

## Etude N°2024-04

### Conditions d'applicabilité de la CFF et évolution des facteurs de normalisation et de pondération (PEF, limites planétaires...)

#### Synthèse

31 octobre 2025

|                       |                   |                |
|-----------------------|-------------------|----------------|
| <b>Version finale</b> | <b>31/10/2025</b> |                |
| <b>Rédacteur</b>      | Vérificateur      | Approbateur    |
| Mike Nunes            | Mike Nunes        | Aurélie Perrin |
| Marion Bourgeois      |                   |                |
| Maixent Tignon        |                   |                |
| Robin Sales           |                   |                |



L'association SCORE LCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

- En Bibliographie, ce document sera cité sous la référence :  
SCORE LCA, Conditions d'applicabilité de la CFF et évolution des facteurs de normalisation et de pondération (PEF, limites planétaires...), 19 pages, n°04-2024.
- Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.
- Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

## Contexte et objectifs de l'étude

L'analyse du cycle de vie (ACV) permet d'évaluer l'impact environnemental des produits et services tout au long de leur cycle de vie.

La fin de vie des produits est une phase critique de l'ACV notamment pour l'évaluation de l'impact de produits contenant du recyclé ou plus globalement pour tous les systèmes relevant de l'économie circulaire. La norme ISO 14044 : 2006<sup>1</sup> définit des directives pour la gestion de la fin de vie, mais des approches plus fines, comme celles développées par la commission européenne dans le cadre du Product Environmental Footprint (PEF), permet d'intégrer davantage de paramètres dans l'évaluation des impacts environnementaux. La Circular Footprint Formula (CFF) est une approche permettant d'attribuer les bénéfices environnementaux liés au recyclage entre les phases amont et aval du cycle de vie d'un produit. Plusieurs systèmes de produits sont donc impliqués, la définition des frontières de ces derniers peut être compliquée à définir d'un point de vue technique. L'application de la CFF peut également être complexe en ce qui concerne la modélisation des procédés de recyclage, la définition des paramètres (notamment les paramètres d'allocation et de qualité des matières secondaires) et l'allocation des charges environnementales. Ces défis nécessitent une compréhension approfondie et une application méticuleuse, et soulèvent des problématiques de mise en pratique conduisant à des résultats parfois peu fiables. Le Technical Advisory Board (TAB) de l'Environmental Footprint travaille à clarifier et à modifier la CFF pour améliorer sa précision et sa pertinence<sup>2</sup>. Ces efforts visent à fournir des recommandations claires et des améliorations pour une utilisation cohérente et soutenue de la CFF, renforçant ainsi la crédibilité de l'approche et des résultats obtenus dans l'évaluation de l'impact environnemental des produits. **Le premier objectif de cette étude est d'établir des recommandations permettant aux membres de SCORE LCA et plus généralement aux lecteurs du rapport de comprendre et d'utiliser la CFF mais aussi de soutenir des positions cohérentes pour alimenter la réflexion menée par le TAB.**

La normalisation et la pondération sont des aspects cruciaux de l'ACV, permettant de faciliter l'interprétation et la comparaison des impacts environnementaux. La norme ISO 14074<sup>3</sup> fournit des principes et des lignes directrices pour ces pratiques, mais il est reconnu que les facteurs de normalisation et de pondération établis en 2018 par PEF présentent certaines limitations. La normalisation, qui consiste à rapporter les impacts à des références communes (par exemple l'impact d'un humain à l'année), peut être limitée par le manque de données de référence actualisées et représentatives à l'échelle mondiale. De plus, le choix de la référence ne reflète pas l'importance des impacts par rapport aux enjeux globaux auxquels fait face l'humanité. D'autre part, la pondération peut introduire un biais subjectif, car elle reflète l'importance relative attribuée à différents impacts environnementaux, ce qui peut varier selon les perceptions des parties prenantes ou les contextes régionaux. L'intégration des limites planétaires est une piste intéressante pour pallier une partie de ces limites en intégrant ce concept, mais nécessite une révision méthodologique pour aligner les cadres de l'ACV et des limites planétaires. Les recherches sur ce sujet sont en cours et visent à établir une correspondance entre les catégories d'impact de l'ACV et les limites planétaires. **Le deuxième objectif de cette étude est de proposer des améliorations méthodologiques, en tenant compte des limites planétaires, pour assurer que les évaluations de l'ACV reflètent mieux les enjeux environnementaux actuels et guident vers des décisions plus durables.** Ces améliorations devraient être quantifiées et basées sur des données scientifiques solides, afin de renforcer la crédibilité et l'efficacité de l'ACV dans la promotion de pratiques durables.

Cette étude vise d'abord à établir un ensemble de recommandations pour aider les membres de SCORE LCA et les lecteurs à comprendre et à adopter des positions cohérentes qui nourrissent les réflexions méthodologiques menées dans le cadre du PEF. Elle cherche également à proposer des améliorations méthodologiques et de pratique afin que les évaluations de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) soient plus représentatives des défis environnementaux contemporains et orientent vers des choix plus durables. Concrètement, l'étude ambitionne d'explorer, de façon didactique, les évolutions possibles de la CFF et des facteurs de normalisation et de pondération, en s'appuyant sur les dernières avancées normatives, réglementaires et scientifiques, tant au niveau européen que mondial, pour formuler des recommandations pratiques visant à dépasser les pratiques actuelles de l'ACV.

## Partie : CFF

Pour atteindre l'objectif de la partie CFF de l'étude, un état de l'art des limites et perspectives d'amélioration a été réalisé tout en rappelant les principaux concepts de la CFF et de son application. Dans un deuxième temps, nous avons listé et précisé les pistes d'amélioration de la formule. Ensuite, 3 cas d'études ont été construits avec le support de certains membres de SCORE LCA sur l'acier faiblement allié, le polyamide (PA) et le cobalt afin d'éprouver les pistes d'améliorations dans la pratique de l'ACV. Enfin, nous avons pu analyser les résultats et formuler les recommandations attendues.

## 1. Etat de l'art scientifique

### 1.1. Définitions et mise en application

La CFF est une méthodologie de prise en compte de la valorisation matière et énergétique qui permet une répartition des impacts de ces processus multifonctionnels à cheval sur deux cycles de vie. Elle a été intégrée dans les lignes directrices du Product Environmental Footprint (PEF) en 2018 par la Commission Européenne. Il existe plusieurs familles d'approches pour cela : cut-off, substitution et allocation.

La CFF réalise une allocation sur la base des facteurs A et B d'allocation des charges et bénéfices entre le fournisseur et l'utilisateur de matières recyclées ou d'énergies valorisées. Ces facteurs sont représentatifs d'une balance entre l'offre et la demande. La formule de la CFF intègre également des termes montrant l'imbrication des deux cycles de vies entre eux et la répartition des impacts. De fait, on pourrait dire qu'elle appartient également à l'approche par substitution. Une visualisation de la CFF est proposée dans la figure ci-dessous.

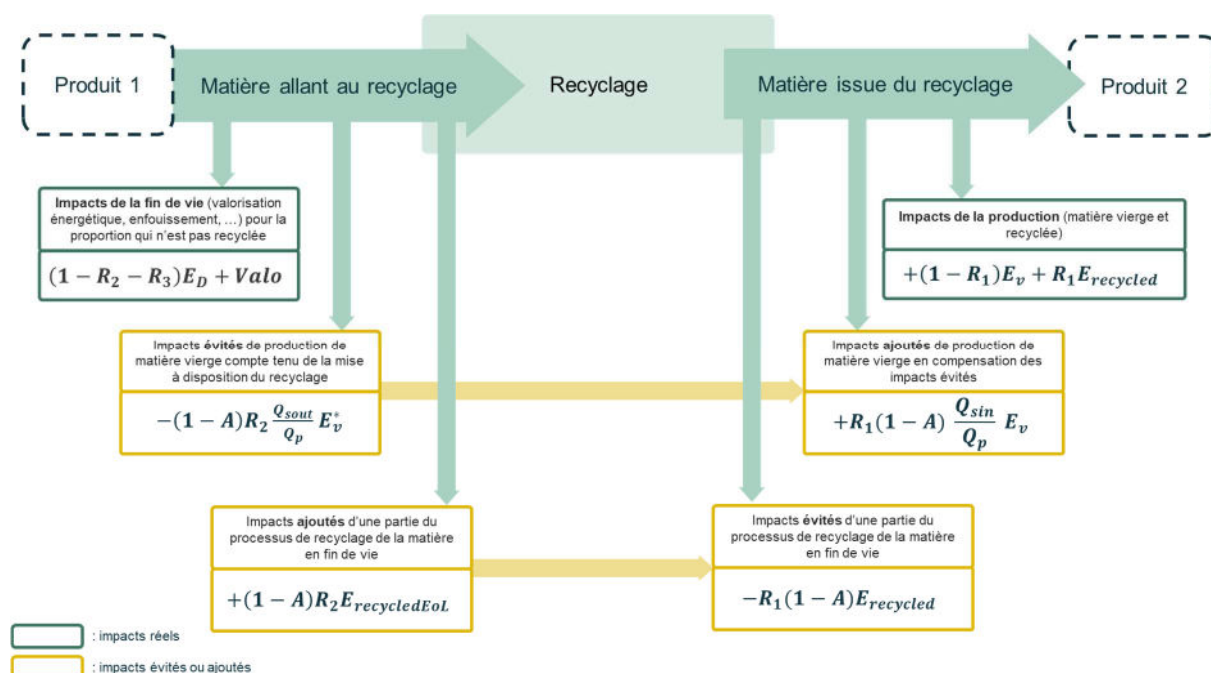


Figure 1 : Représentation schématique de la logique de la CFF

La CFF s'inscrit dans la norme ISO 14 044 en tant qu'allocation de procédé multifonctionnel. On peut même dire qu'elle la complète en allant plus loin. Néanmoins, sa mise en œuvre demeure critiquée et son utilisation demeure hétérogène.

C'est ce qu'a montré un sondage mené auprès des consultants en ACV d'EVEA opérant dans divers secteurs d'activité et dont la synthèse est présente ci-dessous.

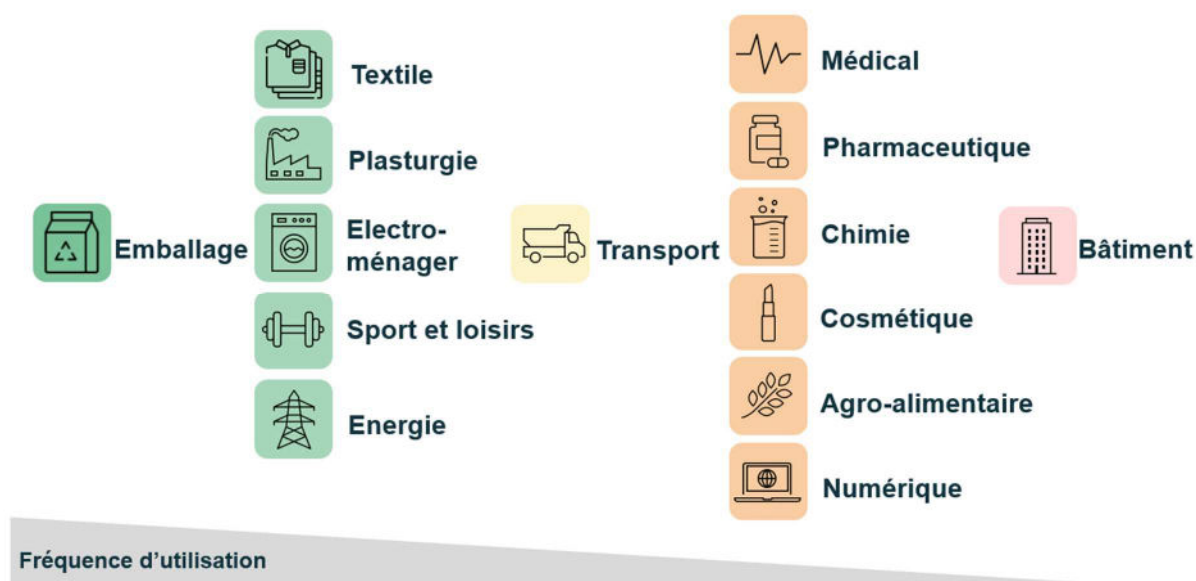


Figure 2 : Infographie des tendances d'application de la CFF dans les ACVs par secteur selon une enquête interne menée chez EVEA

La CFF est principalement utilisée pour les produits à durée de vie courte ou ceux pour qui il existe des réglementations européennes de reporting (textile, emballage).

En termes d'applicabilité, la CFF nécessite de déterminer des valeurs de paramètres (ceux de la formule) et également de choisir des données d'inventaire. Cette étude a été l'occasion de détailler comment mettre en œuvre la CFF dans un logiciel d'ACV en donnant des indications pour choisir les valeurs de paramètres mais aussi les données d'inventaire.

Un paramètre central de la formule est le contenu en recyclé R1. Il n'est pas aisé de calculer le contenu en recyclé d'une matière lorsque plusieurs types de matières recyclées sont impliquées. On distingue souvent la matière PIR (post industrial recylcate) de la matière PCR (post consumer recylcate) et de la matière régénérée. Afin de guider les praticiens, l'arbre de décision suivant a été établi permettant ainsi d'éclaircir cette question de comptabilisation du contenu en recyclé.

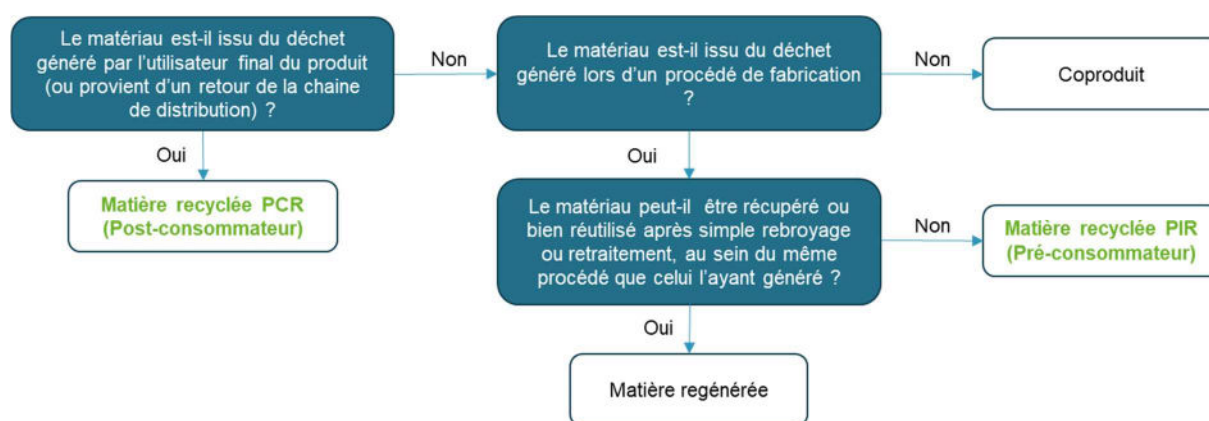


Figure 3 : Arbre de décision pour déterminer l'utilisation de la CFF

En résumé, les matières PIR et PCR peuvent être comptabilisées dans le contenu en recyclé. Ce n'est pas le cas de la matière régénérée qui s'obtient par optimisation de processus plutôt que par recyclage à proprement parlé.

Une fois le cadre de la CFF rappelé et les recommandations d'application de celles-ci présentée, l'objectif est d'identifier les points de friction et de proposer des pistes d'amélioration.

## 1.2. Propositions d'évolution à la pratique d'ACV

Les propositions d'évolution peuvent être regroupées en 3 postes principaux et sont déclinées ci-dessous :

- Le facteur d'allocation A
  - Gérer une base de données de valeurs de A différentes selon la matière, l'application, la géographie et l'horizon temporel
  - Conserver un domaine de définition du paramètre entre 0,2 et 0,8 inclus mais avec plus de valeurs possibles
  - Séparer A en deux paramètres indépendants  $A_{in}$  et  $A_{out}$
- Le facteur d'allocation B
  - Calcul du facteur B de telle sorte qu'il puisse être différent de 0
- Les données d'inventaire
  - $Ev^*$  et  $Ev$  peuvent-ils être différents ?
  - $Ev^*$  peut-il être adapté selon sa géographie
  - Utiliser des inventaires prospectifs
  - Déterminer les données d'inventaire pour le matériau vierge ou recyclé à 100% lorsque qu'ils n'existent pas

En guise d'exemple, les deux tableaux récapitulatifs pour les deux premiers postes sont présentés ci-dessous.

Tableau 1 : Récapitulatif des propositions d'évolutions pour le paramètre A de la CFF

| Propositions d'évolution                                                                                                          | Avantages (+)                                                                                                                                                                                                | Inconvénients (-)                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gérer une base de données de valeurs de A différentes selon la matière, l'application, la géographie et l'horizon temporel</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variations de marché et d'horizon temporel prises en compte</li> <li>• Plus de précision</li> <li>• Fin de vie plus réaliste</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de données à collecter pour la CE</li> <li>• Plus de vérification à réaliser pour la CE</li> <li>• Plus d'incertitudes de calcul</li> </ul>                |
| <b>Conserver un domaine de définition du paramètre entre 0,2 et 0,8 inclus mais avec plus de valeurs possibles</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de précision</li> <li>• Plus de différenciation entre les matières / secteurs</li> </ul>                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Besoin d'une méthode de calcul répliquable et robuste</li> <li>• Plus d'incertitudes de calcul</li> </ul>                                                       |
| <b>Séparer A en deux paramètres indépendants <math>A_{in}</math> et <math>A_{out}</math></b>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Meilleure représentativité des cas de recyclage en boucle ouverte ou des produits à durée de vie longue</li> <li>• Variations de marché prises en compte</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de complexité</li> <li>• Risque de double-comptage ou d'omission de l'impact</li> <li>• Clarification du recyclage en boucle ouverte nécessaire</li> </ul> |

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des améliorations possibles à propos du facteur B

| Propositions d'évolutions                                                  | Avantages (+)                                                                                                                                                                                                                         | Inconvénients (-)                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Calcul du facteur B de telle sorte qu'il puisse être différent de 0</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Allocation possible des gains de la valorisation énergétique = équilibre et potentiel pilotage pour encourager plutôt l'utilisation ou la valorisation d'énergie et d'électricité</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extension de la formule et nécessité de modéliser l'électricité et l'énergie entrante différemment si une part est issue de valorisation énergétique (correction des données d'arrière-plan)</li> </ul> |

- Rééquilibrage des bénéfices liés à la valorisation énergétique pour le produit atteignant sa fin de vie par rapport aux bénéfices du recyclage.
- Complexité
- Risque de mauvaise appropriation menant à des problèmes de comparabilité entre les produits

## 2. Cas d'étude

En accord avec les membres de SCORELCA participant à l'étude, nous avons construit 3 cas d'étude :

- Cas d'étude n°1 : Acier faiblement allié
- Cas d'étude n°2 : Polyamide
- Cas d'étude n°3 : Cobalt

Nous avons pu imaginer des situations fictives mais crédibles demeurant les plus réalistes possibles. Cela nous a permis d'évaluer quantitativement les changements que chaque piste d'amélioration occasionnerait.

| Pistes d'évolution                                                                                                                  | Cas d'étude 1 | Cas d'étude 2 | Cas d'étude 3 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                                                                                                     | Acier         | PA            | Cobalt        |
| Définition d'un facteur A par matériau ou régionalisé                                                                               |               |               |               |
| Séparation du facteur A en deux facteurs $A_{in}$ et $A_{out}$ prenant en compte les différences de répartition du marché           |               |               |               |
| Détermination du $Ev^*$ différent de $Ev$                                                                                           |               |               |               |
| Définition des inventaires de manière prospective et utilisation (inventaires, mix énergétique associé, ...)                        |               |               |               |
| Détermination de l'inventaire de donnée vierge et recyclée quand les matériaux vierge (0% recyclés) et 100% recyclés n'existent pas |               |               |               |
| Définition du recyclage à cadrer                                                                                                    |               |               |               |
| Eclaircissement des flux à inclure dans le périmètre de la CFF (rebroyage, notion de PIR / PCR)                                     |               |               |               |

Les cas d'études ont été réalisés et documentés en suivant un fil conducteur commun.

- Contexte

Précisions sur les filières de production à l'étude. Périmètre. Unité fonctionnelle.

- Application de la CFF et scénarios

Explicitation des scénarios à évaluer dans le cadre des pistes d'améliorations sélectionnées. Les valeurs de paramètres et les données d'inventaire choisies sont précisées pour chacun des scénarios évalués.

- Résultats et interprétations

Des résultats sous forme d'histogramme faisant figurer les contributions de chacun des termes de la formule sont obtenus. Ils permettent de formuler des analyses et d'expliquer les écarts entre les scénarios. Une prise de recul est nécessaire afin de formuler des recommandations.

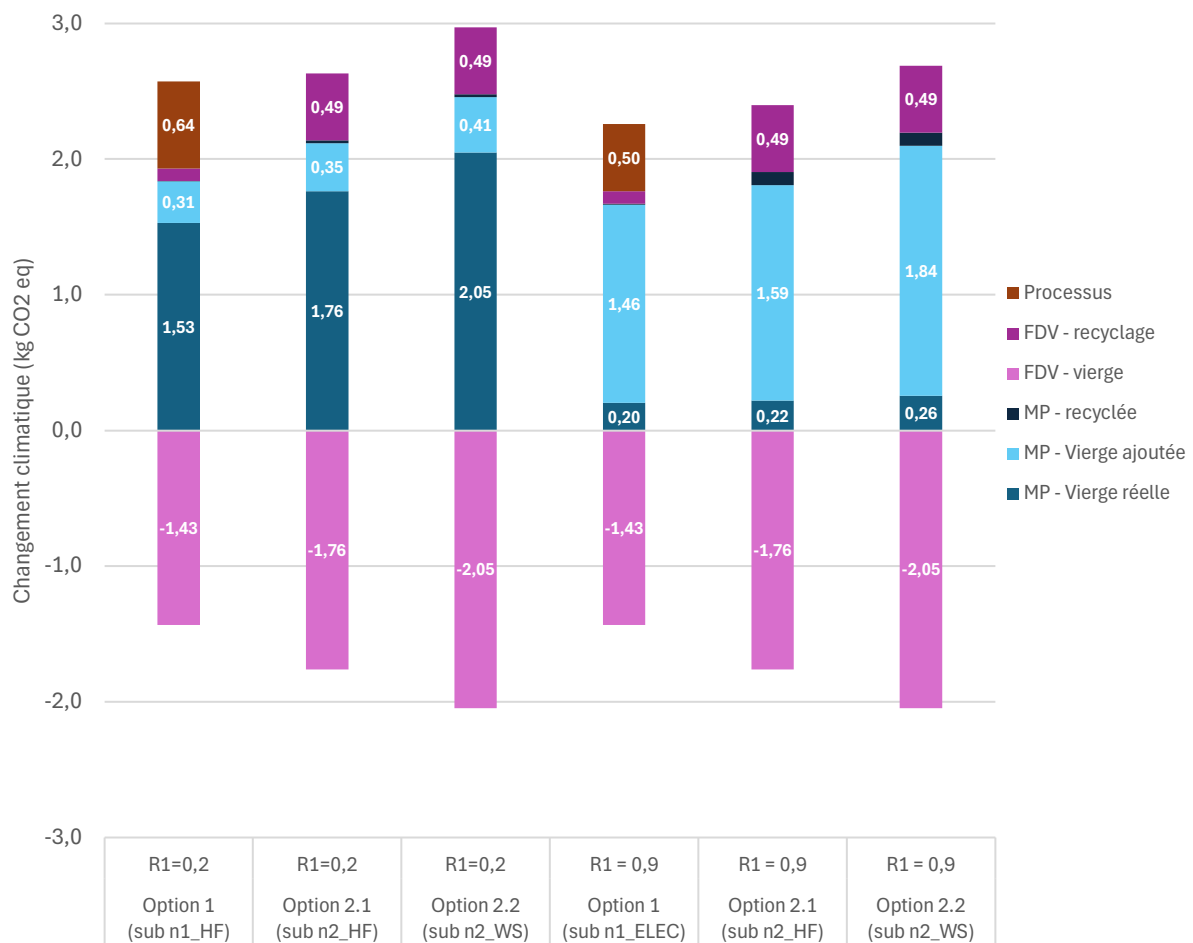


Figure 61 : Exemple de résultats pour les pistes d'améliorations du cas d'études acier faiblement allié

### 3. Conclusions et recommandations

Les recommandations en lien avec chacune des pistes d'améliorations sont synthétisées dans le tableau suivant.

| Pistes d'évolution                                    | Acier | PA | Cobalt | Conclusions et recommandations prioritaires                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------|-------|----|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Définition d'un facteur A par matériau ou régionalisé |       |    |        | <p>Le facteur A est central et sa détermination entraîne de variations significatives sur les résultats. A doit rester dans le domaine d'application [0,2-0,8].</p> <p>A pourrait être décliné par géographie ou selon différents horizons temporels si de fortes variations d'offre et de demande sont observées.</p> <p>A ne doit pas être décliné par secteur d'activité car ce sont les grades de matériaux qui se cachent derrière les secteurs. Le rapport entre l'offre et la demande est propre au matériau et non aux déclinaisons de ce matériau dans les chaînes de valeur propre aux différents secteurs.</p> |

|                                                                                                                                     |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Séparation du facteur A en deux facteurs $A_{in}$ et $A_{out}$ prenant en compte les différences de répartition du marché           |  |  | <p>Avec <math>A_{out} &gt; A_{in}</math> on comptabilise en fin de vie davantage de procédé de recyclage et moins de matière vierge substituée, l'impact en fin de vie est donc plus élevé (car plus A est grand plus on favorise l'utilisation et non l'offre de matière recyclée).</p> <p>Un A différent en entrée et en sortie induit un bilan massique global non représentatif de la réalité (des masses en plus ou en moins de la réalité si <math>A_{out}</math> est amené à évoluer).</p> <p>Ne changer <math>A_{out}</math> qu'en analyse de sensibilité complémentaire si pertinent, par défaut garder un <math>A_{out} = A_{in}</math></p> <p>À noter que cette piste est actuellement sérieusement explorée par le TAB travaillant sur les évolutions de la formule CFF.</p> |
| Détermination du $Ev^*$ différent de $Ev$                                                                                           |  |  | <p>Dans certaines configurations, la matière vierge substituée grâce aux efforts de recyclage n'est pas la même que la matière vierge entrante : dissocier les données d'inventaire <math>Ev^*</math> de <math>Ev</math> est alors pertinent. Cela permet de considérer le réel impact substitué des matières recyclées (parfois surestimé si <math>Ev^*=Ev</math>)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Définition des inventaires de manière prospective et utilisation (inventaires, mix énergétique associé, ...)                        |  |  | <p>Utilisation d'inventaires prospectifs permet une meilleure représentativité temporelle et technologique en particulier pour les produits à durée de vie longue.</p> <p>La difficulté réside dans la méthodologie de détermination de ces inventaires prospectifs.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Détermination de l'inventaire de donnée vierge et recyclée quand les matériaux vierge (0% recyclés) et 100% recyclés n'existent pas |  |  | <p>Choix du point de substitution auquel appliquer la CFF</p> <p>Niveau 1 :</p> <p>Pertinence méthodologique et respect de la réalité physique de la filière.</p> <p>Expertise et données d'inventaire nécessaires</p> <p>Niveau 2 :</p> <p>Utilisation de données d'inventaire existantes même si elles ne représentent pas une matière 100% vierge ou recyclée (sens du paramètre R1 dégradé)</p> <p>Non utilisation de données d'inventaire fictives reconstituées afin d'avoir une meilleure lecture des résultats et d'éviter les incohérences avec la partie fin de vie</p> <p>Mise en œuvre plus accessible et disponibilité des inventaires</p>                                                                                                                                  |
| Définition du recyclage à cadrer                                                                                                    |  |  | <p>La considération d'un recyclage n'est pas systématique, la CFF ne s'applique que lorsqu'il y a recyclage.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                                                                                                        |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Eclaircissement des flux à inclure dans le périmètre de la CFF (rebroyage, notion de PIR / PCR)</p> |  | <p>Lorsqu'un déchet est généré à l'étape de fabrication d'un produit, et qu'il est réintégré en entrée du procédé :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- une matière recyclée est considérée si une étape intermédiaire de retransformation (recyclage) est nécessaire (sur le même site ou un site différent) = CFF</li> <li>- une matière régénérée est considérée si aucune étape de retransformation intermédiaire n'est nécessaire (à l'exception d'un simple rebroyage) = pas de CFF</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Cette étude permet d'appréhender la CFF d'un point de vue plus pratique avec des explications opérationnelles de sa mise en œuvre. Dans un second temps, elle cherche à voir au-delà en identifiant les points positifs et négatifs ainsi que des pistes d'améliorations. Les lecteurs repartent avec une meilleure compréhension des pistes ainsi que des éléments quantifiés des changements qu'elles pourraient engendrer. Comme indiqué en introduction, les travaux du TAB réalisés en simultané de l'étude vont se poursuivre et probablement donner lieu à des évolutions de la formule.

## Partie : Normalisation et pondération

Pour atteindre l'objectif de cette partie de l'étude, un état de l'art a été réalisé à la fois sur le principe de la normalisation et pondération dans l'ISO et dans la méthode PEF ainsi que sur les couplages possibles entre ACV et limites planétaires (revue bibliographique et interviews d'experts). Ensuite, 3 cas d'études ont été retenus et réalisés afin d'identifier tout le potentiel et les limites d'une ACV limites planétaires. Enfin, nous avons pu analyser les résultats et formuler des recommandations.

### 1. Etat de l'art scientifique

#### Principes généraux de normalisation / pondération

La normalisation et la pondération :

- Sont des étapes optionnelles,
- Contribuent à une meilleure interprétation des résultats,
- Facilitent la prise de décision
  - En rendant accessibles et opérationnels des résultats d'ACV
  - En hiérarchisant les enjeux
- Sont définies et encadrées dans la norme ISO/TS 14074 : 2022

La normalisation et la pondération conduisent à faire des arbitrages sur l'importance des catégories d'impact (notion de choix de valeur). Ces arbitrages ne sont pas toujours visibles et explicites et varient selon les échelles spatiales, temporelles et des priorités culturelles.

Les bonnes pratiques consistent à documenter les résultats bruts (facteurs de normalisation et de pondération utilisés), et choisir le système de référence et les données de pondération en fonction de leur pertinence régionale et temporelle.

#### Méthode PEF

Le Product Environmental Footprint (PEF), ou empreinte environnementale des produits, a été développé par la Commission européenne comme réponse à la fragmentation des approches d'évaluation environnementale en Europe. La Commission a lancé en 2013 une initiative visant à harmoniser ces pratiques avec pour objectif de créer une méthode standardisée, fiable et transparente pour mesurer et communiquer les impacts environnementaux tout au long du cycle de vie.

La méthode couvre 16 catégories d'impact environnemental. Le développement méthodologique a été coordonné par le Joint Research Centre (JRC), le service scientifique de la Commission européenne, en collaboration avec des experts académiques et différentes parties prenantes.

La normalisation dans le cadre de l'EF se base sur des données mondiales plutôt que des données européennes. Ce choix d'échelle géographique a été pris pour être cohérent avec la portée internationale des chaînes d'approvisionnement. Les facteurs de normalisation dans l'EF sont exprimés en termes d'impacts par habitant terrestre moyen pour une année. Cela signifie qu'ils représentent la contribution moyenne d'une personne à une catégorie d'impact (par exemple, émissions de gaz à effet de serre pour le changement climatique).

La méthodologie de pondération repose sur deux facteurs combinés reflétant d'une part la robustesse des catégories d'impact et des résultats normalisés et d'autre part l'importance relative des catégories d'impact. En ce qui concerne l'importance relative des indicateurs, le JRC a décidé d'opter pour une méthodologie hybride, combinant données factuelles (évaluation préliminaire des critères sur la base de preuves tirées de la littérature), jugements d'experts et enquête auprès de citoyens de l'union européenne pour établir les facteurs de pondérations.

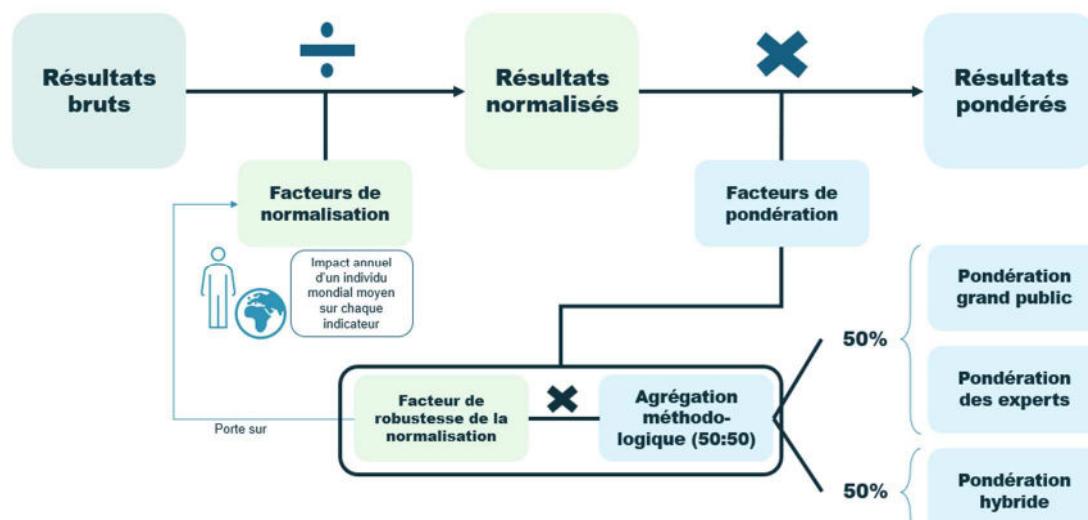


Figure 72 : normalisation et pondération de la méthode PEF, mode opératoire

## Présentation du concept des limites planétaires

Proposé par une équipe internationale de chercheurs en 2009 (Stockholm Resilience Centre), et qui permet d'identifier des bornes à ne pas dépasser pour garantir le maintien de l'écosystème Terre dans l'Holocène, son état actuel depuis environ 10 000 ans. Ces bornes permettent de définir un espace de sécurité pour l'espèce humaine (Terrain de jeu planétaire, ou Safe Operating Space).

La dernière mise à jour date de septembre 2025, avec 7 limites franchies sur 9.

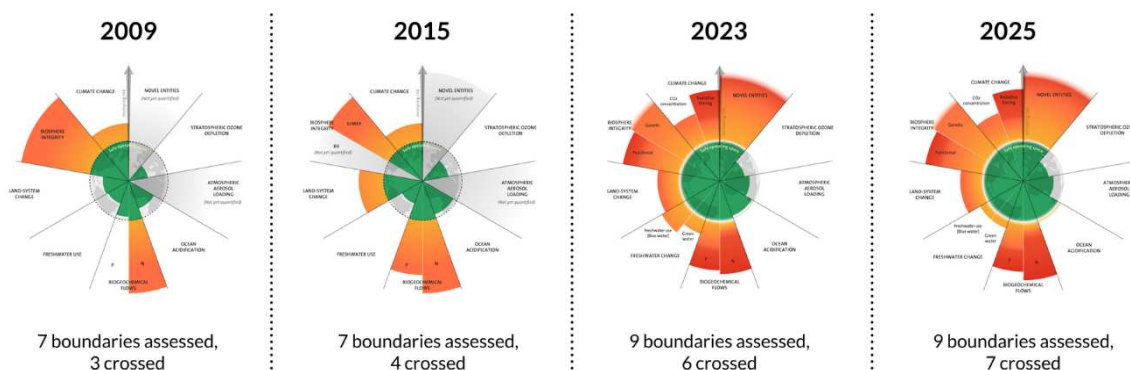


Figure 83 : évolution de l'évaluation des 9 limites planétaires depuis 2009

## Couplage ACV et limites planétaires

Il existe trois possibilités de coupler l'ACV au concept des limites planétaires :

- A l'étape de caractérisation,
- A l'étape de normalisation,
- A l'étape de pondération.

<sup>1</sup> \*Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Based on Sakschewski and Caesar et al. 2025, Richardson et al. 2023, Steffen et al. 2015, and Rockström et al. 2009

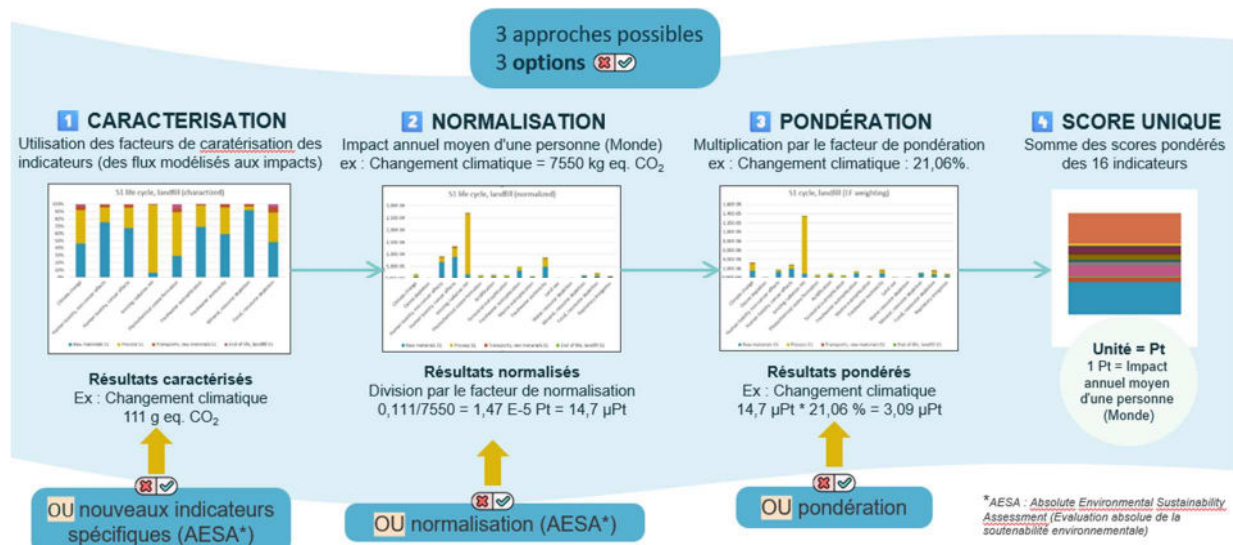


Figure 94 : représentation graphique des 3 approches possibles pour coupler ACV et limites planétaires

Le couplage à l'étape de caractérisation est en dehors du périmètre de ce projet mais est traité pour aider à la compréhension de l'ensemble. Il s'agit de créer de nouveaux indicateurs d'impact directement calés sur les métriques des 9 limites planétaires et qui permet de réaliser une ACV absolue ou AESA (avec processus de mise à l'échelle détaillé dans les cas d'étude).

L'autre méthode de couplage qui permet de réaliser une AESA est l'utilisation de facteurs de normalisation (seuils à ne pas dépasser à l'échelle de l'individu), tout en procédant de la même manière ensuite à une descente d'échelle.

La dernière manière de coupler l'ACV aux limites planétaires se situe donc à l'étape de pondération.

Il est important de préciser :

- Qu'il n'est pas possible de cumuler ces 3 approches, il faut choisir sinon cela fait doublon ;
- Que la pondération n'est pas une ACV « absolue » ou AESA (car pas de descente d'échelle et attribution d'une part du reste à émettre).

## 2. Cas d'étude

Pour chaque cas d'étude, nous avons utilisé une donnée générique ecoinvent, et avons comparé :

- La méthode PEF actuelle (EF 3.1)
- La prise en compte des limites planétaires via la pondération (après normalisation PEF classique)
- L'ACV absolue ou AESA, avec l'utilisation des facteurs de normalisation limites planétaires et une descente/mise à l'échelle du produit ou service

Avec 3 cas d'étude donc :

- Cas d'étude n°1 : comparaison des méthodes pour une donnée générique matière, 1 kg d'acier monde
- Cas d'étude n°2 : comparaison des méthodes pour une donnée générique énergie, 1 kWh d'électricité française
- Cas d'étude n°3 : comparaison des méthodes pour une donnée générique de mobilité, 1 km parcouru avec une voiture particulière en Europe

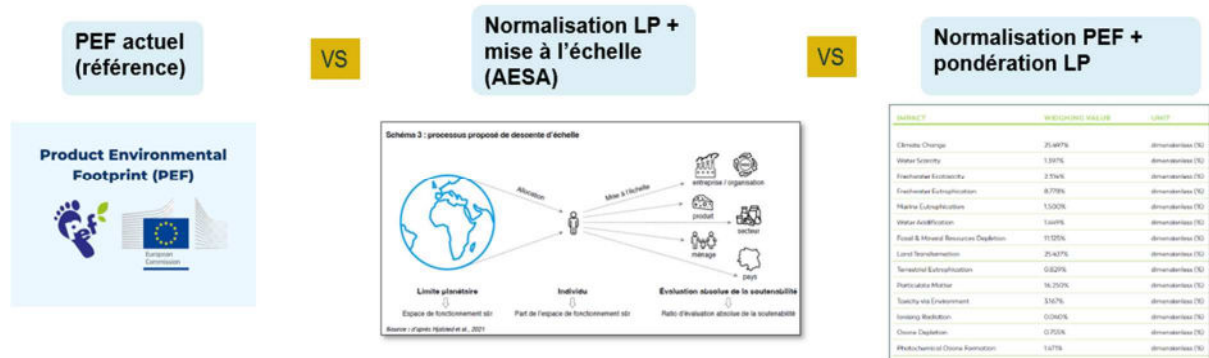


Figure 105 : représentation schématique des 3 méthodes comparées

## Comparaison entre méthode PEF et intégration du concept de limite planétaire via pondération

Pour la comparaison entre la méthode du PEF actuel et l'intégration du concept des limites planétaires via la pondération, le résultat consiste principalement à comparer :

- La sélection des indicateurs jugés les plus pertinents avec la règle du 80% en cumulé contribuant au score unique environnemental
- La valeur brute du score unique en points

## Comparaison entre méthode PEF et l'ACV absolue ou AESA

Concernant l'ACV absolue ou AESA, vous trouverez ci-dessous un schéma représentant le mode opératoire de la mise à l'échelle en plusieurs étapes, qui s'applique de la même manière pour les 3 cas d'étude et type de données ecoinvent.

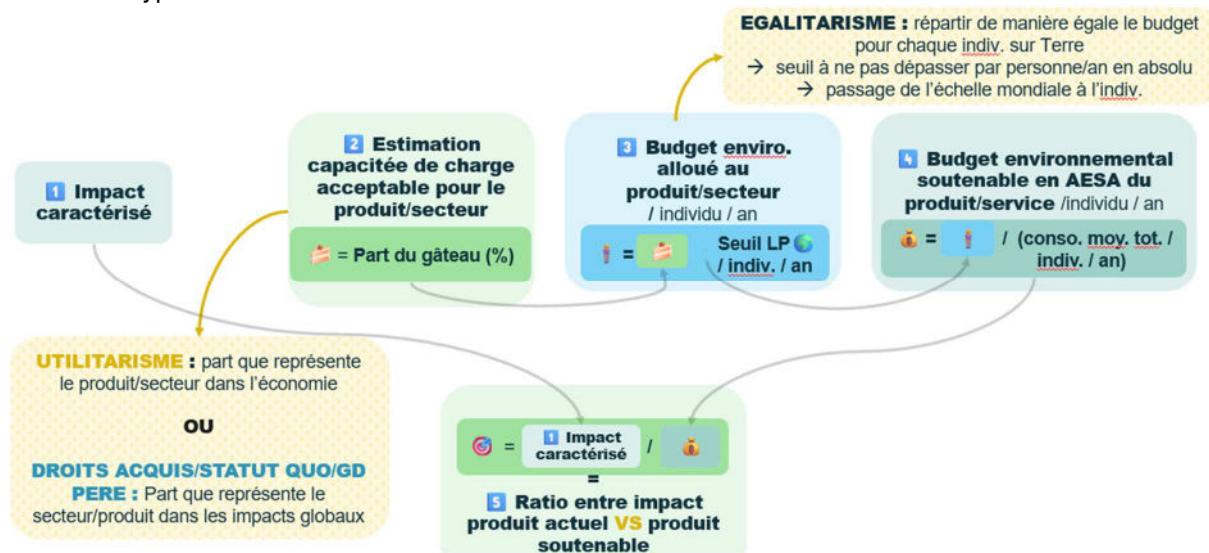


Figure 116 : mode opératoire descente d'échelle mise en œuvre dans ce projet

Il existe plusieurs principes de justice distributive permettant de réaliser la descente ou mise à l'échelle. Ces principes ou méthodes sont utilisées pour estimer la capacité de charge (étape 2, estimation de la capacité de charge ou allocation de la part du gâteau) et pour allouer le budget environnemental au produit ou secteur étudié (étape 3, mise à l'échelle).

Dans ces cas d'études, trois principes ont été retenus et mis en œuvre (car les plus utilisées<sup>5</sup>), à savoir :

- Pour l'estimation de la capacité de charge ou allocation de la part du gâteau (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) en étape **2** :
  - L'utilitarisme : données monétaires, part que représente le produit/secteur dans l'économie (en valeur ajoutée), pour calculer un % d'allocation
  - Le principe des droits acquis ou statut quo ou clause du grand-père : Part que représente le secteur/produit dans les impacts globaux (exemple : le textile c'est 7% environ des émissions de GES mondiales), pour calculer un % d'allocation
- Pour la descente d'échelle en étape **3** :
  - L'égalitarisme : très souvent utilisé dans les AESA par défaut afin de répartir de manière égale les impacts ou budgets pour chaque être humain sur Terre, c'est le principe même de la normalisation dans le PEF et le plus souvent en ACV (facteurs de normalisation limites planétaires ou seuils qu'il ne faudrait pas dépasser par personne/an en absolu, et pour passer de l'échelle mondiale à l'individu)

En fonction du ratio trouvé sur chaque indicateur en étape **5** à la fin du mode opératoire, le système évalué est soutenable ou pas en absolu, et s'il ne l'est pas (ratio > 1), cela donne une information sur la cible ou l'objectif à atteindre (pour une trajectoire de réduction des impacts). Les valeurs en rouge dans les tableaux de résultats des cas d'étude (qui suivent) indiquent un ratio > 1, et donc un produit non soutenable avec sa distance à la cible à atteindre.

Dans cette synthèse, nous présentons ci-après les résultats d'un seul cas d'étude, l'électricité française.

## Résultats électricité en France

La donnée générique ecoinvent retenue est 1 kWh de " *Electricity, low voltage {FR}| market for electricity, low voltage / Cut-off, S*".

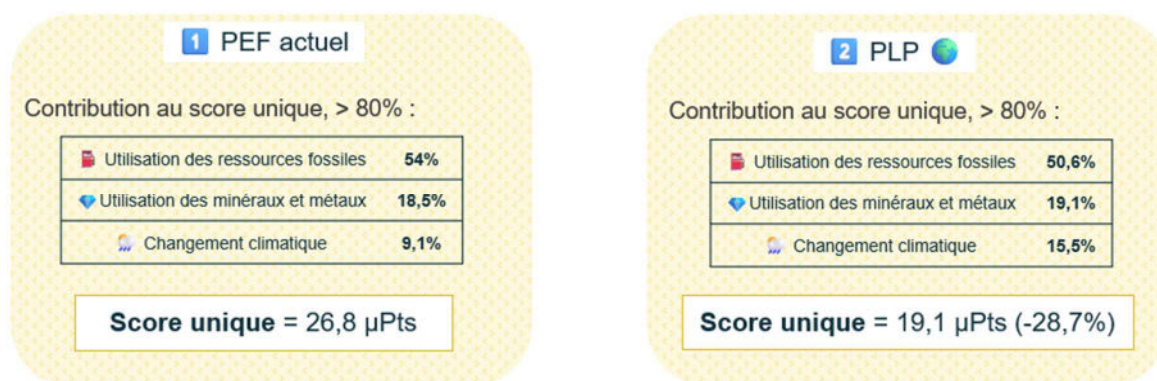


Figure 127 : résultats comparés méthode PEF vs pondération limites planétaires (pour décision)

### Pondération limites planétaires vs PEF :

Les résultats caractérisés sont évidemment identiques (ex : 87,6 gCO<sub>2</sub>e/kWh). La normalisation identique entre les 2 approches (classique PEF, échelle Monde). La sélection et l'ordre des indicateurs est identique. Le score unique est, en résultat brut, en baisse avec PLP (-28,7%).

<sup>5</sup> Gonzalo Puig-Samper et al (décembre 2024) - Quantifying uncertainties in absolute environmental sustainability assessment: A general framework applied to French electricity production

## AESA :

| Indicateurs ACV               | Unité             | 1 Impacts caractérisés | 2 allocation par secteur                                                                                                                                    | 3 budget enviro élec/personne/an | 4 Budget enviro 1 kWh soutenable | 5 Ratio et distance à la cible |
|-------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Climat change                 | kg CO2 eq         | 8,76E-02               | <div> <p> <b>VA électricité FR</b><br/> <b>PIB France</b><br/> <b>=</b><br/> <b>40 Mds</b><br/> <b>2796 Mds</b><br/> <b>=</b><br/> <b>1,42%</b> </p> </div> | 1,40E+01                         | 6,29E-03                         | 13,9                           |
| Ozone depletion potential     | kg CFC-11 eq.     | 3,09E-09               |                                                                                                                                                             | 1,11E-03                         | 4,98E-07                         | 0,0                            |
| Human toxicity, cancer        | CTUh              | 4,50E-10               |                                                                                                                                                             | 1,97E-06                         | 8,88E-10                         | 0,5                            |
| Human toxicity, non-cancer    | CTUh              | 3,62E-09               |                                                                                                                                                             | 8,42E-06                         | 3,79E-09                         | 1,0                            |
| Particulate matter            | Disease incidence | 3,17E-09               |                                                                                                                                                             | 1,06E-06                         | 4,77E-10                         | 6,6                            |
| Ionising radiation            | kBq U-235 eq.     | 1,12E-01               |                                                                                                                                                             | 1,08E+03                         | 4,87E-01                         | 0,2                            |
| Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq.      | 3,30E-04               |                                                                                                                                                             | 8,35E-01                         | 3,76E-04                         | 0,9                            |
| Acidification                 | mol H+ eq         | 6,10E-04               |                                                                                                                                                             | 2,06E+00                         | 9,26E-04                         | 0,7                            |
| Terrestrial eutrophication    | mol N eq          | 9,64E-04               |                                                                                                                                                             | 1,26E+01                         | 5,67E-03                         | 0,2                            |
| Freshwater eutrophication     | kg P eq           | 2,84E-06               |                                                                                                                                                             | 1,19E-02                         | 5,37E-06                         | 0,5                            |
| Marine eutrophication         | kg N eq           | 8,80E-05               |                                                                                                                                                             | 4,12E-01                         | 1,85E-04                         | 0,5                            |
| Land use                      | Pt                | 6,85E-01               |                                                                                                                                                             | 1,07E+04                         | 4,81E+00                         | 0,1                            |
| Ecotoxicity freshwater        | CTUe              | 7,34E-01               |                                                                                                                                                             | 2,70E+02                         | 1,21E-01                         | 6,0                            |
| Water depletion               | m3 water eq       | 3,77E-02               |                                                                                                                                                             | 3,73E+02                         | 1,68E-01                         | 0,2                            |
| Resource depletion – fossils  | MJ                | 1,13E+01               |                                                                                                                                                             | 4,60E+02                         | 2,07E-01                         | 54,8                           |
| Resource depletion - minerals | kg Sb eq          | 4,18E-06               |                                                                                                                                                             | 4,52E-04                         | 2,03E-07                         | 20,6                           |

Figure 138 : résultats AESA pour 1 kWh du mix français – utilitarisme en allocation pour mise à l'échelle  
Avec l'utilitarisme en valeur ajoutée :

- Produit non soutenable pour 5 indicateurs sur 16 ;
- La réduction des impacts ne paraît pas réaliste ou trop difficile (à diviser par 14 sur climat change, alors que le mix français est déjà « bas carbone ») ;
- Il aurait été intéressant d'utiliser l'utilitarisme avec la part des dépenses des ménages en variante (la valeur ajoutée d'un bien ou secteur intermédiaire n'étant pas forcément très représentative de son utilité pour l'économie et la société).

| LCA indicators                | Unit                | 1 Characterised impacts | 2 Allocation by sector | 3 Environmental budget per person per year | 4 Sustainable 1 kWh environmental budget | 5 Ratio and distance to target |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
| Climate change                | kg CO2 eq           | 8.76E-02                | 6.048%                 | 5.96E+01                                   | 2.68E-02                                 | 3.27                           |
| Ozone depletion potential     | kg CFC-11 eq.       | 3.09E-09                | #DIV/0!                | #DIV/0!                                    | #DIV/0!                                  | #DIV/0!                        |
| Human toxicity, cancer        | CTUh                | 4.50E-10                | 17.127%                | 2.38E-05                                   | 1.07E-08                                 | 0.04                           |
| Human toxicity, non-cancer    | CTUh                | 3.62E-09                | 766.918%               | 4.55E-03                                   | 2.05E-06                                 | 0.00                           |
| Particulate matter            | Disease incidence   | 3.17E-09                | 1.377%                 | 1.03E-06                                   | 4.63E-10                                 | 6.84                           |
| Ionising radiation            | kBq U-235 eq.       | 1.12E-01                | #DIV/0!                | #DIV/0!                                    | #DIV/0!                                  | #DIV/0!                        |
| Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq.        | 3.30E-04                | 7.220%                 | 4.25E+00                                   | 1.91E-03                                 | 0.17                           |
| Acidification                 | mol H+ eq           | 6.10E-04                | 3.817%                 | 5.53E+00                                   | 2.49E-03                                 | 0.24                           |
| Terrestrial eutrophication    | mol N eq            | 9.64E-04                | 1.689                  | 1.50E+01                                   | 6.74E-03                                 | 0.14                           |
| Freshwater eutrophication     | kg P eq             | 2.84E-06                | 2.297                  | 1.93E-02                                   | 8.68E-06                                 | 0.33                           |
| Marine eutrophication         | kg N eq             | 8.80E-05                | 2.152                  | 6.24E-01                                   | 2.81E-04                                 | 0.31                           |
| Land use                      | Pt                  | 6.85E-01                | 1.122%                 | 8.45E+03                                   | 3.80E+00                                 | 0.18                           |
| Freshwater ecotoxicity        | CTUe                | 7.34E-01                | 183.866%               | 3.49E+04                                   | 1.57E+01                                 | 0.05                           |
| Water depletion               | m3 water equivalent | 3.77E-02                | 0.938                  | 2.47E+02                                   | 1.11E-01                                 | 0.34                           |
| Resource depletion – fossils  | MJ                  | 1.13E+01                | 45.497                 | 1.47E+04                                   | 6.63E+00                                 | 1.71                           |
| Resource depletion - minerals | kg Sb eq            | 4.18E-06                | 0.037                  | 1.19E-05                                   | 5.35E-09                                 | 782.2                          |

Figure 149 : résultats AESA pour 1 kWh du mix français – droits acquis en allocation pour mise à l'échelle

Avec le principe des droits acquis :

- Produit non soutenable pour 4 indicateurs sur 16 ;
- La réduction des impacts paraît plus réaliste ou accessible (à diviser par 3,3 sur climat change) ;
- Implique tout de même d'actionner tous les leviers des scénarios de transition énergétique dont la sobriété et l'efficacité ;
- Principales limites : un ratio à 782 sur épuisement des ressources minérales, et des impacts non caractérisés dans Exiobase France pour les ozone depletion et ionising radiation.

## 3. Conclusions et recommandations

### Limites AESA et perspectives

Nous observons que les résultats (ratios) sont très différents en fonction de la méthode d'allocation retenue, utilitarisme ou droits acquis (sans parler d'autres méthodes possibles).

Il apparaît cependant assez clairement qu'utiliser l'utilitarisme en valeur ajoutée n'est pas vraiment adaptée pour une AESA sur des produits ou secteurs « intermédiaires », pourtant essentiels voire vitaux pour le fonctionnement de nos sociétés. Cela est dû à la faible valeur ajoutée accordée aux secteurs primaires et secondaires globalement, à comparer aux activités tertiaires de service. Ou alors il faudrait inclure la valeur ajoutée d'autres secteurs qui ont un lien avec l'activité évaluée (exemple : le secteur pétrolier pour le service « parcourir 1 km en voiture »).

Finalement, l'application des droits acquis (et % appliqué) rend compte, bien mieux que l'utilitarisme, de l'importance de ces activités, car en lien avec les flux physiques réels dont elles dépendent (et donc liés ensuite aux impacts environnementaux).

Le processus de mise à l'échelle est complexe et engendre une accumulation d'incertitudes au fil des étapes. Les sources doivent être consolidées et « critiquées » autant que possible afin d'obtenir des résultats plus fiables et conformes à la réalité. Le type de source peut d'ailleurs varier, entre des sites internet de référence, des rapports ou publications scientifiques, ou encore les impacts utilisés par le JRC (UE, Monde) et en lien avec les bases input-output type Exiobase. Et dans cette base, 2 indicateurs ne sont pas caractérisés sur les 16 du PEF.

Un guide pour la mise en œuvre de l'AESA est en préparation au niveau européen (JRC) et devrait permettre d'harmoniser et développer cette pratique (publication début 2026).

Une autre limite importante des cas d'étude est la représentativité limitée des données génériques ecoinvent utilisées. En effet, ces données peuvent d'une part être assez anciennes et d'autre part ne représentent pas l'éventail complet de la production des secteurs/produits évalués. L'utilisation des bases type Exiobase peut également aider pour consolider l'ensemble d'un secteur d'activité, mais ce n'est pas toujours possible en fonction des activités couvertes (par exemple pour la mobilité en voiture).

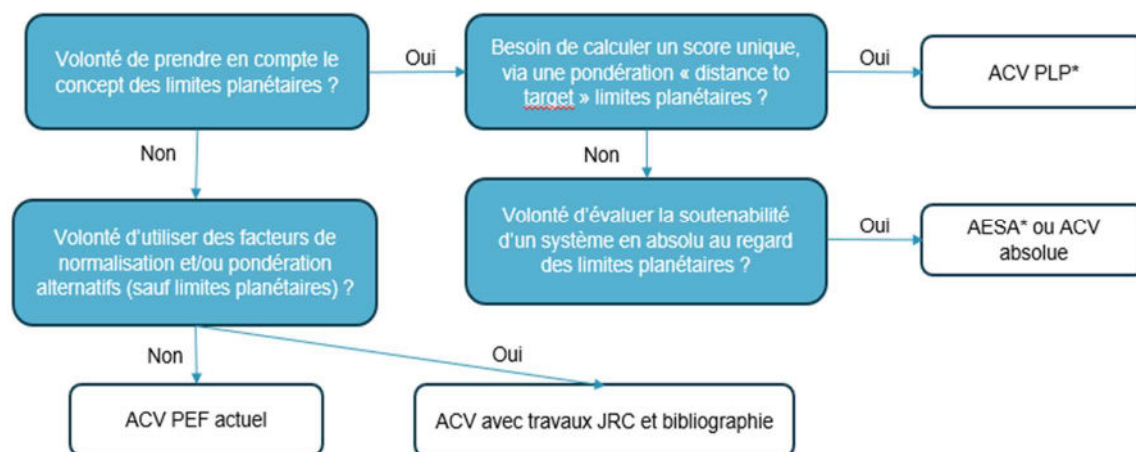
Une autre limite importante concerne l'évaluation des seuils à ne pas dépasser au niveau mondial (et donc individuel via la normalisation limites planétaires). En effet, ces travaux « limites planétaires », en amélioration continue depuis la première publication en 2009, sont plus ou moins robustes en fonction des processus écologiques, de nature différente (notamment à échelle mondiale ou locale) et avec une zone d'incertitude importante (à partir du seuil bas pour chaque limite ou frontière).

## Recommandations

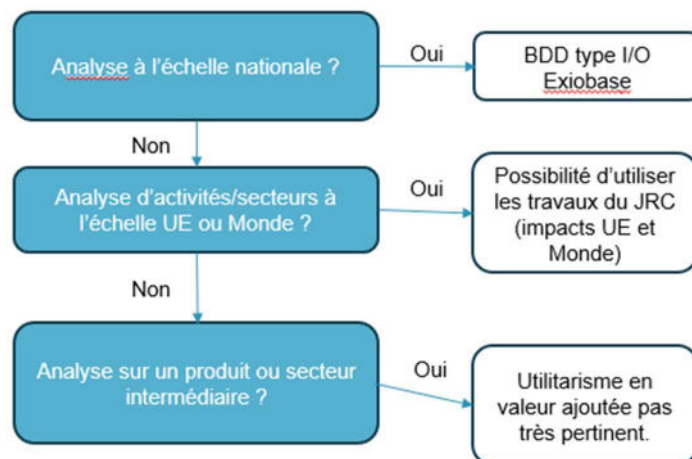
L'évolution de la normalisation du PEF, selon que l'approche soit territoriale ou de consommation, n'a pas été étudiée dans les cas d'étude.

Nous supposons ici que les facteurs de normalisation « classique » du PEF s'inscrivent dans un processus d'amélioration continue pour être toujours plus représentatifs et robustes.

Types d'ACV en fonction des objectifs :



Bonnes pratiques pour l'AESA :



Faute de collecte de données spécifiques, il est possible d'utiliser des données génériques issues des BDD (représentativité limitée). Dans tous les cas, pour la mise à l'échelle de l'AESA, il est recommandé d'appliquer au moins 2 principes d'allocation, car les résultats peuvent varier grandement d'une méthode à l'autre. Il est également très important de consolider au maximum les sources pour l'allocation, et de porter un regard critique sur les résultats de l'AESA.

Cette étude permet d'appréhender le principe des étapes de normalisation et de pondération en ACV, avec les recommandations ISO et la pratique dans le cadre du PEF. Elle cherche à voir au-delà en identifiant les possibilités de prise en compte du concept des limites planétaires. Les lecteurs repartent avec une meilleure compréhension des approches méthodologiques possibles, de leur potentiel pour l'avenir de l'ACV mais aussi des limites.