

**Note de transfert de connaissance du LACE n°4**

# Pression sur les ressources : une méthode de design circulaire

L'étape du design est fondamentale car elle détermine le niveau de circularité des produits et services. Il est donc essentiel que les concepteurs disposent d'une méthode simple et facile à appliquer pour évaluer et quantifier le lien entre les multiples paramètres liés à la conception d'une part, et la pression sur les ressources que ces choix impliquent d'autre part.



Référence originale de l'article scientifique :

Desing, H., Braun, G., & Hischier, R. (2021). Resource pressure – A circular design method. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105179. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105179>

## Le design joue un rôle clé pour l'économie circulaire

Le design et la conception permettent à des décisions d'être prises tout au début du cycle de vie des produits. Ces décisions définissent la quantité et la qualité des matériaux et de l'énergie requise pour la production et le fonctionnement des objets. Le design permet ainsi de diminuer l'utilisation de certaines ressources (p. ex. les ressources primaires telles que les métaux et minéraux), tout en augmentant l'utilisation d'autres (p. ex. des matériaux recyclés), réduisant ainsi la consommation totale des ressources. En outre, la manière avec laquelle les objets sont conçus a une influence sur la phase d'utilisa-

tion de ceux-ci, ainsi que sur les options de traitement en fin de vie, en déterminant la quantité et la qualité des matériaux et des composants récupérables.

**Le design est donc une étape clé pour permettre une économie circulaire et durable**, en réduisant la consommation de matériaux et d'énergie, la production de déchets et les impacts environnementaux, tout en simplifiant la mise en œuvre des stratégies circulaires, par exemple en concevant des produits faciles à entretenir et réparer.

## Les bons outils pour une conception circulaire font défaut

Des outils d'écoconception qui permettent d'estimer les impacts environnementaux des produits existent d'ores et déjà, liés à l'économie circulaire ou à des approches de durabilité plus générales. Choisir les outils les plus adaptés demeure néanmoins difficile, car ils restent souvent très **complexes et chronophages**. Parallèlement, des recommandations et principes pour l'écoconception sont disponibles et plus faciles à utiliser, mais restent souvent à **un niveau trop général et ignorent la perspective quantitative** pourtant également nécessaire.

Dans ce contexte, il est nécessaire de développer une méthode facile à utiliser qui informe les designers dès les premières étapes de conceptions et offre des conseils clairs sans exiger des connaissances et des données supplémentaires.

Cet enjeu est au cœur de la recherche menée par des chercheurs de l'Empa – Institut interdisciplinaire de recherche pour les sciences des matériaux et le développement

de technologiques. Cela dans le cadre du Programme national de recherche « Économie durable » (PNR 73) et du projet de recherche « *Laboratory for Applied Circular Economy* » (LACE). Dans cette contribution, les auteurs proposent **un nouvel indicateur d'aide à la décision appelé « pression sur les ressources » (perspective quantitative), ainsi que des principes de conception (perspective qualitative)**. La méthode vise à **guider la sélection des matériaux et des stratégies circulaires dès les premières phases de design, dans le but de réduire la pression sur les ressources primaires et de maximiser l'utilité des matériaux au sein de notre système socio-économique**.

Les principes qualitatifs peuvent être utilisés lors de la phase initiale de design pour orienter la conception des objets lorsque les données quantitatives font défaut. L'indicateur quantitatif peut mesurer l'effet des décisions de conception sur la consommation de ressources. Cette combinaison offre une

méthodologie robuste et utile qui fait souvent défaut dans d'autres approches de design. La perspective quantitative de la méthode peut être calculée numériquement à l'aide

d'équations disponibles dans l'article scientifique original. Pour des raisons de clarté, cette note ne traite que des aspects qualitatifs de la méthode.

## La méthode de la « pression sur les ressources » en bref

Cette méthode se concentre sur les impacts environnementaux causés par la consommation de ressources, en mesurant la pression exercée par un produit sur les ressources disponibles de manière durable. Pour développer l'indicateur (voir c.), il est donc nécessaire de définir la **disponibilité éco-**

**logiquement soutenable des ressources** (voir a.), et de définir **les flux de ressources, déchets et émissions à prendre en compte et nécessaires pour fournir les fonctionnalités associées à un produit** (les limites du « système produit », voir b.).

**a.** *Le budget écologiquement soutenable de ressources comme référence.* Ce budget est utilisé comme référence pour définir la quantité d'un matériau qui peut être théoriquement produit tout en restant dans les limites planétaires. Différentes méthodes peuvent être appliquées pour calculer ce budget. Dans le présent article, le potentiel écologiquement soutenable de ressources (*ecological resource potential*) est utilisé.

Celui-ci représente le flux en masse de production qui, à un niveau de probabilité défini, ne provoque pas la violation des limites planétaires de manière isolée. Il s'agit d'une mesure relative qui permet de comparer différents matériaux dont l'utilisation peut être contrainte par des limites planétaires. L'utilisation de cet indicateur permet de définir la conception qui minimise les impacts environnementaux. Les données nécessaires pour le calculer sont les distributions d'incertitude des limites planétaires, ainsi que les impacts causés par l'extraction, la production et l'élimination finale des matériaux primaires. Il est aussi possible de se baser sur la notion de budgets de « Ressources Écologiquement Disponibles », budgets absolus de ressources calculés en prenant en compte toutes les activités sociétales dans le même temps. Le calcul de ces budgets absolus nécessite donc d'allouer des parts de limites planétaires à des activités spécifiques (voir la note n°3 pour plus d'informations).

**b.** *Les flux de matières dans un « système produit ».* Un « système produit » rend compte des flux de matériaux entrants et sortants (émissions et déchets) nécessaires pour fournir la fonctionnalité d'un produit ou service sur une durée donnée.

### Les analyses de flux de matières

L'analyse de flux de matières (*Material Flow Analysis*) est une méthodologie qui permet de quantifier les flux et les stocks de matières ou de substances dans un système préalablement définis. Dans le cas d'un produit ou d'un service, les limites du système

sont fixées autour des entrées et des sorties de matières nécessaires pour assurer la fonctionnalité de ce produit ou service.

Comme l'illustre la figure 1 ci-dessous, les flux entrants (*inputs*) et sortants (*outputs*) d'un « système produit » peuvent être regroupés en différentes catégories :

- **Matériaux consommés** : les flux entrants de matériaux primaires (p. ex. le combustible fossile) et les rejets finaux (p. ex. les émissions) ;
- **Matériaux recyclés** : les matériaux maintenus en boucles fermées qui génèrent des flux sortants ne perdant pas en qualité et pouvant donc être réutilisés pour le même « système produit » ;
- **Matériaux en cascade** : dans le cas où un matériau ne peut être utilisé pour fournir la même fonction, il peut être utilisé pour des applications qui demandent une moindre qualité comme matériau secondaire. Il est alors utilisé en cascade pour fournir des flux entrants dans un autre « système produit ».

En suivant le principe de conservation de la masse, chaque flux entrant est transformé en flux sortant, au plus tard lors de la fin de vie du produit. En faisant une moyenne des flux de matières induits par le système au fil du temps, on peut considérer que le « système produit » est dans un état stationnaire permanent, c'est-à-dire qu'il nécessite des flux entrants constants et génère des flux sortants constants.

Ainsi, la pression sur les ressources est créée non seulement par la consommation de matériaux primaires, mais aussi les rejets finaux qui entraînent une demande accrue de matériaux primaires ailleurs dans le système économique.

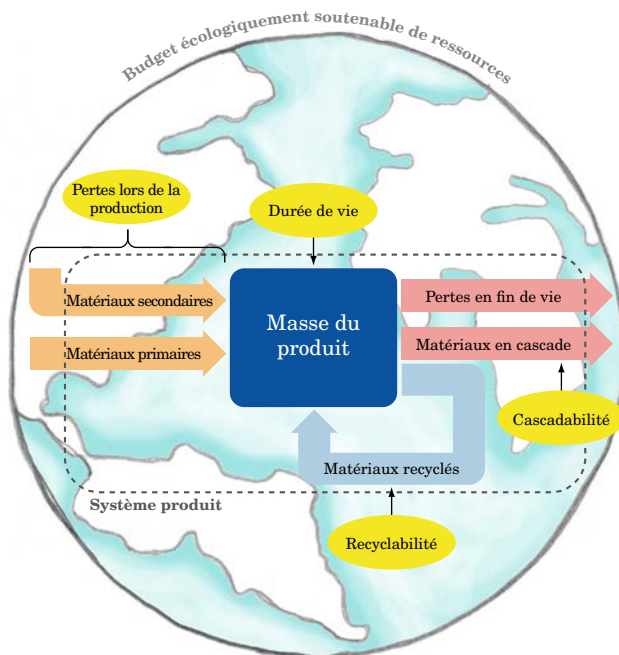


Figure 1 – Flux de matériaux dans un « système produit », et paramètres de conception qui influencent ces flux et donc la pression sur les ressources

**C.** **Les paramètres de conception.** En partant de l'état stationnaire décrit ci-dessus, l'étape de la conception est fondamentale dans la mesure où elle peut influencer la pression sur les ressources à l'entrée et à la sortie du système, en ayant un impact sur la qualité et la quantité des flux entrants (choix de matériaux p. ex.), et des flux sortants (recyclabilité ou cascabilité p. ex.).

Pour évaluer comment la conception peut déterminer la pression sur les ressources, le choix des matériaux ainsi que différents paramètres de conception doivent être considérés. Les différentes étapes des principes de conceptions sont présentées ci-dessous.

- **Choix des matériaux** : ce choix peut avoir un effet profond sur les impacts environnementaux induits par un produit, mais il influence également d'autres paramètres de conception, tels que la durée de vie, la recyclabilité, ou les pertes lors de la fabrication ;
- **Masse du produit** : pour un produit ou un service offrant la même fonctionnalité, différents designs entraînent des différences dans la masse des matériaux (p. ex., la conception d'emballages d'expédition plus légères et compactes peut réduire le poids et le volume, ce qui optimise le transport et l'utilisation des matériaux, réduisant ainsi la pression sur les ressources) ;
- **Durée de vie des produits** : modifier la durée de vie des produits par le design peut exercer une influence sur les besoins en matériaux par unité de service (p. ex., l'utilisation de matériaux plus durables augmente la durée de vie et diminue le flux de masse requis pour un produit au fil du temps) ;
- **Pertes lors de la fabrication** : selon la technologie de fabrication, une quantité plus ou moins importante de matériaux est perdue lors du processus (p. ex. copeaux d'usinage). Ces pertes peuvent être collectées, recyclées ou mises en cascade ;
- **Recyclabilité** : la conception peut influencer la possibilité de réutiliser des matériaux de même qualité (p. ex., une conception modulaire peut améliorer la manière de démonter un produit et séparer les matériaux lors du recyclage, ce qui entraîne des niveaux de contamination plus faibles) ;
- **Contenu en matériaux primaires** : les matériaux primaires peuvent être remplacés dans une certaine mesure par des matériaux secondaires provenant d'un autre « système produit ». Selon les exigences de design (couleur, apparence, propriétés mécaniques...), plus ou moins de matériaux primaires sont nécessaires ;
- **Cascabilité** : différentes conceptions peuvent avoir un impact sur la cascabilité qui est importante pour prolonger la durée de vie des matériaux en permettant de les utiliser à plusieurs reprises (en cascade) jusqu'à ce que leur qualité devienne trop faible.

## Principes de conception

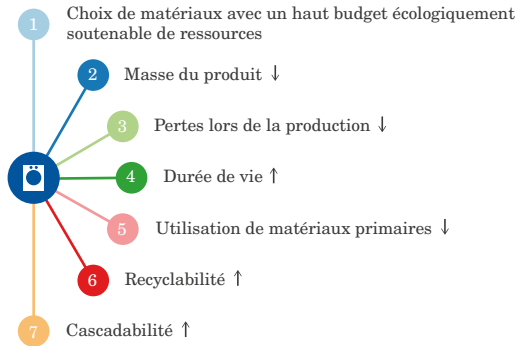
En se basant sur la définition du budget écologiquement soutenable de ressources, sur l'identification des flux de matières

nécessaires à un « système produit » donné, et sur les paramètres de conception susceptibles d'influencer la pression sur les

ressources par ces flux de matières, il est possible d'établir des principes de conception qualitatifs pour le design des produits (voir figure 2 ci-dessous).

Figure 2 – Principes de conception pour un design circulaire

(↓ signifie diminuer le paramètre autant que possible, ↑ signifie augmenter le paramètre autant que possible)



Ces principes de conception doivent être utilisés comme des principes généraux à appliquer lors de la conceptualisation de designs alternatifs, sans prétention à l'exhaustivité. Alors que **ces principes peuvent**

**être mobilisés lors de la conception pour considérer différentes alternatives, ces dernières peuvent ensuite être évaluées quantitativement en utilisant l'indicateur de pressions sur les ressources.**

## Appliquer la méthode de pression sur les ressources à une décision concrète de design

Afin de tester la méthode, celle-ci est appliquée à une étude de cas définie en collaboration avec l'entreprise V-Zug. La méthode est utilisée pour comparer les différentes options de conception d'un échangeur de chaleur – élément d'une pompe à chaleur qui sert à réduire la consommation d'électricité des sèche-linges.

Ce produit est choisi car ses concepteurs veulent évaluer quelle alternative matérielle est préférable d'un point de vue environnemental (aluminium ou cuivre), et parce que les changements dans la conception de cet échangeur de chaleur ont un effet négligeable sur la performance de l'appareil en phase d'utilisation.

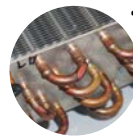
Il existe deux options initiales de conception. Celles-ci impliquent des structures, des besoins en matériaux, des

processus de fabrication et des impacts différents :



• *Design 1 – uniquement en aluminium (Al/Al)* : présente une conception volumineuse en raison d'une conductivité thermique faible. La fabrication

entraîne des pertes de matériaux (qui sont néanmoins recyclés). Le produit doit être broyé en fin de vie, ce qui entraîne la contamination de l'aluminium qui ne peut dès lors pas être recyclé et doit donc être transformé en alliage coulé de moindre qualité.



• *Design 2 – aluminium et cuivre (Cu/Al)* : les différents matériaux permettent une structure différente qui crée moins de pertes lors de la fabrication et

permet de réduire la taille de l'échangeur de chaleur. Pour ce design, le cuivre provient du marché mondial et contient 1/3 de cuivre secondaire. Le cuivre présente une bonne recyclabilité en fin de vie. En revanche, l'aluminium est contaminé par d'autres éléments et ne peut être utilisé qu'en cascade pour des applications en alliage coulé de moindre qualité.

En comparant ces deux options initiales de conception (voir figure 3 ci-dessous), on constate que la conception en cuivre et aluminium (Cu/Al) crée une pression moindre sur les ressources. Ce résultat est obtenu grâce à des pertes plus faibles lors de la fabrication, la possibilité d'utiliser des matériaux secondaires, et la recyclabilité du cuivre en fin de vie (voir figure 3 ci-dessous).

En modifiant la conception du sèche-linge, l'échangeur de chaleur peut être plus facilement retiré en fin de vie du produit. La séparation de l'échangeur de chaleur avant broyage permet un recyclage plus spécifique,

augmentant la recyclabilité des métaux. S'agissant de la conception Al/Al, une plus grande modularité facilite le démontage et la récupération séparée, évitant alors la contamination et augmentant la **recyclabilité** de l'aluminium tout en diminuant la **cascaabilité**.

Cette option ne s'applique toutefois pas à la conception Cu/Al, pour laquelle la séparation des deux matériaux exigerait trop de main-d'œuvre pour être économiquement viable. Le broyage restant alors nécessaire pour séparer les deux matériaux même si l'échangeur de chaleur est démonté.

La mise en œuvre d'une conception modulaire modifie ainsi la pression sur les ressources des deux produits, rendant l'option de conception Al/Al plus favorable que l'option Cu/Al (voir figure 4 ci-dessous).



Figure 3 – Pression sur les ressources des deux options initiales de conception des échangeurs de chaleur



Figure 4 – Comparaison de la pression sur les ressources créée par les deux options de conceptions dans le cas d'un design modulaire

## Conclusion

En appliquant la méthode de pression sur les ressources à une étude de cas, les auteurs ont prouvé que les calculs que cette méthode implique sont simples et peuvent être effectués rapidement lors de l'étape de conception des produits – en nécessitant seulement de prendre en compte six paramètres. Les résultats peuvent donner une orientation claire à la conception des objets, en mettant en évidence l'influence de chaque paramètre sur les ressources. Reste que la recyclabilité et la cascaabilité demeurent difficiles à estimer et nécessitent des connaissances spécifiques qui ne sont

pas toujours à disposition dans les équipes de design.

Les données nécessaires au calcul de l'indicateur de pression sur les ressources sont également utilisées comme données d'entrée pour les analyses de cycle de vie (ACV). La méthode de pression sur les ressources peut donc servir de méthode préliminaire et indicative à utiliser lors de la phase de conception, et ne vise pas à remplacer l'ACV, mais plutôt à précéder l'ACV – les choix lors de la phase de conception pouvant être ensuite validée ex post par une ACV du produit final.

## A propos du PNR 73

Ce projet de recherche est réalisé dans le cadre du Programme national de recherche « Economie durable : protection des ressources, vision pour le futur et innovation » (PNR 73) du Fonds national suisse (FNS).

Le PNR 73 vise à établir des connaissances scientifiques pour une économie durable qui préserve les ressources naturelles, favorise le bien-être social et une compétitivité accrue de la place économie suisse. Le PNR 73 prend ainsi en compte l'environnement, l'économie et la société de même que l'ensemble des ressources naturelles et toutes les étapes de la chaîne de valeur.



**Economie durable**  
Programme national de recherche

De plus amples informations sur [www.nrp73.ch](http://www.nrp73.ch)

---

## À propos du LACE

Le LACE, pour Laboratory for Applied Circular Economy, est un projet de recherche inter- et transdisciplinaire qui réunit les chercheurs de trois institutions suisses d'éducation supérieure et de plusieurs disciplines : sciences environnementales et des matériaux, études commerciales et économie, ainsi que sciences juridiques et politiques. Le projet LACE collabore avec sept entreprises reconnues afin de montrer comment les principes de l'économie circulaire et les modèles d'affaires associés peuvent être introduits dans les chaînes de valeur des entreprises partenaires. L'objectif de ce projet est de définir à quelles conditions ces principes peuvent être écologiquement bénéfique et économiquement rentable pour les entreprises suisses. La fondation sanu durabilitas est le partenaire pour le transfert de connaissance du projet LACE.



**Empa**

Materials Science and Technology



Universität St.Gallen



UNIL | Université de Lausanne

De plus amples informations sur

[www.nfp73.ch/fr/projets/economie-circulaire/laboratoire-pour-une-economie-circulaire](http://www.nfp73.ch/fr/projets/economie-circulaire/laboratoire-pour-une-economie-circulaire)

---

## A propos de sanu durabilitas

La fondation sanu durabilitas est un Think et Do tank indépendant basé à Bienne. Son objectif est de développer des solutions pratiques et prometteuses pour la transition vers la durabilité en Suisse dans les domaines de l'économie, la politique et l'administration publique, ainsi que d'améliorer les conditions-cadres pour la durabilité. En collaboration avec des partenaires issus de la science, de l'économie, de la politique, de l'administration et de la société civile, sanu durabilitas identifie les solutions prometteuses, les développe et les teste dans la pratique, élabore des recommandations et les communique aux décideurs et au public. Les thèmes actuels sur lesquels sanu durabilitas travaille sont l'économie circulaire, l'utilisation durable des sols, et la cohésion sociale dans une société en mutation.



De plus amples informations sur [www.sanudurabilitas.ch](http://www.sanudurabilitas.ch)