

INDICATEUR RESSOURCES RENOUVELABLES

Synthèse scientifique

Janvier 2020

Responsables scientifiques :

– **Grégory Herfray, Marion Sié**
VERSo, 5 quai Victor Augagneur, 69003 Lyon



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.

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
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.

Introduction

A l'heure où la transition écologique devient une préoccupation courante du grand public¹²³, il convient de s'interroger sur la nature bénéfique du recours aux ressources renouvelables, souvent présenté comme la solution à l'ensemble des problèmes environnementaux actuels. On trouve dans la loi de transition énergétique pour la croissance verte, l'objectif de porter la part des énergies renouvelables à plus de 30 % de la consommation énergétique finale d'énergie en 2030. Par ailleurs, la feuille de route pour l'économie circulaire présente des mesures concrètes qui permettraient d'établir des modes de consommation et de production durables notamment en maximisant le recours aux ressources renouvelables issus de la technosphère. Cela étant, les impacts et/ou bénéfices associés à l'augmentation de la part de renouvelable ne sont ni caractérisés, ni mesurés. L'ACV est adapté à ce défi, mais encore faut-il mieux cerner le concept de « renouvelable » et identifier les impacts induits par leur exploitation, en particulier l'impact sur la renouvelabilité potentiellement induit par une surexploitation. C'est l'objectif du présent projet de recherche.

Cette étude se base tout d'abord sur l'établissement d'une typologie des ressources dites renouvelables. Dans un deuxième temps, elle portera sur un état de l'art de la prise en compte des ressources renouvelables en ACV, et l'identification des limites existantes et des besoins des praticiens. Elle comporte ensuite des propositions méthodologiques pour le calcul d'indicateurs de criticité pour chaque type de ressource considéré. Ces propositions méthodologiques sont ensuite testées sur des cas d'étude.

Définition

Le concept de ressources renouvelable est tout d'abord exploré. L'analyse de la bibliographie montre qu'il n'existe pas aujourd'hui de définition de la notion de ressource renouvelable permettant une prise en compte exhaustive et cohérente des différents flux concernés. Il existe plusieurs catégorisations. L'une d'entre elles consiste à distinguer les ressources naturelles, issue de l'écosphère, des ressources anthropiques, issue de la technosphère. Chacune pouvant être une ressource de stock, à capital renouvelable ou de flux. On retiendra de cette classification que les « ressources potentiellement renouvelables » sont les ressources à capital renouvelable et de flux.

Par ailleurs, l'état de l'art souligne que la renouvelabilité est un enjeu réel qui peut être mis à mal par l'exploitation. Parce que ces ressources renouvelables ne sont pas nécessairement renouvelées, nous avons souhaité aller vers un indicateur de mesure de la renouvelabilité, qui prendrait en compte la compatibilité du mode d'exploitation de la ressource avec son renouvellement qualitatif (ressource de qualité, peu dégradée) et quantitatif. Pour être jugé effectif, ce renouvellement doit être régulier et réalisé dans une échelle de temps humaine, ce dans les conditions de pression humaine et de biodiversité actuelles.

La définition suivante de ressources renouvelables et renouvelés est alors proposée :

¹ <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/climat/isr-rse/l-affaire-du-siecle-devient-la-petition-la-plus-signee-de-l-histoire-en-france-signe-d-un-vrai-sursaut-climatique-146741.html>

² https://www.francetvinfo.fr/sante/environnement-et-sante/il-n-y-a-rien-de-traditionnel-chez-lui-aurelien-barrau-l-astrophysicien-philosophe-qui-defend-l-ecologie_2958039.html

³ <https://reporterre.net/Ces-youtubeurs-qui-parlent-d-ecologie-au-plus-grand-nombre>

« Les ressources renouvelables sont constituées par les flux physiques issus de l'écosphère (ressources renouvelables primaires) ou de la technosphère et de la simili-écosphère (ressources renouvelables secondaires) qu'il est possible d'exploiter sans affecter leur disponibilité (en qualité et en quantité) sur une échelle de temps humaine, dans les conditions de pression humaine et de biodiversité actuelles. Elles sont soit inépuisables car issues d'un flux, soit issues d'un capital pouvant aussi bien augmenter que diminuer, et qui se renouvelle de façon régulière. »

Principe méthodologique

En conséquence, afin d'évaluer si une ressource répond ou non à cette définition, une méthodologie en deux temps est proposée :

- (1) La détermination de la renouvelabilité potentielle. Les ressources sont classées en différentes catégories selon leurs caractéristiques intrinsèques. Cela permet de qualifier la ressource comme potentiellement renouvelable ou non.
- (2) L'estimation de la renouvelabilité effective. A partir des différents paramètres pouvant l'affecter, la renouvelabilité effective (ou de perte de renouvelabilité) de la ressource est discuté. Ces aspects dépendent principalement des conséquences du mode d'exploitation des ressources qui supportent sa production – les ressources supports – sur la quantité et la qualité de la ressource renouvelée. Exemple : est-ce que le mode d'exploitation des sols met à mal la renouvelabilité de la production (en quantité et en qualité) de biomasse ?

Etat de l'art des méthodes d'analyse de l'impact en cycle de vie (AICV)

La seconde partie de l'étude a porté sur l'élaboration d'une ébauche méthodologique pour estimer la renouvelabilité effective, ce à partir d'un état de l'art des méthodes d'ACV existantes.

Les ressources biotiques

Parmi les travaux qui ont été réalisés dans le but d'évaluer un indicateur relatif aux ressources biotiques, on distingue tout d'abord ceux qui s'intéressent à l'épuisement de la ressource. Plusieurs propositions ont été identifiées dont celles visant à l'évaluation (1) des ressources prélevées, ramenées à un stock disponible (ex : CML, EDIP, BIRD); (2) de la marge restante avant épuisement (EcoPoint 2006), (3) du nombre d'années sans autre prélèvement par tonne de ressource prélevée à t=0 (BRD-fish); (4) du rendement futur potentiellement perdu (LPY-fish). Plusieurs de ces méthodes tiennent compte d'un taux d'extraction anthropique et/ou d'un taux de renouvellement mais ce dernier est un paramètre d'entrée fixe estimé, le plus souvent, sur la base des caractéristiques intrinsèques de la ressource uniquement, c'est à dire sans considération des variations (naturelles ou anthropiques) des conditions environnementales dans lesquelles l'espèce considérée évolue. Or ce sont ces interventions qui permettront d'améliorer le taux de renouvellement (parce qu'il y a culture ou élevage et que l'écosphère est dynamisée en simili-écosphère pour produire plus) et/ou de le dégrader (parce que le mode d'exploitation n'est pas soutenable), voire de l'annuler de manière irréversible (si la capacité de charge de l'écosystème est dépassée, la ressource n'est plus renouvelée). C'est justement ces effets que nous cherchons à mesurer.

Ensuite, des méthodes permettant le calcul d'autres indicateurs que l'épuisement (emergy, exergy, coût de l'évitement d'un impact, nombre d'année pour le renouvellement de la ressource) ont été investigués mais n'ont pas été identifiés comme pertinents pour la présente étude.

On souligne cependant l'intérêt de la notion de production primaire de carbone nécessaire (PPR), en ce qu'il permet d'établir un lien entre, d'un côté, l'exploitation des ressources supports pour la production de ressource biotique et, de l'autre, le flux carbone ; avec possibilité d'y intégrer, cette fois,

les effets anthropiques. Cet indicateur pourrait ainsi contribuer à l'élaboration d'une métrique commune pour les ressources issues de l'écosphère et de la simili écosphère, qu'elles soient végétales ou animales. La mise en parallèle de cette valeur avec une valeur totale de production primaire totale (à une échelle pertinente) présente par ailleurs un intérêt certain pour l'évaluation de la rareté d'une ressource, et donc sa renouvelabilité [Cashion & al, 2016].

Notons enfin que la plupart des méthodes citées ici ont une opérationnalité limitée. Elles sont en effet pour la plupart issue d'un champ d'expertise précis, ne sont pas diffusées dans des outils et bases de données généralistes d'ACV, et dépendent de flux élémentaires souvent non disponibles dans ceux-ci.

Les sols et sous-sols

Il existe un consensus sur la nomenclature et le type de flux élémentaires concernant les sols dans les bases de données d'inventaire les plus courantes. Ces flux spécifiques aux sols incluent : le type d'usage (*forest, arable crop, urban land...*), le mode d'exploitation (*intensive vs extensive, irrigated vs non-irrigated...*), et la dynamique d'occupation et de changement d'usage. Sur cette base, la prise en compte des sols et de leurs usages en ACV peut se faire en première approche selon deux logiques, à considérer séparément.

La première consiste à les considérer comme une ressource en tant que telle, et donc à considérer des indicateurs de flux, agrégeant le type de sol considéré, la surface utilisée et la durée d'utilisation.

La deuxième implique de considérer les sols comme un support assurant d'autres services (biodiversité, traitement de la ressource en eau, séquestration de CO₂, production biotique...). La prise en compte des sols comme ressource n'est alors qu'un moyen d'évaluer la production d'autres ressources. L'évaluation des différentes caractéristiques des sols est aujourd'hui bien couverte par les méthodes disponibles. Certaines d'entre elles fournissent ainsi des informations sur leur qualité de ressource « support », et peuvent être envisagées comme proxys pour l'évaluation de la renouvelabilité des ressources issues de leur exploitation (capacité de production biotique, notamment).

L'eau

Les développements récents (2017) menés en ACV sur la prise en compte de la ressource eau permettent de relever la plupart des aspects nécessaires à une bonne évaluation de la renouvelabilité (voir notamment la publication de Boulay & al⁴, portant sur l'approche AWARE, Available Water REmaining). Un indicateur de criticité est développé. Il considère la disponibilité de la ressource, d'un point de vue hydrogéologique (et donc de façon différenciée selon la localisation considérée), et prend aussi en compte les besoins des écosystèmes et les besoins « de fond » générés par les activités humaines.

L'utilisation d'indicateurs de criticité pour cette ressource doit néanmoins, pour permettre une couverture de tous les aspects conditionnant le renouvellement de celle-ci, s'accompagner d'évaluations portant plus particulièrement sur la dégradation de la qualité de la ressource, qui peut être rendue impropre à certains usages, ou impliquer une pollution de l'écosphère

Les ressources énergétiques

Les ressources énergétiques sont considérées en ACV de façon spécifique. La ressource, au sens strict, étant l'énergie, la différenciation s'effectue sur la nature de la source. Il n'existe en effet pas de différence physique entre un MJ issu du soleil et un MJ issu du pétrole. Cette différenciation reste

⁴ BOULAY, Anne-Marie, BARE, Jane, BENINI, Lorenzo, *et al.* The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2018, vol. 23, no 2, p. 368-378.

néanmoins pertinente, puisqu'elle permet de tenir compte des caractéristiques du vecteur énergétique.

Ainsi si la plupart des sources énergétiques considérées comme renouvelables peuvent en fait être considérées comme non épuisables et donc instantanément renouvelées (énergie solaire, éolienne, géothermique, hydraulique), leur exploitation implique des impacts variables sur l'écosphère. Par ailleurs la biomasse, considérée comme une ressource énergétique, voit sa renouvelabilité dépendre des critères appliqués aux ressources biotiques.

L'évaluation de la renouvelabilité de ce type de ressource implique donc, hormis dans le cas de la biomasse, un angle d'analyse particulier. Elle ne correspond ainsi pas à la prise en compte d'un niveau d'exploitation mettant en péril la disponibilité de la ressource, ni à celle d'une dynamique de renouvellement. Elle peut en revanche intégrer la notion de disponibilité, et de mode d'exploitation.

Les indicateurs existants, par l'utilisation de facteurs de conversion en énergie primaire, fournissent une information de cet ordre. Mais ils ne permettent pas une évaluation relevant de la criticité de la ressource. Celle-ci relèvera ainsi, dans le cas des ressources en flux, d'aspects liés aux impacts des modes d'exploitation.

Enseignements

Le concept de criticité a semblé pouvoir rendre compte de façon pertinente de la notion de maintien des ressources supports. A l'origine terme relevant de l'économie et de la géopolitique, la criticité d'une ressource désigne la difficulté à s'en procurer. Appliquée au champ environnemental, on pourra considérer que la criticité d'une ressource, associée à sa disponibilité pour un usage, peut permettre d'évaluer une renouvelabilité : en considérant une part de la ressource devant être préservée pour assurer sa pérennité et celle des écosystèmes dont elle fait partie ou qu'elle maintient, on pourra déterminer la quantité de ressource disponible pour l'homme, et donc déterminer l'impact des niveaux de consommation actuels. Cette démarche devra cependant intégrer ou être accompagnée d'évaluations portant sur la qualité de la ressource considérée, et qu'elle soit affectée par son exploitation ou de manière indirecte.

Méthode d'évaluation de la criticité appliquée à l'ensemble des ressources potentiellement renouvelables

Nous proposons les bases méthodologiques pour le calcul d'un jeu d'indicateurs portant sur l'ensemble des ressources considérées comme renouvelables dans cette étude. L'objectif est ici de permettre l'évaluation de la perte potentielle de renouvelabilité liée à l'exploitation de ce type de ressource, en fonction de l'état actuel de disponibilité de celle-ci. Nous choisissons ainsi d'évaluer un indicateur de criticité, inspiré de l'approche AWARE développée pour la ressource eau, en lien avec leurs caractéristiques intrinsèques respectives.

La démarche est simplifiée : lorsque possible, nous cherchons à tirer parti des flux d'inventaires existant, qui peuvent constituer un proxy permettant de tenir compte de certaines propriétés des ressources. Une approche plus précise, nécessitant la prise en compte de flux spécifiques et donc l'analyse et la modélisation de leurs caractéristiques, pourra constituer une deuxième étape de développement.

La méthode porte principalement sur des ressources dites « secondaires », ou « produites ». Issues de transformations anthropiques ou naturelles, leur dynamique d'évolution repose fortement sur la disponibilité et la qualité des ressources « support ». L'intégration de cet aspect dans la méthode, et

l'évaluation de la renouvelabilité des ressources support par un jeu d'indicateurs de criticité pourra faire l'objet de développements ultérieurs.

Les ressources biotiques naturelles (issues de l'écosphère)

L'exploitation des ressources biotiques naturelles consiste en un prélèvement dans un capital, dont l'importance peut varier, en fonction des caractéristiques intrinsèques de la ressource, des conditions dans lesquelles elle évolue et se développe et de l'intensité du prélèvement. L'évaluation de la renouvelabilité de la ressource, et d'un indicateur de criticité, peut ainsi se faire sur la base des quantités liées aux caractéristiques de la ressource, et à ses modes d'évolution. On considèrera ainsi la quantité pouvant être exploitée sans mettre à mal la renouvelabilité de celle-ci, et la quantité effectivement prélevée.

Nous proposons ici, en première approche, de baser le calcul de l'indicateur sur la notion de Maximum Sustainable Yield (MSY), exprimé en nombre d'individus ou en masse (nous choisirons ici la tonne comme unité). Cette grandeur, bien que présentant plusieurs limites, permet en effet de combiner la notion de disponibilité de la ressource et celle de quantité de ressource à préserver pour assurer son renouvellement (que l'on assimilera ici à un « besoin » de l'écosphère). En considérant le calcul de ces grandeurs sur une zone considérée comme pertinente pour l'espèce étudiée (qui sera notamment fonction des caractéristiques de l'espèce, ainsi que de l'écosystème dans lequel elle évolue et de données climatiques), on peut considérer que

$$B_i = MSY_i + MSB_i$$

Où B_i est la quantité totale de biomasse pour l'espèce i (dans la zone considérée), MSY_i le rendement soutenable maximal associé, et MSB_i (pour Minimum Sustainable Biomass) la quantité minimale de biomasse animale à préserver pour assurer la renouvelabilité. Par conséquent, en considérant un indicateur de criticité de la forme :

$$AMD_i = \frac{(B_i - C_i - MSB_i)}{S_i}$$

Avec : C_i le prélèvement actuel pour l'espèce i

On constate que l'expression se simplifie en :

$$AMD_i = \frac{(MSY_i - C_i)}{S_i}$$

MSY_i rendement maximum soutenable pour l'espèce i , C_i le prélèvement actuel pour l'espèce i , S_i la surface de la zone considérée pour l'espèce i , $\overline{AMD}_i$ la moyenne mondiale pondérée par les prélèvements concernant l'espèce i .

En considérant que

$$CF_{ABRRE} = \frac{\overline{AMD}_i}{AMD_i}$$

L'évaluation de l'indicateur se fait alors selon la formule suivante :

$$NOBR \text{ scarcity index} = H * CF_{ABRRE}$$

NOBR : Naturally Occuring Biotic Ressources, *ABRRE* : Available Biotic Ressource Remaining, *H* (*Harvest*) représentant la quantité de biomasse animale prélevée (en tonnes).

Les ressources biotiques anthropiques végétales terrestres

Nous proposons de baser le calcul de l'indicateur sur le contenu maximal théorique de SOC (Soil Organic Carbon, carbone organique des sols, utilisé comme mesure de la quantité de matière organique des sols) atteignable sur les sols considérés, et sur la dégradation de cette quantité de SOC lié à l'usage des sols :

$$AMD = \frac{(SOC_{potential} - \Delta SOC_{biotic\ land})}{S}$$

$SOC_{potential}$ quantité potentielle de SOC sur la zone considérée (sur les sols biotiques), $\Delta SOC_{biotic\ land}$ différence entre quantité de SOC potentielle et actuelle sur les sols biotiques (fonction du type d'usage des sols), S surface de la zone considérée.

L'indicateur se base donc sur le contenu maximal théorique de SOC atteignable sur les sols considérés, et sur la dégradation de cette quantité de SOC lié à l'usage des sols. La grandeur $\Delta SOC_{biotic\ land}$ est ainsi considérée comme rendant compte à la fois de la quantité de SOC consommée par l'homme sur les sols biotiques cultivés et de celle nécessaire au maintien des écosystèmes actuels.

Cette approche est une approximation : il n'existe en effet pas de consensus sur une valeur seuil de SOC entraînant la perte de renouvelabilité d'une culture [Fageira, 2012]. Nous considérons ainsi les besoins des écosystèmes comme étant ceux des écosystèmes se développant sur les sols biotiques non cultivés (ce qui ne veut pas dire non utilisés). En considérant que la qualité des écosystèmes sur ces sols constitue l'état minimal dans lequel ils doivent se trouver pour assurer leur fonctionnement (ainsi que pour assurer les services écosystémiques nécessaires aux cultures), cette démarche constitue néanmoins une bonne approximation.

L'écart entre SOC potentiel et SOC actuel se calcule, sur une zone donnée, en additionnant les quantités de SOC correspondant à l'usage actuel des sols. Ces quantités, fournies notamment par les bases de données de l'IPCC [Penman & al, 2003] (SOC par hectare de sol, fonction de la nature du sol) et par différents outils cartographiques, se calcule ainsi :

$$\Delta SOC_{biotic\ land} = \sum_{S_{land\ use_i}}^S (SOC_{Potential_i} - SOC_{Actual_i})$$

Reportée dans l'expression AMD, le calcul de $\Delta SOC_{biotic\ land}$ donne ainsi :

$$AMD = \frac{SOC_{Actual}}{S}$$

Le facteur de caractérisation correspondant est alors :

$$CF_{ASOCRE} = \frac{\overline{AMD}}{AMD}$$

$\overline{AMD}$ moyenne mondiale.

L'indicateur est ainsi calculé comme étant le produit du facteur de caractérisation et de la valeur obtenue pour l'indicateur land use de la méthode ILCD [Brandao & Mila i Canals, 2013], évaluant le déficit de carbone des sols associé au système étudié :

$$AVBR \text{ scarcity index} = LandUse_{ILCD} * CF_{ASOCRE}$$

AVBR : Anthropic Vegetal Biotic Ressources, *ASOCRE* : Available Soil Organic Carbon Remaining.

Les ressources biotiques anthropiques animales terrestres

La renouvelabilité des ressources animales terrestres anthropiques (issues de l'élevage) est étroitement liée à la renouvelabilité des intrants végétaux servant à l'alimentation du bétail. L'élevage constitue en effet une reproduction artificielle des mécanismes de chaîne alimentaire : la pression environnementale sur les ressources support peut ainsi être reportée, in fine, à un impact sur la qualité des sols.

Nous proposons ainsi de baser l'évaluation de la renouvelabilité de la biomasse animale sur celle de l'impact associé à la biomasse végétale consommée pour l'élevage, en se basant sur l'approche ASOCRE dans le cas de biomasse cultivée, et l'approche ABRRE dans le cas de la biomasse prélevée dans l'écosphère.

Evaluation de l'impact sur le SOC de l'élevage de biomasse animale

Ainsi nous considérons que la renouvelabilité de la biomasse anthropique animale est directement déterminée par celle de la biomasse végétale consommée par l'élevage, et donc utilisée comme intrant.

Nous pouvons alors considérer que la prise en compte de la quantité de biomasse végétale consommée, ainsi que ses caractéristiques (naturelle ou anthropique, espèce végétale et mode de culture dans le cas anthropique) fournissent les éléments pour l'évaluation de la renouvelabilité de la biomasse animale.

Ainsi, lors d'une ACV portant sur la production de biomasse animale anthropique, nous proposons de baser l'évaluation sur :

- Dans le cas d'intrants biotiques végétaux cultivés, la méthode ASOCRE
- Dans le cas d'intrants biotiques naturels (pâturage par exemple), la méthode ABBRE.

L'indicateur de criticité pour les ressources biotiques animales anthropiques sera alors :

$$AABR \text{ scarcity index} = A * \left(\frac{AVBR \text{ scarcity index}}{V_{tot}} + \frac{NOBR \text{ scarcity index}}{V_{tot}} \right)$$

Avec

$$AVBR \text{ scarcity index} = \sum_i^{\substack{\text{ressources} \\ \text{anthropiques} \\ \text{végétales}}} V_{anthro_i} * CF_{ASOCRE_i}$$

$$NOBR \text{ scarcity index} = \sum_j^{\substack{\text{ressources} \\ \text{anthropiques} \\ \text{végétales}}} V_{natural_j} * CF_{ABBRE_j}$$

V_{anthro_i} la quantité de ressource végétale anthropique de l'espèce i (en tonnes), CF_{ASOCRE_i} le facteur de caractérisation associé à l'espèce i , $V_{natural_j}$ la quantité de ressource naturelle végétale j (en tonnes), CF_{ABBRE_j} le facteur de caractérisation associé, V_{tot} la quantité totale de biomasse consommée (en tonnes), A la quantité de biomasse animale produite.

Les ressources abiotiques

Les ressources abiotiques renouvelables correspondent ici à des ressources énergétiques de flux, considérées comme infinies et inépuisables à l'échelle de temps humaine. La notion de criticité et la logique l'évaluant est ainsi modifiée. En l'absence de besoins des écosystèmes, la disponibilité n'est conditionnée que par les besoins anthropiques et des aspects liés à l'exploitation de la ressource : il est ainsi possible de considérer les ressources épuisables mobilisées par l'exploitation comme l'équivalent d'une ressource support. La criticité, et donc la disponibilité de ces ressources, est alors influencée par des éléments liés à leur épuisement, mais aussi à leur dissémination, leur difficulté d'extraction, et les besoins en raffinement/transformation pour exploitation.

La commission européenne a publié la dernière version de sa liste de matières premières considérées comme critiques (au nombre de 27) pour l'Europe⁵. Cette publication s'accompagne d'un document présentant la méthodologie d'évaluation de la criticité [European Commission, 2017a], ainsi que le détail des études menées pour les ressources considérées comme critiques [European Commission, 2017a].

Cette évaluation s'appuie notamment sur quatre indicateurs :

- L'importance économique (Economic Importance, EI)
- Le risque sur l'approvisionnement (Supply Risk, SR)
- Un index de substitution lié à l'importance économique (Substitution Index for economic importance, SI(EI))
- Un index de substitution lié au risque sur l'approvisionnement (Substitution Index for Supply Risk, SI(SR))

La Figure 1 : caractérisation de la criticité de l'antimoine, [European Commission, 2017b] donne une illustration de ces indicateurs dans le cas de l'antimoine.

⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0490&from=EN>

1. ANTIMONY

Key facts and figures

Material name and element symbol	Antimony, Sb	World / EU production (tonnes) ¹	42,833 / 0
Parent group	n.a.	EU import reliance ¹	100%
Life cycle stage /material assessed	Processing/ Sb metal	Substitution index for supply risk [SI(SR)] ¹	0.93
Economic importance (EI) (2017)	4.3	Substitution Index for economic importance [SI(EI)] ¹	0.91
Supply risk (SR) (2017)	4.3	End of life recycling input rate (EOL-RIR)	28%
Abiotic or biotic	Abiotic	Major global end uses in 2014	Flame retardants (43%) Lead-acid batteries (32%) Lead alloys (14%) China (87%) Vietnam (11%)
Main product, co-product or by-product	Main product or co or by product of Au, Pb, Zn	Major world producers ¹ (Sb metal production)	
Criticality results	2011 Critical	2014 Critical	2017 Critical

Figure 1 : caractérisation de la criticité de l'antimoine, [European Commission, 2017b]

L'importance économique d'une ressource est calculée sur la base de l'importance du matériau considéré dans les usages finaux de matériaux pour l'Europe, ainsi que sur la performance d'éventuels substituts pour ces applications. Le risque sur l'approvisionnement est lui estimé à partir de facteurs mesurant le risque de perturbation dans la fourniture du matériau (e.g. apports mondiaux, apports internes à l'UE, dépendance à l'égard des importations, performances de gouvernance des pays fournisseurs mesurées par l'indicateur de gouvernance mondiale (WGI, World Governance Indicator), restrictions et accords commerciaux, disponibilité et caractère critique des produits de remplacement). Les indices de substitutions sont eux des grandeurs, comprises entre 0 et 1, caractérisant la possibilité de substituer le matériau considéré par un autre, une valeur de 1 correspondant à un matériau non substituable.

Nous proposons ici de nous appuyer sur les facteurs liés au risque sur l'approvisionnement pour alimenter un indicateur de criticité des ressources énergétiques abiotiques renouvelables. Ces grandeurs seront combinées à l'évaluation du potentiel de déplétion biotique (ADP, Abiotic Depletion Potential) [Guinée, 2001], pour déterminer un indice de criticité.

Notre proposition passe par l'exploitation de l'ICV du vecteur énergétique donné : on identifie dans celui-ci les quantités de matériaux critiques consommés pour la production d'une quantité d'énergie finale donnée.

Ainsi, pour un vecteur énergétique renouvelable donné, on considère :

$$IC_{Renewable\ Energy} = \sum_i^{Critical\ EF} \frac{m_i}{m_{tot}} * ADP_i * SR_i * SI(SR)_i$$

$IC_{Renewable\ Energy}$ l'indice de criticité pour une ressource énergétique renouvelable abiotique m_i flux élémentaire correspondant à la ressource critique i , m_{tot} somme des flux élémentaires correspondant aux ressources critiques, ADP_i facteur de caractérisation pour l'épuisement des ressources abiotiques correspondant à la ressource critique i , SR_i score concernant le risque sur l'approvisionnement pour la ressource i , $SI(SR)_i$ l'index de substitution correspondant. Valeurs obtenues pour l'ensemble des ressources critiques identifiées dans l'inventaire des procédés d'infrastructure nécessaires à l'exploitation du flux EnR.

Pour un flux élémentaire énergétique renouvelable abiotique donné, l'objectif est ainsi d'évaluer, en fonction de la façon dont sont construits les flux élémentaires (représentativité technologique, hypothèses pour le calcul des valeurs d'inventaires associées), un facteur de caractérisation :

$$CF_{PAREC} = \sum_i^{critical\ EF} \frac{m_i}{m_{tot}} * ADP_i * SR_i * SI(SR)_i$$

m_i flux élémentaire correspondant à la ressource critique i , m_{tot} somme des flux élémentaires correspondant aux ressources critiques, ADP_i facteur de caractérisation pour l'épuisement des ressources abiotiques correspondant à la ressource critique i , SR_i score concernant le risque sur l'approvisionnement pour la ressource i , $SI(SR)_i$ l'index de substitution correspondant.

$$Abiotic\ Renewable\ Energy\ criticality\ index = EF_{energy} * \frac{EF_{energy}}{\sum EF_{energy}} * CF_{PAREC}$$

EF_{energy} : flux élémentaire énergie, $PAREC$: Primary Abiotic Renewable Energy Criticality

Cas d'étude

Les propositions méthodologiques ont été testées sur deux cas d'études, qui ont permis d'illustrer l'intérêt des nouveaux indicateurs proposés. Le premier porte sur la culture sur 1ha de miscanthus, herbacée à rhizomes souvent cultivé comme biomasse énergie. Cette plante présente potentiellement plusieurs intérêts, dont celui de pouvoir augmenter le contenu carbone des sols (SOC). Sa culture a ainsi été comparée à un cas de rotation de culture plus conventionnel, par la méthode ASOCRE et l'utilisation de valeurs spécifiques pour la variation de SOC liée.

Le second cas d'étude repose lui sur les maisons INCAS, plateformes tests pour l'énergétique des bâtiments. Nous avons ici comparé, sur un périmètre limité aux besoins en chauffage et ECS et aux exploitations locales de ressources abiotiques de flux, différents choix de vecteurs énergétiques permettant de répondre à ses besoins, ainsi que différents choix méthodologiques (allocation, périmètre). Cette comparaison a été menée en s'appuyant sur des méthodes généralistes d'évaluation des impacts ainsi que sur la méthode PAREC proposée dans cette étude.

Conclusion et perspectives

L'ensemble des méthodes proposées dans ce travail a pour ambition de proposer une démarche de prise en compte de la renouvelabilité des ressources potentiellement renouvelables selon des principes méthodologiques communs. Ils se basent ainsi sur la notion de criticité, qui se décline en fonction des caractéristiques des ressources considérées.

Cette approche n'évalue pas le renouvellement de la ressource : elle l'intègre dans la grandeur évaluée. La criticité rend ainsi compte du contexte dans lequel est prélevée la ressource. Elle peut permettre d'intégrer le lien entre des ressources produites et des ressources « support ».

Les méthodes proposées s'appuient sur des données disponibles, dans la littérature scientifique ou dans des bases de données. Elles sont en l'état surtout quantitatives : de futurs travaux de recherche

pourront investiguer la possibilité de traiter les aspects qualitatifs des ressources support de façon intégrée.

La question de l'évaluation de la renouvelabilité en ACV et du développement d'un indicateur sur cet aspect soulève un questionnement de fond sur la méthode et son caractère opérationnel. Il apparaît en effet que la capacité de l'ACV à porter cette évaluation est fortement dépendante de la structuration des inventaires, et des données intégrées à ceux-ci. De nombreux flux « élémentaires » absents des ICV sont ainsi nécessaires pour rendre opérationnels les méthodologies présentées dans ce document. L'opportunité de l'extension des ICV à ces flux est par ailleurs sujet à débat : pour des questions d'opérationnalité, mais aussi en fonction du niveau de transformation de la ressource considérée, et donc de son positionnement par rapport à la frontière entre écosphère et technosphère. En attendant ces potentiels futurs développements, il reste tout à fait envisageable de développer un indicateur nécessitant de renseigner « à la main » les flux nécessaires.

Les développements méthodologiques proposés ici sont à la croisée des chemins : ils s'appuient sur des flux élémentaires existants dans les bases de données, mais nécessitent par ailleurs une certaine expertise permettant de fournir les informations manquantes lors de la simulation.

Leur cohérence pourra par ailleurs être améliorée par la production des flux d'inventaires nécessaires, et la production de facteurs de caractérisation correspondant.

On le voit, les logiques mobilisées sont notablement différentes selon les cas de figure. Ainsi si la méthodologie repose sur le même principe, un indicateur de criticité, les caractéristiques servant de base à son calcul varient. Plus spécifiquement, la différence est nette selon que l'on considère les ressources biotiques et abiotiques : dans le second cas, on s'appuie sur les modes d'exploitation de la ressource, en considérant que sa pérennité constitue un proxy évaluant une simili-renouvelabilité de ressource par nature non épuisables. Le premier cas s'appuie lui sur les caractéristiques de la ressource elle-même, ou des ressources « support » servant à son renouvellement.

Cette différence d'approche constitue une limite, en l'état actuel, de la méthodologie proposée. Une mise en cohérence de l'évaluation des indicateurs, et notamment des amplitudes de variation des facteurs de caractérisation, pourra permettre une analyse homogène de l'ensemble des ressources dites renouvelables, et une éventuelle agrégation en un indicateur unique.

Cette mise en cohérence devra néanmoins se faire sur la base de valeurs seuils potentiellement représentatives de la renouvelabilité de la ressource. Ainsi la valeur maximale du facteur de caractérisation, correspondant à une ressource surexploitée (demande supérieure à disponibilité), devra idéalement rendre compte de la conséquence de la surexploitation.

Si l'on considère le principe de niveaux de transformation d'une ressource, que ce soit une transformation naturelle ou anthropique, et la distinction entre ressource support et ressource produite, il semble pertinent de chercher à harmoniser les approches vers la prise en compte, pour chaque type de ressource considéré, de l'impact final sur l'ensemble des ressources support. Celles-ci constitueraient ainsi un socle dont la qualité, la disponibilité et la renouvelabilité conditionneraient celle de l'ensemble des ressources produites.

On soulignera en particulier que le climat en tant que ressource support n'a pas été intégré aux modèles alors que le GIEC souligne dans son dernier rapport que différentes études de confiance indiquent que le changement climatique réduit la capacité des espèces à perdurer (renouvelabilité des ressources naturelles) et les rendements agricoles (renouvelabilité des ressources anthropiques).

L'ACV permet en effet de considérer que la perte de renouvelabilité se traduit in fine dans les aires de protection considérées par la méthode, et que l'impact sur la qualité des ressources « support » conditionne celle-ci.

Ainsi, la méthode proposée pourrait se voir mise en application en tant que méthode de pondération d'indicateurs midpoints illustrant le maintien des ressources supports. Elle permettrait d'obtenir la gravité du scénario étudié en termes d'exploitation de ressources potentiellement renouvelables au regard du capital disponible.