



HAL
open science

Écoconception et innovation à partir d'agroressources : objectif ou contrainte?

Patrick Castéra, Amadou Ndiaye, Christophe Fernandez, Franck Michaud

► **To cite this version:**

Patrick Castéra, Amadou Ndiaye, Christophe Fernandez, Franck Michaud. Écoconception et innovation à partir d'agroressources : objectif ou contrainte?. 9. Colloque Sciences et Industrie du Bois, Nov 2008, Bordeaux, France. hal-01219003

HAL Id: hal-01219003

<https://hal.science/hal-01219003>

Submitted on 21 Oct 2015

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.

Ecoconception et innovation à partir d'agroressources

Objectif ou contrainte ?

Patrick CASTÉRA⁽¹⁾
Amadou NDIAYE⁽¹⁾
Christophe FERNANDEZ⁽¹⁾
Franck MICHAUD^{(2) (3)}

(1) INRA, UMR US2B

Université Bordeaux 1, 351, Cours de la Libération, 33405 Talence cedex (France)

{castera, ndiaye, fernandez}@us2b.pierroton.inra.fr

(2) Université Bordeaux 1, UMR US2B

Université Bordeaux 1, 351, Cours de la Libération, 33405 Talence cedex (France)

(3) Ecole Supérieure du Bois, Atlanpôle, rue Christian Pauc, BP 10605 Nantes (France)

Franck.michaud@ecoledubois.fr

RÉSUMÉ. Cet article présente une méthodologie d'écoconception basée sur une démarche d'optimisation multi-objectifs. Une telle démarche, appliquée à l'optimisation du profil environnemental d'un platelage en bois polymère, offre une plus grande liberté de choix de conception par une exploration plus large de l'espace de recherche, et permet l'obtention d'un ensemble de solutions Pareto-optimales en conception préliminaire. Elle suppose cependant une analyse prédictive du cycle de vie et la gestion d'une quantité importante de données. Dans le cas du platelage, on peut montrer que l'utilisation d'agro-ressources n'est pas le seul choix pertinent dans un contexte d'objectifs contradictoires.

ABSTRACT. This paper presents a methodology for the eco-design of a composite, based on a multi-objective optimisation approach. Such an approach has been applied to the environmental optimisation of a wood polymer decking, and offers a large choice of solutions in terms of design due to a wider search space. Moreover it provides a set of solutions that are optimal in the sense of Pareto for preliminary design. However the method implies a predictive life cycle analysis and the management of a large set of data and knowledge. In the case of decking, it is shown that the use of wood or annual fibres is not the only consistent choice for the eco-design in a context of contradictory objectives.

MOTS-CLÉS: Ecoconception, platelage bois polymère, optimisation multi-objectifs

KEYWORDS: Ecodesign, wood polymer decking, multi-objective optimisation

1. Introduction

La prise en compte de critères d'impact environnemental dans la conception préliminaire de semi-produits ou d'unités fonctionnelles complètes préoccupe de plus en plus les entreprises. L'analyse du cycle de vie (ou ACV) ayant aujourd'hui valeur de norme internationale pour l'évaluation de tels impacts, c'est d'ailleurs en toute rigueur au niveau système qu'il faut se placer. C'est en effet le seul moyen de comparer le coût environnemental de différents produits remplissant la même fonction. Le fait que l'ACV suppose une connaissance précise de toutes les étapes de la vie du produit, depuis la production des matières premières jusqu'à sa destination en fin de vie (figure 1), rend cependant délicate son utilisation en conception préliminaire. Une façon d'aborder le problème serait de se focaliser sur l'un des sous-systèmes, considéré comme indépendant des autres. C'est typiquement le cas lorsque l'on cherche à modifier la quantité ou la nature d'une colle pour minimiser les émissions de COV dans un panneau. La démarche de conception sera différente selon que l'on s'intéresse à un procédé/produit dont on cherche à améliorer les caractéristiques environnementales pour satisfaire une contrainte réglementaire en perturbant le moins possible le mode de fabrication, ou à une « fonction produit » dont on cherche à optimiser le profil environnemental sans se restreindre à un procédé particulier. Dans le premier cas, le plus fréquent pour un industriel fabricant, le designer est tributaire des évolutions régulières en matière de réglementation, et peut se trouver dans l'impossibilité, à un moment donné, de satisfaire à la fois des exigences techniques et environnementales dans un schéma de production donné. La seconde approche est plus une approche de type « utilisateur », ce qui élargit l'espace de recherche, et peut être abordée soit en recherchant un optimum environnemental dans un espace contraint par un cahier des charges fonctionnelles, soit par optimisation multi-objectifs. L'exemple envisagé dans cette étude concerne l'optimisation du profil environnemental d'un platelage extérieur. Le choix initial s'est porté sur un composite à matrice thermoplastique et charge bois, cette solution permettant notamment l'utilisation de coproduits industriels ou de matière recyclées. Il s'agit donc d'une approche mixte entre l'utilisateur et le fabricant.

Cet article a pour objectif de montrer, à partir de l'exemple considéré, l'intérêt d'une approche d'optimisation multi-objectif en éco-conception par rapport à des méthodes conventionnelles de R&D impliquant une entreprise et un laboratoire sur un sujet spécifique. Ce travail, auquel participe le FCBA pour la partie environnement notamment, a reçu le soutien financier de l'ANR via le programme Precodd, et conduit à l'élaboration d'un code logiciel de conception multi-objectifs.

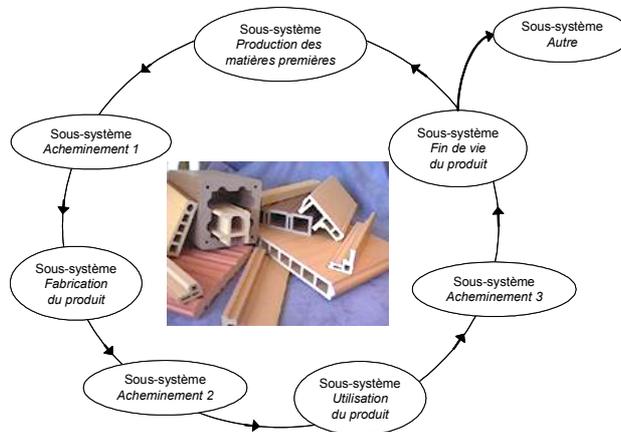


Figure 1. Représentation schématique de la vie d'un produit

2. Bases de la conception d'un WPC¹ : prise en compte d'indicateurs d'impact environnemental

Les composites à matrice thermoplastique et renforts bois (WPC) constituent un bon exemple d'une démarche d'éco-conception : développés initialement en Amérique du Nord comme des matériaux de recyclage – plastiques et papiers – ils permettent également de réduire significativement la consommation de plastique issu de l'industrie pétrochimique. Il y a donc à la fois dans leur développement un avantage économique certain et un intérêt environnemental potentiel. Utilisés en platelage extérieur ou en bardage, ces produits révèlent toutefois un certain nombre de faiblesses et de contradictions : afin de permettre une extrusion homogène et éviter que le matériau ne devienne fragile, une quantité minimale de thermoplastique (de l'ordre de 30% dans le cas d'un composite PEHD/bois) est nécessaire. De plus, pour améliorer la compatibilité entre les deux composants, dont l'un est polaire, l'autre apolaire, des additifs chimiques sont ajoutés à la formulation.

L'ACV réalisée par le FCBA dans le cadre de cette étude (Cornillier *et al.*, 2008) fait apparaître de manière quantifiée l'impact environnemental de la composante thermoplastique sur différents indicateurs :

- Consommation d'énergie matière non renouvelable : elle est directement liée à la quantité de polymère non recyclé lorsque celui-ci est d'origine fossile (PEHD, PP, PVC,...), et aux additifs ;

¹ WPC : wood polymer composite = bois plastique

- Consommation d'énergie procédé associée à la production du composite : elle comprend la mise à disposition des matières premières (transport, conditionnement), et la fabrication du composite ; cette consommation peut être régulée en fonction de la nature et des proportions des différentes matières premières pour ce qui concerne leur mise à disposition, la phase de fabrication étant par hypothèse indépendante de la composition, au moins dans une approche préliminaire ;

Ces deux grandeurs contribuent au calcul de l'indicateur *épuiement des ressources abiotiques* (era).

- Emissions de CO₂ et indicateur *effet de serre* : ces grandeurs sont fortement tributaires de la quantité de bois présente dans le composite, et du mode de valorisation en fin de vie ; dans le cas d'un enfouissement technique en fin de vie, le bilan CO₂ est favorable pour un composite contenant de l'ordre de 60% de bois en masse sèche, mais il reste négatif sur l'indicateur *effet de serre* à cause des biogaz produits lors de la dégradation. L'enfouissement a également un *impact sur le milieu aquatique* (eutrophisation et toxicité).

On peut donc paramétrer certaines fonctions environnementales par des variables de conception dans la limite de validité des hypothèses de l'ACV, pour autant que l'on connaisse les interactions entre ces variables et les différentes étapes du cycle de vie. D'autre part, dans le problème considéré ici, trois sous-systèmes (cf. figure 1) apparaissent primordiaux : l'étape de production des matières premières, l'étape de fabrication du composite, et sa destination en fin de vie. Ces trois sous-systèmes doivent donc être considérés simultanément dans la démarche de conception.

REMARQUE. – la phase d'utilisation du produit est neutre vis-à-vis de ces indicateurs environnementaux. La première raison en est que la durée de vie est supposée constante (25 ans) quelle que soit la solution envisagée. Ceci n'est rigoureusement pas exact puisque l'on sait qu'augmenter la quantité de matières biodégradables, par exemple, est susceptible d'altérer la durabilité en extérieur, et implique l'apport de nouveaux additifs. La seconde raison est que la toxicité du produit en service est supposée nulle, résultat non avéré aujourd'hui.

Dans la conception multi-objectifs, dont le principe est présenté dans la section suivante, on intègre au cahier des charges fonctionnelles des fonctions environnementales paramétrées. L'espace d'optimisation concerne ici deux des trois sous-systèmes susmentionnés, l'étape de fabrication étant supposée constante. Remettre en cause certains éléments du procédé de fabrication pourrait pourtant apporter d'autres solutions peut-être plus innovantes (en utilisant par exemple la co-extrusion pour modifier les propriétés de surface), mais la mise en œuvre industrielle devient plus difficile.

3. Conception par optimisation multi-objectifs : une démarche pro-active en éco-conception

La conception par optimisation multi-objectifs implique l'optimisation de plusieurs objectifs contradictoires simultanément. Si on prend un exemple simple qui consiste à minimiser simultanément les deux fonctions suivantes : $f_1(x) = x_1$ et $f_2(x) = x_2/ax_1$, l'amélioration du premier objectif ($f_1(x)$) s'accompagne de la dégradation du second objectif ($f_2(x)$). Cette contradiction traduit le fait qu'il n'existe pas une solution optimale au regard des deux objectifs, mais des compromis optimaux. Sur cet exemple nous percevons bien que pour un f_1 minimal et donc x_1 le plus petit possible, il faudra donc un x_2 le plus petit possible pour minimiser f_2 . Par ailleurs le minimum absolu de f_2 est obtenu avec x_1 le plus grand possible et x_2 le plus petit possible. C'est la prise en compte de cette contradiction entre la minimisation de f_1 et celle de f_2 qui introduit la notion de compromis selon que l'on veuille privilégier plutôt f_1 ou plutôt f_2 . Nous constatons aussi que d'un point de vue purement algébrique, x_1 ne peut pas être nul (division par zéro). Cette dernière observation introduit le fait qu'il y a souvent un certain nombre de contraintes qui doivent être satisfaites par les fonctions objectif et/ou leurs variables. Ces dernières sont aussi appelées paramètres, variables d'optimisation ou variables de conception. Les contraintes qui sont des spécifications du problème, limitent les espaces des paramètres et/ou ceux des fonctions objectif en leur fixant par exemple des valeurs plancher ou plafond.

Un compromis sera dit optimal si toute amélioration d'un objectif induit la dégradation d'un autre objectif. Tout compromis dont les objectifs peuvent être améliorés n'est pas optimal. On dit qu'il est dominé par au moins un autre compromis, celui que l'on obtient en améliorant ses fonctions objectif. Les compromis optimaux se situent sur un front dit de Pareto (fig. 2a). Prenons l'exemple de la figure 2a, où les points noirs constituent le front de Pareto, les fonctions objectif f_1 et f_2 au point β peuvent encore être minimisées pour atteindre le point α_2 ; donc le point β est dominé par au moins le point α_2 . Par ailleurs si, à partir du point α_2 , on minimise encore la fonction f_2 , on tombera sur le point α_3 qui a un f_2 supérieur au f_2 au point α_2 . Le même phénomène se reproduirait en fonction de f_1 , α_2 et α_1 .

La présence d'un front de Pareto, donc un ensemble de solutions optimales non équivalentes, permet de pouvoir choisir une solution optimale par rapport à des critères économiques ou fonctionnels, qui sont externes au problème d'optimisation multi-objectif résolu. L'illustration de la démarche pour l'optimisation d'un platelage en bois polymère sur trois objectifs est présentée figure 2b (Castéra *et al*, 2008). Dans cet exemple, l'optimisation porte sur le fluage du platelage, sa résistance à l'eau, et l'indicateur *épuiement des ressources abiotiques*. Les variables de conception sont principalement des variables de production des matières premières, incluant l'incorporation d'un biopolymère, le contrôle de la

granulométrie du bois ou sa modification chimique ou thermique. Le sous-système « fin de vie » est en cours d'étude au FCBA.

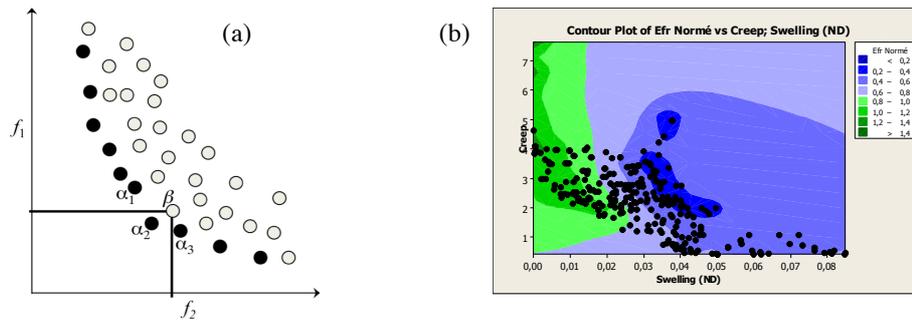


Figure 2. Illustration du principe d'optimalité de Pareto(a) et son application à un platelage bois polymère (b) ; les axes (x,y) sur la figure 2b correspondent à des fonctions physico-mécaniques : gonflement à l'eau et fluage du composite. Les niveaux de gris correspondent à l'indicateur épuisement des ressources abiotiques.

4. Conclusion

L'écoconception à partir d'agro-ressources (bois, fibres annuelles) s'appuie sur l'idée que ces ressources sont renouvelables par nature, donc que le taux de prélèvement n'est pas supérieur aux capacités de productions. Le problème peut se poser dans le cas d'une compétition entre valorisations alimentaire et non alimentaire (énergie, matériau) d'une même ressource. L'utilisation de coproduits industriels est d'autant plus intéressante qu'elle impacte peu sur le prélèvement des ressources. L'intégration de fonctions environnementales comme objectifs de conception constitue une méthode générique en écoconception, qui n'interdit pas de se placer dans un espace restreint par un cahier des charges. Dans ce cadre, la conception par optimisation multi-objectifs est une méthode adaptée à la recherche de solutions pour des problèmes où les objectifs sont contradictoires.

Remerciements : les auteurs remercient la Société SILVADEC et le FCBA pour leur précieuse contribution à cette étude.

5. Bibliographie

- Castéra, P., Ndiaye A., Fernandez C., Michaud F, "L'optimisation par essaim particulaire appliquée à la conception de composites à renforts lignocellulosiques." *Revue des composites et matériaux avancés*, 2008 (sous presse).
- Cornillier C, Michaud C., « ACV d'un platelage en composite bois polymère », *Rapport interne FCBA*, 2008.