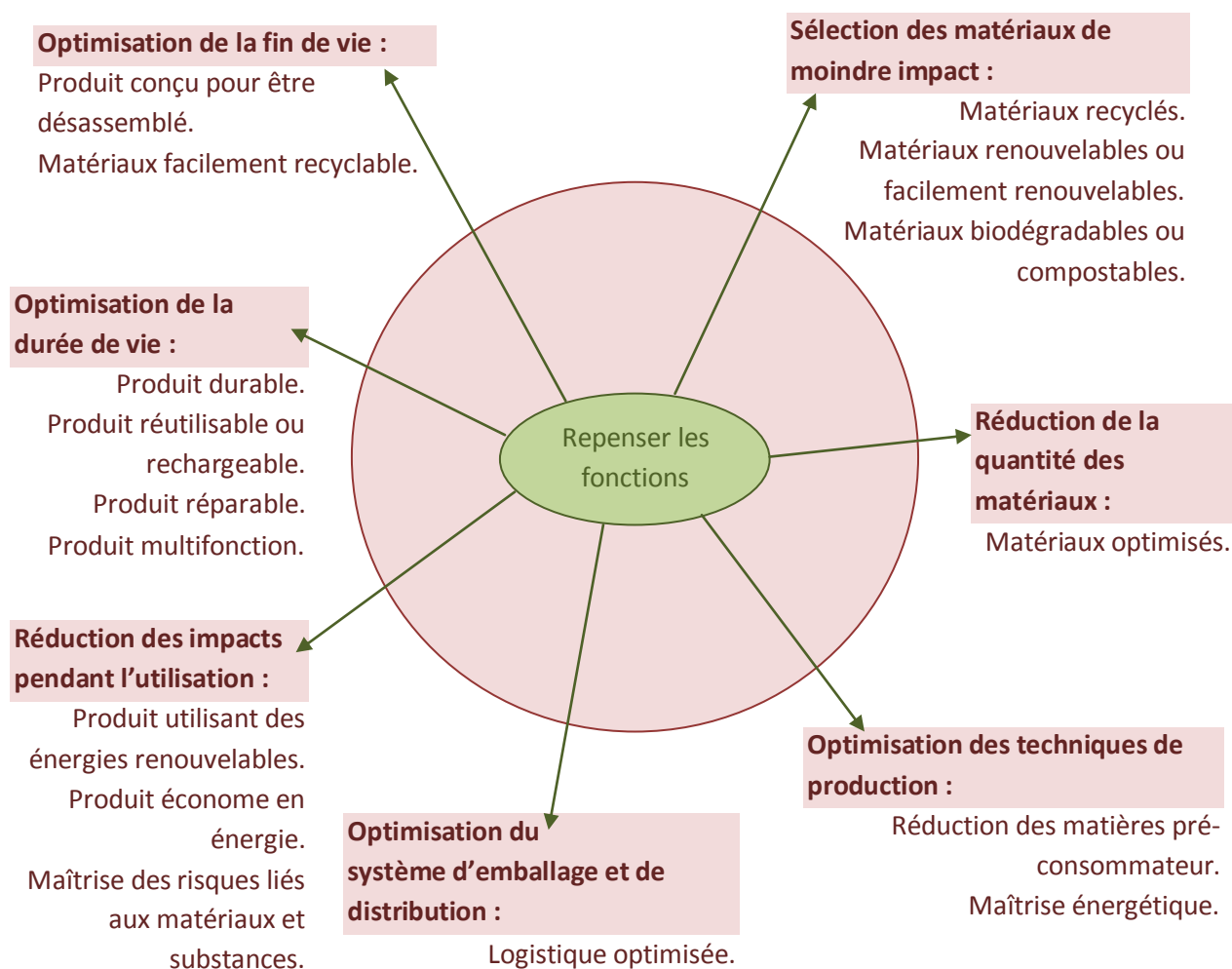
- ✓ Evaluer le service rendu par le projet (le chiffrer par rapport à son unité fonctionnelle).
- ✓ Identifier les étapes du cycle de vie du produit et ses composants

3. IDENTIFIER LES SOURCES D'IMPACTS.

- ✓ Utilisation des méthodes d'analyses.

4. RECHERCHER DES PISTES D'AMELIORATIONS.

Le dernier point peut se décliner en travaillant suivant 7 axes s'articulant autour d'un axe central.



4.5 - Utilisations des techniques d'assemblages en fonction des stratégies environnementales :

Sur les sept axes nous permettant de réaliser des améliorations sur le produit certains se développent plus particulièrement en fonction de la stratégie environnementale retenue par l'entreprise tandis que d'autres doivent être toujours pris en compte.

4.5.1 – L'axe à prendre en compte quelque soit la stratégie environnementale :

Optimisation des techniques de production :

Cet axe a pour objectif de diminuer le coût énergétique de production et de matières pré-consommateur. Il permet aussi de mettre en place une politique d'optimisation dans la fabrication en optimisant par exemple les stocks et les temps de réalisation du produit.

Agir sur le coût énergétique de production permet principalement de préserver les ressources naturelles utilisées pour la fabrication de l'électricité (Pétrole, Charbon, Gaz, Nucléaire...)

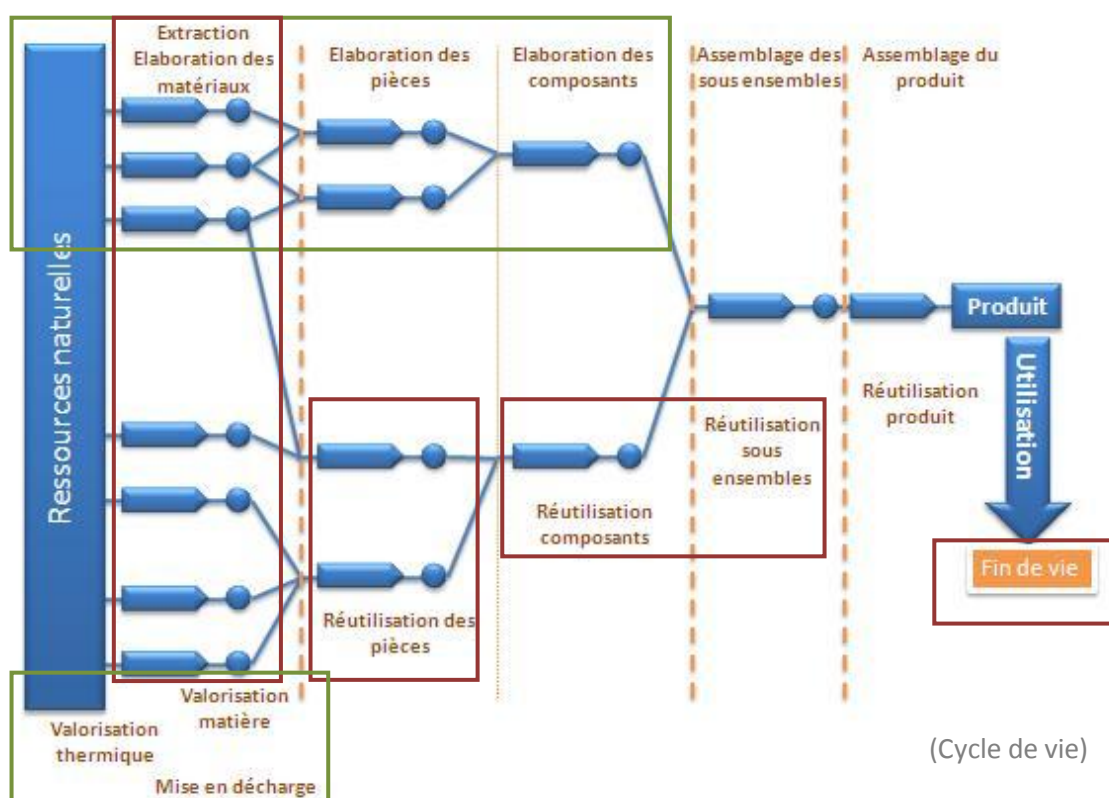
Il en va de même pour la réduction des matières pré-consommateur. On tâchera de diminuer la quantité de matière perdue pendant la fabrication (copeaux...), de choisir des procédés de fabrication utilisant le moins possible de matière complémentaire. Le procédé de fabrication le plus parlant est le soudage avec, par exemple, l'utilisation de l'acétylène. Dans ce but certaines entreprises développent de la soudure par laser ou la brasure sans plomb.

Enfin, Optimiser la fabrication permet d'avoir une réactivité plus significative. Cette réactivité trouve son origine dans les secteurs d'activités des entreprises. Il en découle une tendance à la modularité des produits. Pour le secteur informatique, la modularité des ordinateurs fût imposée par les consommateurs qui souhaitent une compatibilité et une évolutivité de leurs produits tout en gardant certains composants. Pour le domaine de l'automobile, la modularité vient de l'évolution et de la complexité des systèmes de production. Les constructeurs pour simplifier la fabrication externalisent la réalisation de certains systèmes vers leurs sous-traitants. Si nous ajoutons à cela la tendance d'un marché vers des produits de plus en plus diversifiés, il devient alors judicieux de concevoir les systèmes par sous-ensembles ou module. Chaque module pourra

s'adapter ou se compléter rapidement afin d'être utilisable pour l'ensemble d'une gamme de produit.

4.5.2 – Combinaison de la stratégie de préservation des ressources et de la stratégie de réduction des pollutions, des déchets et des nuisances :

Dans le cadre de ces deux stratégies l'analyse du cycle de vie devra être orientée vers les unités fonctionnelles du cycle de vie encadrées en rouge pour la préservation des ressources et en vert pour la réduction des pollutions.



Etudions la combinaison de ces 2 stratégies pour un produit jetable ou à faible durée de vie.

Stratégie de préservation des ressources :

Généralement les produits à très faible durée de vie sont réalisés en grande série. Dans ce contexte on doit faire l'effort d'optimiser l'utilisation des ressources naturelles par la collecte du produit en fin de vie. Cela permet de recycler la matière pour la fabrication des pièces en vue du produit suivant ou pour la réutilisation des pièces, sous ensembles ou composants.

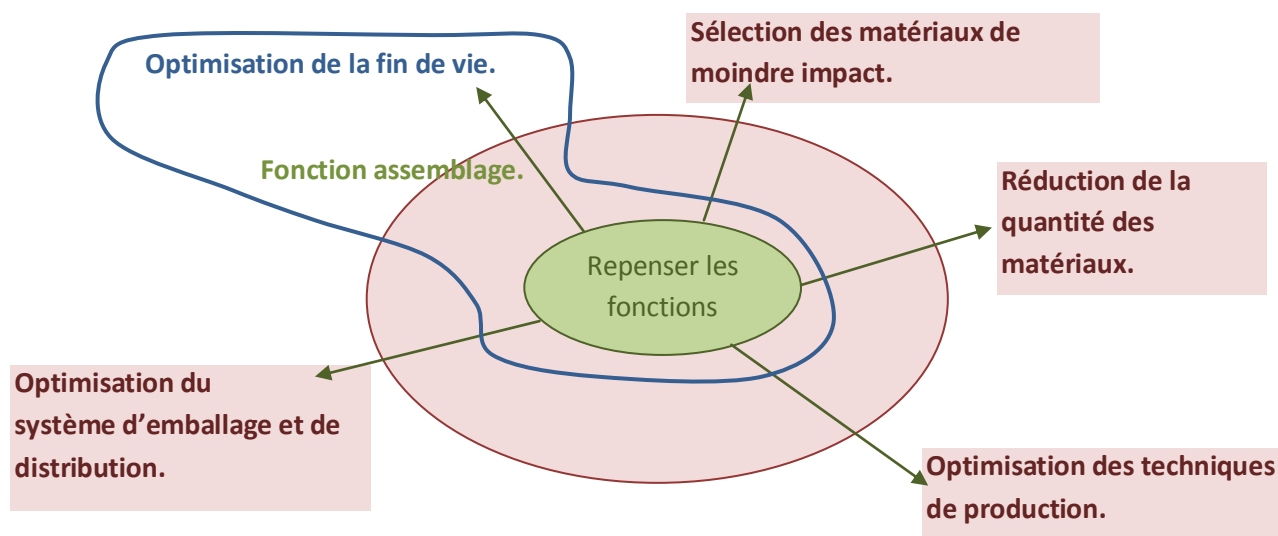
La stratégie de préservation des ressources s'inscrit aussi dans la réduction du nombre de matières premières. D'un point de vue de la conception on devra tâcher de diminuer au maximum le nombre de matériaux et de privilégier les matières premières renouvelables et/ou recyclables.

Stratégie de réduction des pollutions, des déchets et nuisances :

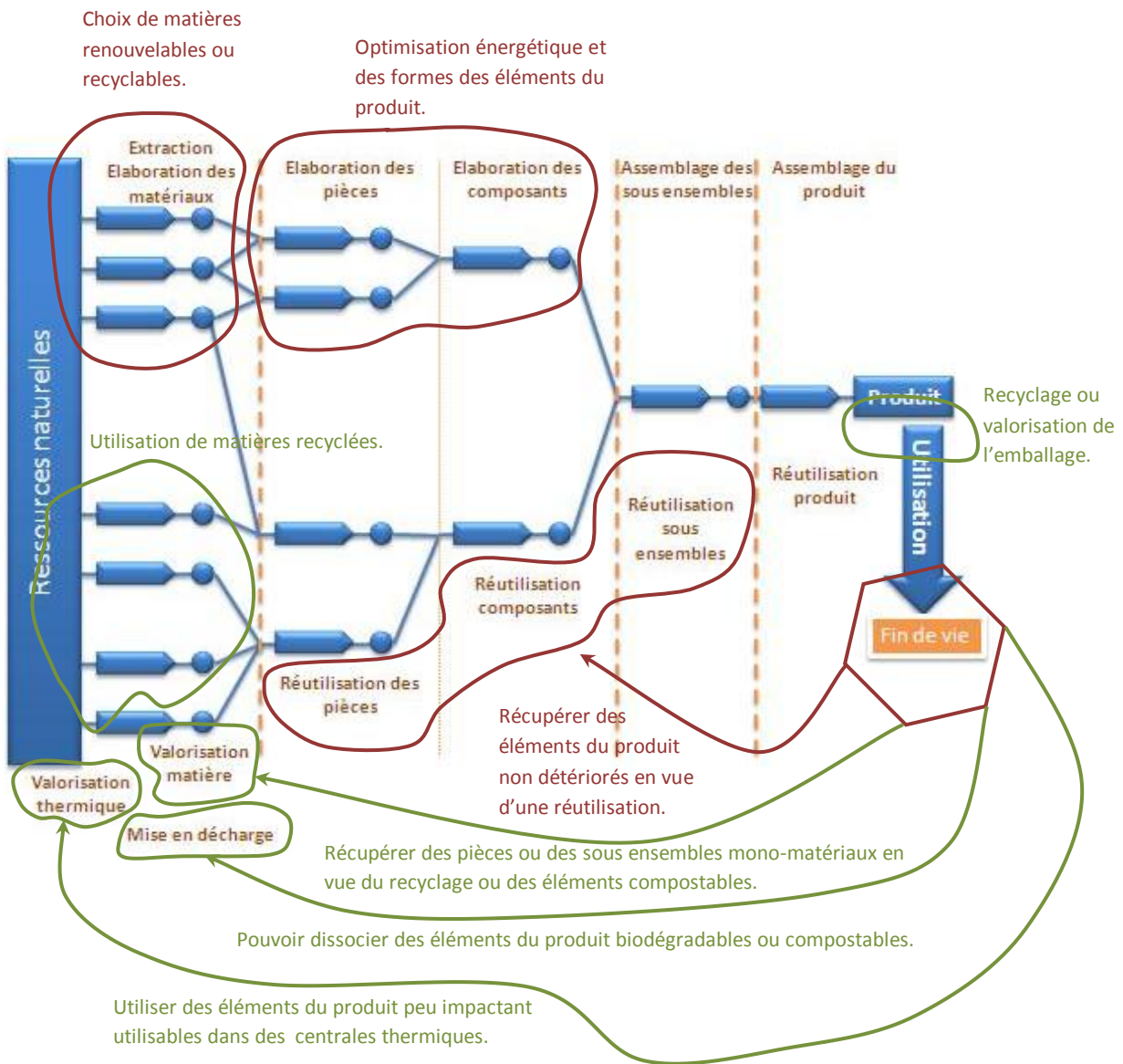
Cette stratégie complète la première en s'intéressant à l'emballage du produit tant au niveau de la conception (minimum de matière) qu'au niveau du recyclage. Dans l'objectif de diminuer la pollution ou les déchets on peut éventuellement orienter les produits vers des produits rechargeables, réutilisables ou valorisables d'un point de vue énergétique.

Enfin l'association des deux stratégies permet de mieux contrôler aussi les quantités énergétiques dépensées ou les matières pré-consommateurs utilisées dans les processus de fabrication.

Axes d'études et unités fonctionnelles pour ces deux stratégies :



La fonction assemblage de notre système intervient principalement sur l'axe de l'optimisation de la fin de vie. Concrètement, le choix des techniques d'assemblages intervient sur l'unité fonctionnelle relative à la fin de vie du produit.



La fonction assemblage doit permettre :

1. De récupérer des éléments du produit non détériorés en vue d'une réutilisation.
2. De récupérer des pièces ou des sous ensembles mono-matériaux en vue du recyclage de la matière ou pour son compostage.
3. De pouvoir dissocier des éléments du produit biodégradables pour une mise en décharge.
4. De pouvoir utiliser des éléments du produit peu impactant pour l'environnement et utilisable pour la fabrication d'énergie.

Finalement, La fonction d'assemblage dépend d'un point de vue environnemental de la nature du matériau en ce qui concerne le recyclage ou de la réutilisation partielle ou totale du produit.

Dans le cadre de la réutilisation :

Dans le cas de la réutilisation d'un composant ou d'une pièce la technique d'assemblage doit être démontable afin de pouvoir extraire l'élément à réutiliser.

Dans le cas de la réutilisation d'un sous ensemble, son extraction du produit impose aussi une liaison démontable mais les techniques d'assemblages interne au sous ensemble peuvent être démontable ou non.

	Réutilisation
	Technique d'assemblage au sein d'un sous ensemble
Assemblage multi matériaux	<ul style="list-style-type: none"> - Assemblage démontable dans le cas d'une maintenance avant réutilisation (changement de composants : joints d'étanchéité...) - Assemblage non démontable s'il existe une solution de recyclage pour la phase ultime de sa vie ou si cette solution privilégie une matière première renouvelable (cas de matériaux composites).
Assemblage Mono matériau.	<ul style="list-style-type: none"> - Assemblage non démontable à privilégier dans le cas de structures rigides (structure tubulaire par exemple) - Assemblage démontable si l'utilisateur doit agir à l'intérieur du sous ensemble.

Dans de cadre du recyclage :

Si on souhaite recycler la matière dans le but de créer de nouvelles pièces ou composants la solution d'un assemblage démontable s'impose sauf si on se trouve dans le cas d'assemblage mono matériaux rigide.

Dans le cadre d'une mise en décharge :

Si la mise en décharge ne concerne qu'une partie du produit là aussi l'assemblage démontable est indispensable. Il faut cependant faire très attention à l'impact environnemental.



Dans le cadre de la valorisation thermique :

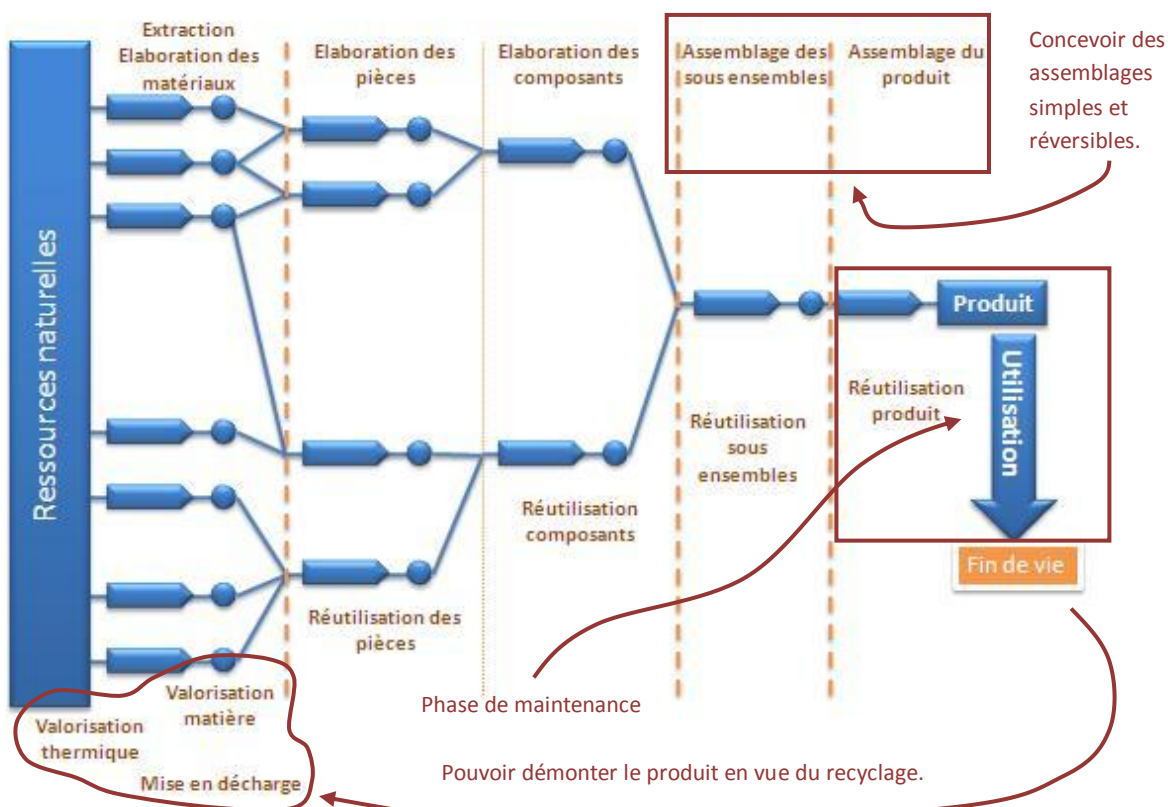
Pour ce critère, il est possible d'envisager une liaison non démontable même si l'on doit passer par la destruction de celle-ci.

4.5.3 - Stratégie d'optimisation du service rendu par le produit.

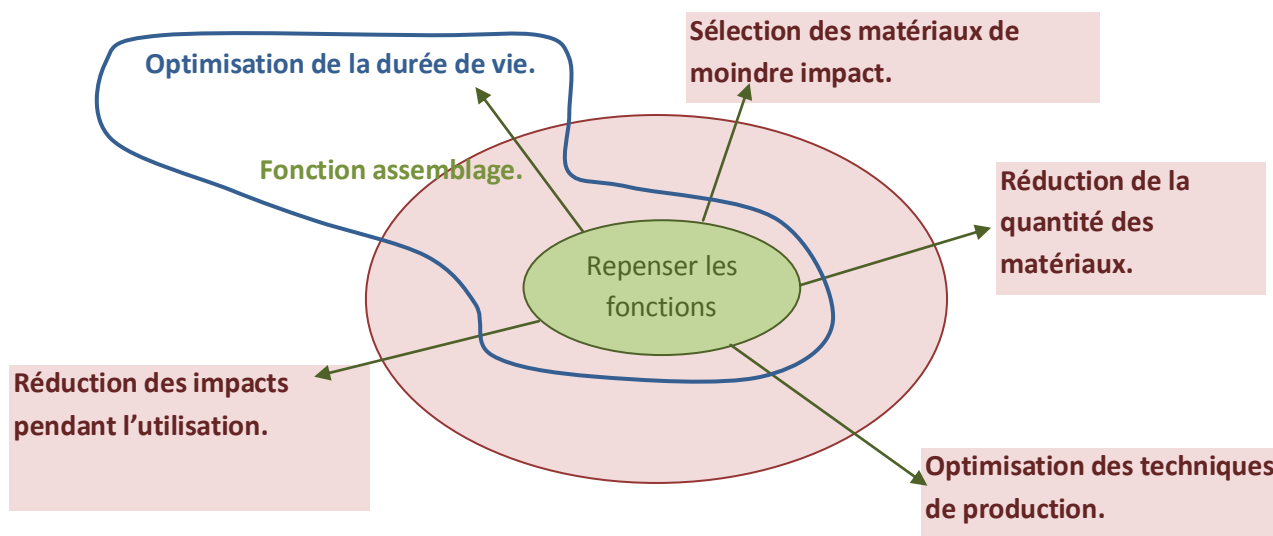
Comme sa dénomination l'indique cette stratégie cherche à augmenter la durée de vie d'un produit. Elle doit donc être utilisée pour des produits à durée de vie moyenne afin d'optimiser son service par la maintenance. Il est recommandé :

1. D'éviter ou de réduire les pièces qui s'usent.
2. De contrôler l'usure.
3. De pouvoir changer facilement les pièces altérées.
4. D'améliorer et détendre la protection des pièces susceptibles de corrosion pour toute la durée de vie.
5. De joindre aux produits les documents nécessaires à l'entretien et au changement des pièces d'usure.
6. De faciliter le démontage des éléments constitutifs des appareils.
7. De rapprocher les pièces ayant le même temps d'usure.
8. D'harmoniser les séquences de maintenance.

Cette stratégie intervient dans les unités fonctionnelles du cycle de vie suivantes :



Cette stratégie s'inscrit dans le développement de produit durable, réutilisable ou rechargeable, de produit réparable ou de produit multifonctions. Elle permet de contrôler l'utilisation des ressources naturelles pendant la phase de fonctionnement et de réduire aussi les éventuelles externalités négatives. Ainsi le développement des techniques d'assemblages doit répondre aux critères de recyclage et aux contraintes de maintenance.



La fonction assemblage doit permettre :

1. De pouvoir changer facilement les pièces altérées.
2. De faciliter le démontage des éléments constitutifs des appareils.
3. De rapprocher les pièces ayant le même temps d'usure.
4. De joindre aux produits les documents nécessaires à l'entretien et au changement des pièces d'usure.
5. D'harmoniser les séquences de maintenance.

Changer facilement les pièces altérées :

Cette contrainte impose un assemblage démontable. Il faudra veiller à minimiser le nombre d'outils indispensables au démontage des éléments à remplacer et simplifier les processus de désassemblage.

Regrouper les pièces ayant le même temps d'usure :

Minimiser le temps d'intervention lors des phases de maintenance fait aussi partie des concepts de l'éco-conception. Il est donc préférable de positionner les éléments ayant le même temps d'usure à proximité les uns des autres afin de ne pas avoir la quasi-totalité du produit à démonter.

Joindre au produit les documents nécessaires à l'entretien et au changement des pièces d'usure :

La notice de maintenance pour les techniciens est un document indispensable. Il est souhaitable d'inclure aux consignes relatives aux remplacements des pièces un texte expliquant le démontage total du produit en vue du recyclage.

Harmoniser les séquences de maintenance :

Il ne faut pas oublier que l'intervention de spécialiste pour la maintenance génère des externalités négatives (émission de dioxyde de carbone lors du déplacement et consommation énergétique). Ainsi dans le but de les minimiser il est souhaitable de regrouper au mieux les opérations de maintenance. Cette organisation implique un effort à faire lors de la conception et de choisir les composants ayant un temps d'usure similaire.

D'une manière générale, la maintenance implique un assemblage statique démontable. On peut envisager un assemblage statique non démontable que s'il s'agit d'un sous-ensemble (en mono-matériau de préférence) pouvant se désolidariser de la structure du produit facilement, en vue de son remplacement ou du changement d'un composant adjacent au sous-ensemble.

4.6 – Comparaison des techniques d'assemblages :

Pour cibler les caractéristiques des techniques d'assemblages en fonction des exigences environnementales et en fonction des contraintes techniques on réalise un graphique sous forme de radar. On définit 6 critères pour les exigences environnementales et 5 critères pour les contraintes techniques. Chaque critère est évalué entre 0 et 5. En ce qui concerne les exigences environnementales Le 0 correspond à une utilisation inadaptée de cette technique tandis que le 5 à une utilisation optimale. Les critères sont définis en rapport avec les techniques d'assemblages.

- 1- **Réduit la diversité des matériaux** : Ce critère s'inscrit dans une stratégie de préservation des ressources. Il indique la capacité d'un assemblage à ne pas ajouter des matériaux différents des éléments à assembler en ce qui concerne les composants de fixation. Exemple : l'assemblage de pièces en

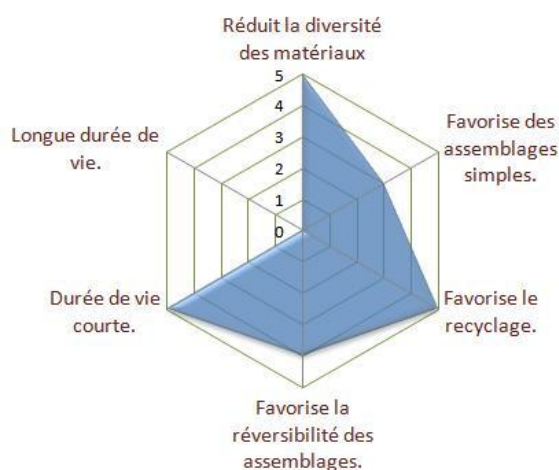


matière plastique par des vis métallique ne contribue pas à la réduction de matériaux pour le produit.

- 2- **Favorise des assemblages simples** : Ce critère évalue le processus de réalisation de l'assemblage. La complexité de la méthode d'assemblage peut impliquer des externalités négatives élevées en termes de matière pré-consommateur, de coût énergétique, de temps de réalisation... Exemples : Conception d'une structure mécano soudé par plasma, structure rigide collée, frettage sévère nécessitant une préparation préalable des éléments à fixer. Fixation par vissage avec contrôle du couple... Ce critère est à mettre à l'actif d'une stratégie de préservation des ressources pour le coût énergétique et pour la matière pré-consommateur. La réduction des déchets et pollution peut être aussi utile si les matières pré-consommateur génèrent des déchets nuisibles pour l'environnement ou les personnes.
- 3- **Favorise le recyclage** : La technique d'assemblage doit permettre la dissociation des éléments du produit en vue du recyclage, d'une valorisation ou d'une mise en décharge. Ce critère est à prendre en compte dans le cadre de la réduction des déchets, nuisances et pollution ainsi que pour la préservation des ressources naturelles.
- 4- **Favorise la réversibilité des assemblages** : Ce critère fait référence à la fois à la capacité d'un assemblage à pouvoir se dissocier relativement facilement dans le cadre de la maintenance mais aussi de la possibilité de séparer les éléments durant le processus d'assemblage lors de la fabrication du produit. En effet, avant la vente du produit des tests de qualité peuvent être effectués. Il est donc écologiquement responsable de pouvoir remplacer le composant ou la pièce défectueuse plutôt que de mettre au rebus le produit en entier. Ce critère participe donc à la fois à la stratégie d'optimisation du service rendu, de préservation des ressources et de réduction des déchets et pollution.
- 5- **Durée de vie courte / Longue** : Ce critère indique si la technique d'assemblage peut perdurer dans le temps ou non.

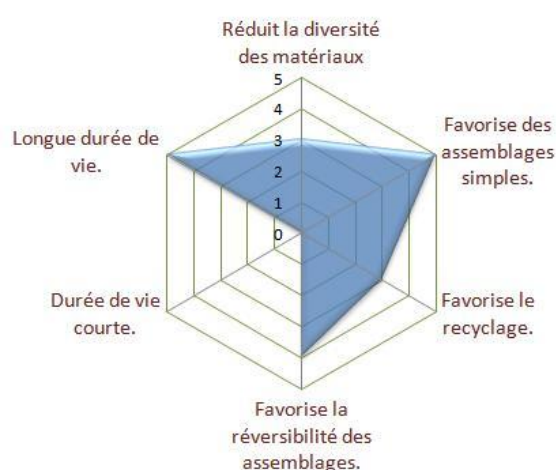
L'ensemble des informations compilées dans la conception d'un produit en éco-design et Les critères cités ci-dessus permettent de définir les profils types des techniques d'assemblages en fonction de la durée de vie des produits.

1 – Profil d'une technique d'assemblage pour un produit jetable ou à faible durée de vie :



- Pour ce type de produit l'entreprise adoptera une **stratégie de réduction des pollutions, des déchets et des nuisances**. Les axes principaux sont le recyclage des pièces et la réduction de la diversité des matériaux en vue de diminuer l'utilisation des matières premières.

2 – Profil d'une technique d'assemblage pour un produit possédant une longue durée de vie :



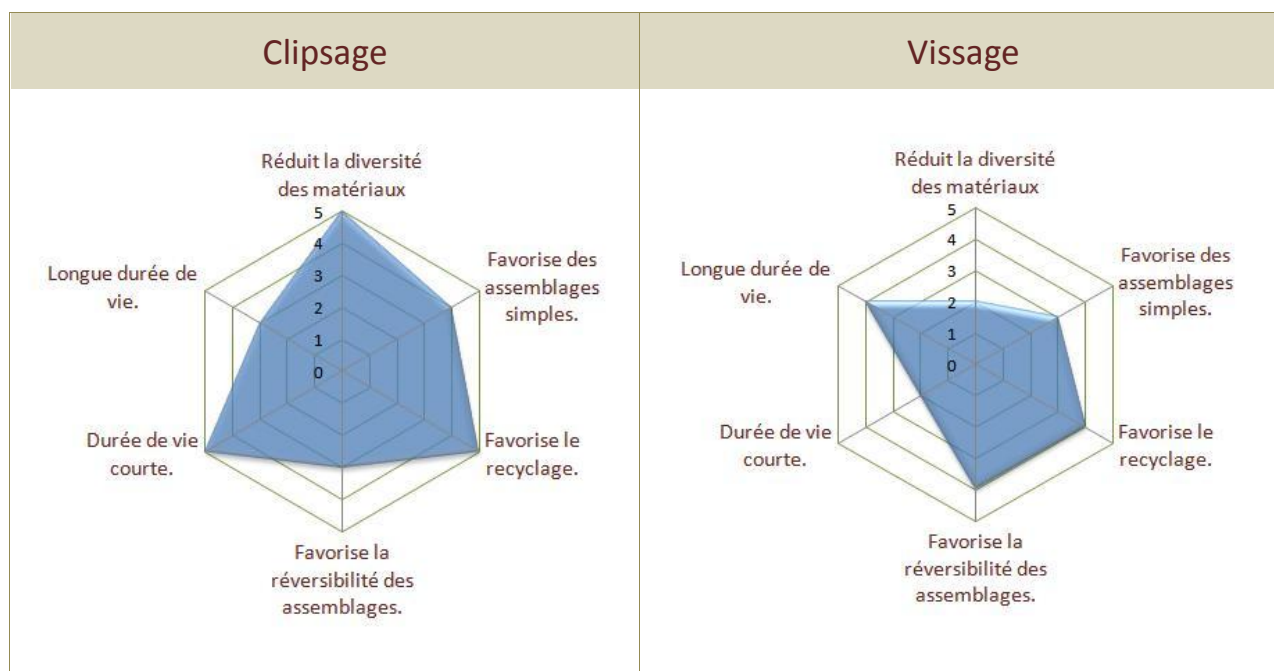
- Dans ce cas l'entreprise peut choisir une **stratégie d'optimisation du service rendu** associée à une **stratégie de préservation des ressources**. La stratégie de préservation des ressources est gérée principalement par une analyse du cycle de vie. Il est important d'exercer tout particulièrement des efforts sur la conception d'assemblage simple et sur leur réversibilité.



4.6.1 - Comparaison des techniques d'assemblages statiques démontables :

Les graphiques ci-dessous représentent des pondérations apportées pour chaque critère environnemental et technique. Le tableau ci-après indique les avantages et inconvénients de ces deux techniques d'assemblages.

En ce qui concerne les exigences environnementales :



En ce qui concerne les contraintes techniques :

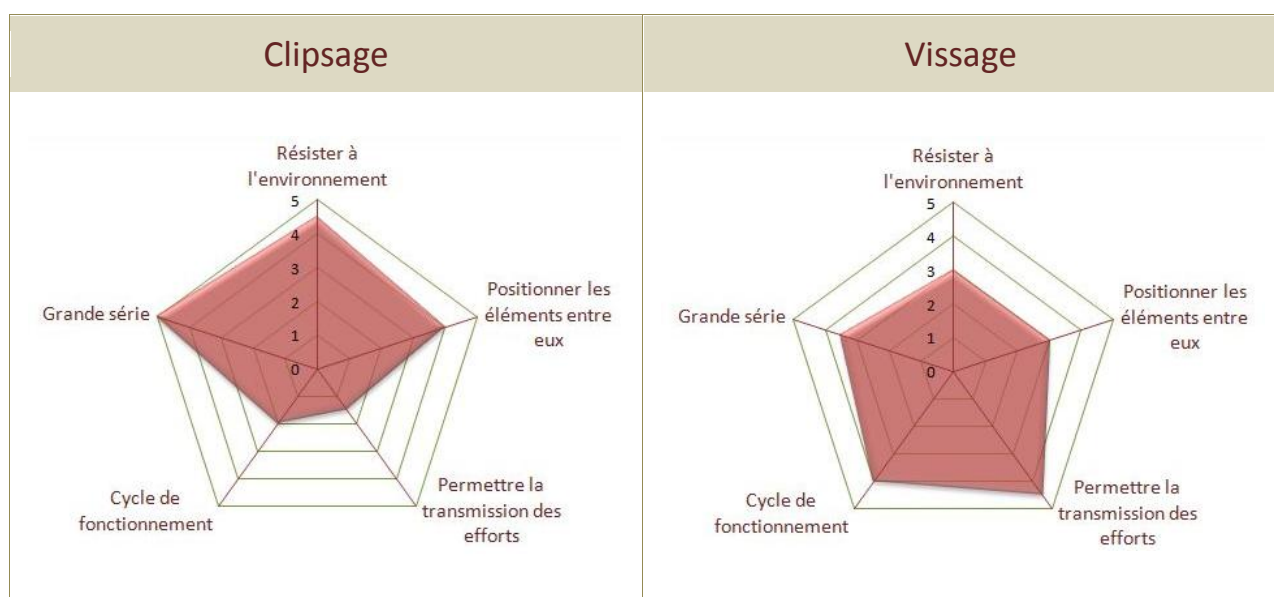
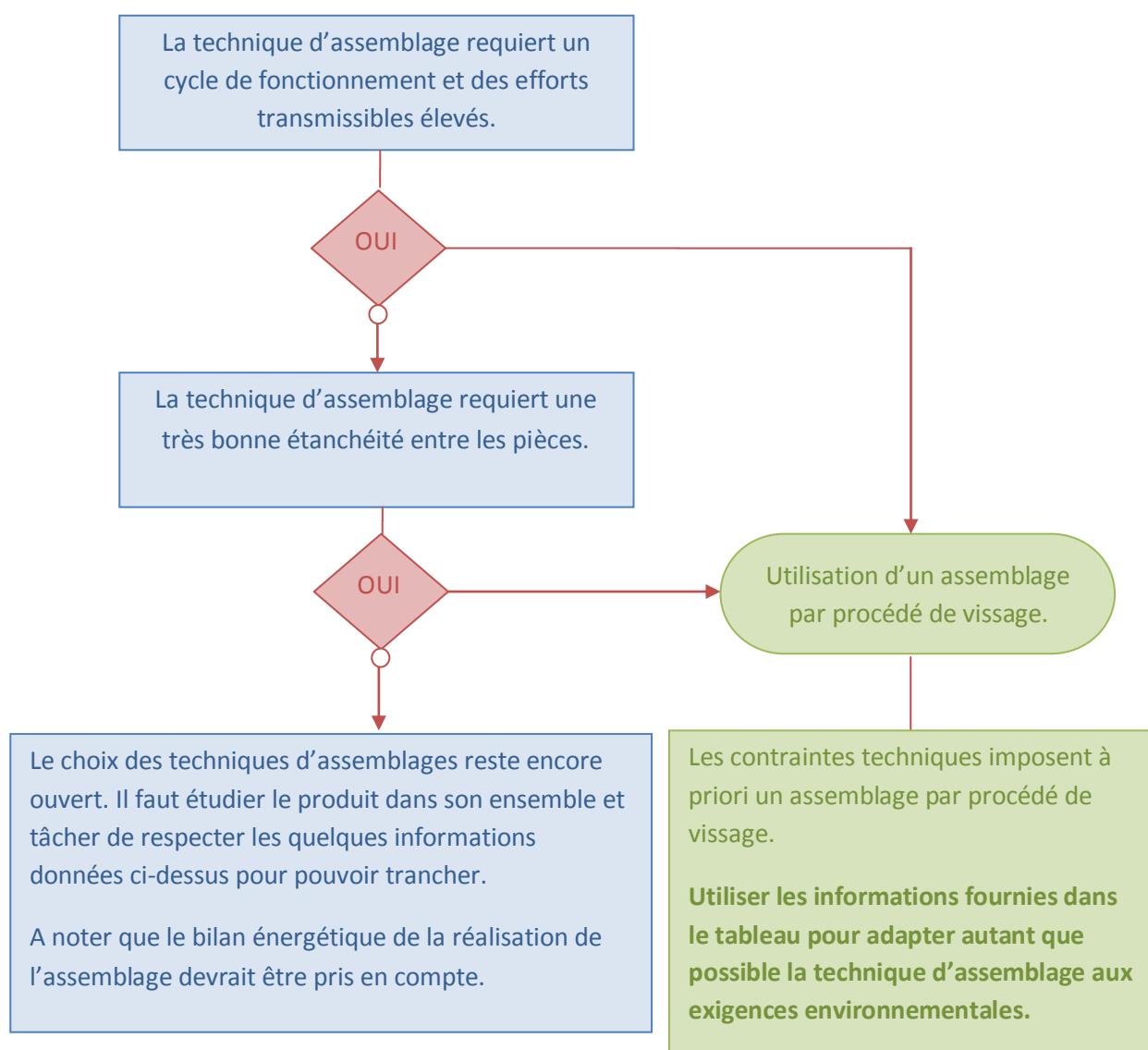


Tableau de choix dans la liaison statique démontable :

		Liaison statique démontable	
		Vissage	Clipsage
Réduit la diversité des matériaux.	Avantage		- Supprime tous composants nécessaires à la fixation.
	Inconvénient	- Incorpore des composants supplémentaires pour la fixation. - Prévoir si possible des matériaux identiques entre les pièces à assembler et les éléments de fixation.	
Favorise des assemblages simples.	Avantage	- Les zones de fixations sont clairement identifiables.	- Ne nécessite pas d'outils particuliers voir aucun. - Simple à monter et démonter si les clips de fixation sont clairement identifiés
	Inconvénient	- Nécessite des outils pour la réalisation et/ou le contrôle du serrage. - Eviter la diversité des outils.	- Ne peut pas être réalisé pour tous les matériaux. - Peut rendre la conception d'une pièce plus complexe.
Favorise le recyclage.	Avantage	- Permet de dissocier les éléments assemblés sans destruction.	
	Inconvénient	- Eviter d'utiliser des adjuvants permettant de bloquer les éléments filetés (incidence sur les phases de nettoyage).	
Favorise la réversibilité des assemblages.	Avantage	Le caractère démontable de cette liaison implique la réversibilité des assemblages.	
	Inconvénient		- A condition de concevoir des clips réversibles.
Durée de vie courte.	Avantage		- La simplicité du processus de montage ou démontage de cette technique s'intègre parfaitement pour des produits ayant une faible durée de vie.
	Inconvénient	- Prévoir la réutilisation des composants de fixation ou leur recyclage. - A utiliser si on dispose d'une fiche technique précisant l'ordonnancement du démontage avec des outils simplifiant le processus (énergie électrique).	
Longue durée de vie	Avantage	- A favoriser pour des séquences de maintenance régulières.	- A utiliser si les fréquences de montage et démontage sont très faibles.
	Inconvénient		- Risque de rupture des clips d'assemblages (vieillessement des matériaux plastiques, fatigue).
Résister à l'environnement	Avantage	- La diversité des composants sur le marché permet de répondre parfaitement à ce critère.	- Cette méthode offre une bonne résistance au milieu extérieur.
	Inconvénient		- Ne permet généralement pas une bonne étanchéité entre les pièces.
Positionner les éléments entre eux.	Avantage	- A favoriser pour des produits volumineux.	- efficace pour des produits de faibles dimensions.
	Inconvénient		

Permettre la transmission des efforts.	Avantage	- Permet une très bonne transmission d'efforts entre les pièces à assembler.	
	Inconvénient		- Ne permet pas de transmettre des efforts importants entre les pièces.
Cycle de fonctionnement	Avantage	- Permet un bon cycle de fonctionnement.	
	Inconvénient	- Contrôler le couple de serrage afin de ne pas abimer les parties filetées. - Remplacer certains composants à chaque démontage (rondelle, joints...)	- A éviter pour un cycle de fonctionnement élevé dû au phénomène de fatigue.
Grande série.	Avantage		- A favoriser pour la réalisation de pièce en matière plastique.
	Inconvénient		

Organigramme décisionnel du point de vue technique :



4.6.2 - Inventaire des techniques d'assemblages statiques non démontables :

L'évaluation des techniques d'assemblages non démontables est difficilement quantifiable par rapport aux critères fixés par l'éco-conception. Elle ne favorise ni le désassemblage des éléments en vue du recyclage ni la maintenance. Cependant on ne peut pas négliger ces techniques.

D'une manière générale on peut d'ores et déjà indiquer que les techniques d'assemblages statiques non démontables peuvent être utilisées uniquement si, dans une optique de stratégie d'optimisation du service rendu, elles ne gênent pas les opérations de maintenance. Le choix de ces techniques dépendra, en dehors de contraintes techniques ou technologiques, des éventuelles matières pré-consommateurs qu'elles peuvent générer et de leur coût énergétique ; que ce soit pour les unités fonctionnelles d'assemblages, d'utilisation du produit ou du recyclage.

En ce qui concerne le recyclage, un assemblage non démontable peut être largement envisagé s'il n'est pas nécessaire de désolidariser les éléments de cette liaison pour la valorisation, la mise en décharge ou le recyclage des matières.

Procédé de Soudage :

Le procédé de soudage peut être choisi à cause d'une contrainte technologique. Il semble difficile, actuellement, d'envisager un autre procédé pour la fixation des composants électronique sur une carte. Dans ce contexte, le recyclage de tel produits, multi matériaux, de faibles dimensions et réalisés généralement en très grande série exige des entreprises spécialisées capables de pouvoir trier les matériaux, de capter les émanations toxiques et les cloisonner. En 2002 la société ADEME estimait à 1 500 000 tonnes le nombre de déchets de ce type. Ainsi, tant qu'il n'existera pas un moyen plus adapté au recyclage pour l'assemblage des composants électroniques on devra focaliser nos efforts sur la collecte et les processus de recyclage.

Cependant, la soudure peut être aussi un excellent procédé d'assemblage d'un point de vue de l'éco-design. Il a l'avantage de lier des éléments constitués d'un même matériau. Dans ce contexte le recyclage d'une telle structure est largement facilité puisque le temps de désassemblage est diminué.

D'un point de vue des stratégies de conservation des ressources naturelles et de réduction des déchets, nuisances et pollution la soudure est totalement envisageable si :

- ✓ Le procédé de soudure choisi a fait l'objet d'une étude énergétique.
- ✓ Le procédé de soudure génère peu voire pas de matière pré-consommateur (soudure par laser ou par arc électrique)
- ✓ La soudure est utilisée pour des structures en mono-matériau recyclable pouvant être dissociable du produit sans altération de sa structure.
- ✓ La soudure est utilisée pour des ensembles pouvant être séparés du produit et sans altération majeure de sa structure en vue d'une valorisation.

Procédé de collage :

Si on focalise le procédé de collage sur la diminution des matières utilisées, du recyclage du produit ou de la réduction des déchets, il n'est pas certain que celui-ci fasse l'unanimité quant à son utilisation. En effet, le collage de pièces fait généralement appel à des protocoles particuliers qui peuvent nécessiter le nettoyage des composants (utilisation de solvants, d'eau...) et une consommation énergétique non négligeable si on considère le temps de séchage de certaines colles. On peut ajouter le problème du recyclage. Les flacons ou emballages accueillant la colle doivent être collectés puis nettoyés. Cela rajoute une matière pré-consommateur du point de vue du fabricant du produit à coller et non du fabricant de colle. Il faut penser aussi au recyclage des éléments assemblés par ce procédé. Même s'il s'agit de structure en mono matériau, si la fin de vie prévoit une valorisation thermique ou un recyclage de la matière on ne doit pas négliger les émanations toxiques provoquées par la colle. C'est ainsi que le recyclage de ces assemblages est généralement réalisé par destruction des liaisons ou broyage puis par nettoyage augmentant d'autant l'utilisation de ressources naturelles comme l'eau ou le coût énergétique.

Pourtant le collage peut être un choix imposé par des contraintes techniques liées aux matériaux. Citons comme exemple les matériaux composites utilisés dans l'aéronautique. Le procédé de fabrication génère inévitablement des externalités négatives mais nous devons aussi considérer le gain énergétique réalisé grâce à l'allègement des structures pendant la phase d'utilisation du produit. Ainsi, si la

réduction du dioxyde de carbone est un critère majeur dans l'évaluation environnementale du produit, alors toutes les techniques permettant l'allègement de la structure sont à considérer.

Nous devons aussi nous tourner vers les matières premières renouvelables. En effet, si le procédé de collage permet d'utiliser ce type de matériau, même s'il est composite, pour la conception de pièces, alors cette technique d'assemblage participe à la préservation des ressources naturelles. On pourra ainsi peut être prévoir une fin de vie en décharge pour ces pièces si la matière première est biodégradable ou compostable.

Le collage montre bien que l'éco-conception est une affaire de vision globale.

Le collage peut être envisagé si cette technique :

- ✓ Permet un gain énergétique durant la phase de fonctionnement sans augmenter trop significativement les externalités négatives.
- ✓ Est imposée par une contrainte technique privilégiant l'utilisation de matériaux collés.
- ✓ Permet d'inclure des matières premières renouvelables dans la conception des pièces du produit.
- ✓ Fait appel à une colle biodégradable.

Procédé de rivetage :

La particularité de cette technique est qu'elle se réalise pour des pièces de faibles épaisseurs. On l'associe généralement à l'assemblage de pièces de tôlerie dont les dimensions longitudinales peuvent être importantes.

D'un point de vue technique le rivetage impose le perçage des éléments à fixer pouvant fragiliser localement la structure.

D'un point de vue du recyclage, la séparation d'éléments liés par ce procédé implique la destruction des rivets. Cette contrainte génère des déchets de faibles dimensions que l'on doit pouvoir récupérer. Cependant il peut être judicieux d'utiliser cette technique si les pièces ainsi assemblées et les rivets ont le même

matériau. On supprime ainsi la phase de destruction pour le recyclage de la matière.

On peut ajouter aussi que le rivetage peut augmenter d'une manière significative le poids du produit agissant ainsi sur la consommation énergétique durant les phases de distribution ou d'utilisation.

Procédé de frettage :

Traditionnellement utilisée sur des pièces de révolution, le frettage a la particularité de garantir à la fois le serrage mais aussi une partie du positionnement. Cette technique, même si elle est considérée comme un assemblage non démontable, peut permettre un désassemblage des éléments en choisissant judicieusement ses ajustements. Ce choix doit, bien évidemment être en accord avec les actions mécaniques transmissibles.

