

ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX, HIERARCHISATION ET INTEGRATION STRATEGIQUE : QUELLE PLACE POUR L'ACV ET LES LIMITES PLANETAIRES

RAPPORT FINAL

Août 2017

Responsables scientifiques

- **Caroline Catalan, Guillaume Neveux**

I Care & Consult, 28 rue du 4 Septembre, 75002 Paris

- **Quentin Bézier, Quentin Baret, Hélène Teulon**

Ginkgo 21, 8 rue du Conseil de l'Europe, 91300 Massy-Palaiseau



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, Enjeux environnementaux, hiérarchisation et intégration stratégique : quelle place pour l'ACV et les Limites Planétaires, 2017, 111 pages, n°2016-01.
- ✓ 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.

Comité de suivi pour SCORE LCA : Véronique Andriès – Alstom, Erwan Autret – ADEME, Adrien Bouteille – Renault, Jean-paul Cazalets – Total, Manuelle Diemer – Alstom, Daniel Dunet – Veolia R&I, Elsa Favrot – ENGIE, Jade Garcia – SCORE LCA, Anne-Laure Hettinger – ArcelorMittal, Denis Le Boulch – EDF, Séverine Méhier – Véolia, Stéphane Morel – Renault, Philippe Osset – SCORE LCA, Anne Prieur-Vernat – ENGIE, Celine Verrat – Total, Jean-François Viot – Solvay, Alain Wathelet - Solvay, Christèle Wojewodka – Saint Gobain.

RESUME

Une analyse de l'évolution de la communication des entreprises montre une nette progression de la place faite aux enjeux environnementaux dans leur stratégie tout en constatant, pour la plupart, une prédominance de l'enjeu climat vis-à-vis des autres enjeux environnementaux. Afin que les stratégies définies soient efficaces, les entreprises se sont dotées d'outils d'évaluation et de suivi de leurs actions. A ce titre, le concept et les outils d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) se sont révélés indispensables dans cette évolution. Ils ont notamment permis d'articuler les enjeux entre eux, et surtout de dépasser une approche « site » en apportant une vision globale de l'impact de l'entreprise, indispensable à l'évaluation de la matérialité des enjeux environnementaux pour celle-ci.

D'apparition plus récente, les Limites Planétaires sont un nouveau cadre conceptuel prometteur qui pourrait apporter trois principaux progrès dans l'intégration stratégique des enjeux environnementaux, à savoir : une hiérarchisation des enjeux (en fonction de la distance à la limite) ; le passage d'une vision relative de l'impact à une vision absolue et la possibilité de définir de manière objective (« science based ») des trajectoires de réduction d'impact. En ce qui concerne la hiérarchisation, de nombreux travaux sont en cours pour opérationnaliser le concept, notamment en construisant des ponts avec les méthodes ACV, mais ils ne sont pas (au moment de l'étude) suffisamment avancés pour permettre une hiérarchisation opérationnelle et indiscutable des enjeux au niveau de l'entreprise. Par ailleurs, concernant les trajectoires de réduction, force est de constater l'important écart entre la suite opérationnelle d'outils développés pour la limite Climat et le travail restant à accomplir pour les autres limites. En effet, pour la limite Climat, cette opérationnalisation n'a pu être réussie que grâce à la conjonction de progrès dans trois domaines (scientifique, politique et technique) et l'implication des entreprises au niveau mondial. Ce n'est qu'en suivant le même processus que l'opérationnalisation des autres limites pourra être aussi robuste que celle du climat. Ces progrès qui restent à accomplir n'empêchent pas un certain nombre d'entreprises d'initier des démarches exploratoires pour opérationnaliser les limites planétaires.

MOTS CLES

Enjeux environnementaux ; Analyse du cycle de vie; Normalisation ; Limites Planétaires

SUMMARY

Analysis of corporate communication over the last decade indicates a clear progression of the space given to environmental issues in business strategy with, for the most part, a predominance of climate change over other environmental issues. In order to build effective strategies, companies have been using specific tools for evaluating and monitoring their actions. As such, Life Cycle Assessment (LCA) proved to be essential in this evolution. In particular, it enables to address various environmental issues and to go beyond a "site" approach by bringing a global vision of business impacts, which is essential to assess environmental matter materiality.

More recently, Planetary Boundaries concept was highlighted as a promising new conceptual framework that may bring three main progress in strategic integration of environmental issues: hierarchization of issues (depending on the distance to the limit); shift from a relative vision of impact to an absolute vision and the opportunity to define objectively ("science-based") impact reduction trajectories. Regarding hierarchization, scientific works are going on operationalize the concept, especially by building bridges with LCA methodologies, but they are not (at the time of the study) sufficiently advanced to enable operational and unquestionable hierarchization of companies issues.

Besides, concerning impact reduction trajectories, it is important to note the gap between the available Climate operational suite of tools and the work still to be done for the other limits. Indeed, for the Climate limit, operationalization has only been achieved thanks to the combination of progress in three areas (scientific, political and technical) and the involvement of companies at the global level. It is only by following the same process that the operationalization of other limits may be as robust as the limit for Climate. In the meantime, some companies are already exploring ways of operationalizing planetary boundaries through pilot initiatives.

KEY WORDS

Environmental issues; Life Cycle Assessment; Normalization; Planetary Boundaries

SOMMAIRE

Introduction	10
1. Contexte et objectifs	10
2. Méthodologie générale.....	10
I. Quels enjeux environnementaux ?	12
0. Eléments de définition	12
1. Cartographie des enjeux environnementaux	12
1.1. Changement climatique : une reconnaissance internationale.....	17
1.2. Dégradation de la qualité de l'air	18
1.3. Dégradation des ressources en eau	19
1.4. Pollutions des sols	20
1.5. Changement d'occupation des sols.....	20
1.6. Epuisement des ressources énergétiques	21
1.7. Epuisement des ressources non-énergétiques	22
1.8. Déchets.....	23
1.9. Risques industriels.....	23
1.10. Augmentation des nuisances	24
1.11. Atteintes à la santé humaine	24
1.12. Dégradation des écosystèmes.....	25
1.13. Articulation et interactions entre les enjeux.....	26
2. Apports de l'Analyse de Cycle de Vie à l'analyse des enjeux environnementaux.....	28
2.1. ACV : un cadre holistique et causal de classification des enjeux environnementaux	28
2.2. Synthèse sur l'apport de l'Analyse du Cycle de Vie vis-à-vis des enjeux environnementaux	29
2.3. Guide de lecture des fiches détaillées par enjeu	32
3. Apports des Limites Planétaires à l'analyse des enjeux environnementaux	34
3.1. Historique et définitions.....	34
3.2. Description des Limites Planétaires	34
3.3. Limitations et controverses.....	40
3.4. Limites Planétaires vs. ACV : un changement de perspective sur les enjeux environnementaux, et des questions de compatibilité.....	41
II. Hiérarchisation des enjeux environnementaux	48
1. Hiérarchisation des enjeux : quel point de vue et quelle méthode retenir ?.....	48
2. Apport de l'ACV à la hiérarchisation des enjeux	55
3. Apport des Limites planétaires à la hiérarchisation des enjeux : un changement dans l'ordre des priorités ?	58
3.1. Un changement de point de vue	58
3.2. Une prise de conscience de la vulnérabilité du système Terre	60
3.3. Un changement de hiérarchisation des enjeux	61
3.4. Un impact sur les méthodologies de monétarisation ?	75
III. Intégration des enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise	76
1. Approche site et approche produit	76
2. Cadre de l'analyse stratégique des enjeux environnementaux.....	77

3.	<i>Intérêt et rôle de l'ACV dans l'intégration stratégique des enjeux environnementaux</i>	82
4.	<i>Intérêt et rôle des Limites Planétaires dans l'intégration stratégique des enjeux environnementaux ...</i>	86
4.1.	De nouveaux éléments pour l'intégration dans la stratégie	86
4.2.	Un changement stratégique de perspective : passage d'une vision relative à une vision absolue	86
4.3.	Application stratégique du concept de Limites Planétaires et mise en œuvre opérationnelle	87
4.4.	Revue de l'état d'avancement de la mise en œuvre pour les différentes limites planétaires	89
4.5.	Limite Climat : une « suite » d'outils qui foisonnent pour rendre opérationnel le concept pour les entreprises.....	93
4.6.	Mise en œuvre des autres limites : vers des applications volontaires et expérimentales.....	104
4.7.	Utilisation des Limites Planétaires pour les stratégies nationales	107
Conclusion.....		108
Références		109

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma d'articulation entre les différentes composantes et parties de l'étude	11
Figure 2 : Evolution des préoccupations environnementales des français (Service de l'observation et des statistiques (SOeS), 2017).....	13
Figure 3 : Objectifs Développement Durable UNEP – Agenda 2030.....	14
Figure 4 : Cartographie simplifiée des enjeux et interactions	15
Figure 5 : Illustrations d'interactions entre les enjeux environnementaux (I Care & Consult, 2017)	27
Figure 6 : schéma de principe de l'articulation des indicateurs ACV	29
Figure 7 : Taux de couverture des enjeux identifiés par l'ACV	31
Figure 8 : Limites planétaires (Steffen et al., 2015)	35
Figure 9 : Correspondance entre les catégories d'impact en ACV et les Limites Planétaires	42
Figure 10 : Chaines d'impact et écosystème terrestre dans le contexte des limites planétaires (Ryberg, Owsianiak, Richardson, & Hauschild, 2016)	44
Figure 11 : Cartographie de la bibliographie sur le sujet ACV et limites planétaires	47
Figure 12 : Approches principales pour la hiérarchisation des enjeux environnementaux	48
Figure 13 : E P&L de Kering.....	50
Figure 14 : interactions entre entreprise et enjeux environnementaux	52
Figure 15 : Représentation schématique de l'analyse de matérialité, source I Care.....	52
Figure 16 : Illustration de l'analyse de matérialité pour le secteur Production d'électricité (I Care & Consult, 2017)	53
Figure 17: Synthèse de l'apport de l'ACV aux méthodes de hiérarchisation	55
Figure 18 : Résultats d'ACV normalisé pour la production d'1m ² de panneau solaire photovoltaïque.	56
Figure 19: Synthèse de l'apport des Limites Planétaires aux méthodes de hiérarchisation.....	58
Figure 20 : Illustration de l'analyse de matérialité pour le panneau photovoltaïque	62
Figure 21 : ACV d'un panneau photovoltaïque, résultats normalisés, Global, données JRC 2016, pour 1 m ² de panneau, single-Si wafer, en sortie d'usine	63
Figure 22 : ACV d'un panneau photovoltaïque, résultats normalisés, Global, données JRC 2016 (sans l'indicateur écotoxicité en eau douce), pour 1 m ² de panneau, single-Si wafer, en sortie d'usine	64
Figure 23 : ACV d'un panneau photovoltaïque, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global, pour 1 m ² de panneau, single-Si wafer, en sortie d'usine	65
Figure 24 : ACV d'un véhicule électrique, résultats normalisés, Global, données JRC 2016, pour 15 000 km parcourus dans un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage)	66
Figure 25 : ACV d'un véhicule électrique, résultats normalisés, Global, données JRC 2016 (sans l'indicateur d'écotoxicité en eau douce), pour 15 000 km parcourus dans un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage)	67
Figure 26 : ACV d'un véhicule électrique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global, pour 15 000 km parcourus dans un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage)	67
Figure 27 : ACV d'un véhicule thermique, résultats normalisés, Global, données JRC 2016,	68
Figure 28 : ACV d'un véhicule thermique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global, pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio (soit un an d'usage).....	69
Figure 29 : ACV d'un véhicule thermique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global (sans les indicateurs Changement climatique et Formation d'ozone photochimique),pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio (soit un an d'usage).....	69
Figure 30 : ACV comparée d'un véhicule thermique et d'un véhicule électrique, résultats normalisés, Global, données JRC 2016, pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio ou un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage)	70
Figure 31 : ACV comparée d'un véhicule thermique et d'un véhicule électrique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio ou un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage), la ligne rouge représente le seuil à ne pas dépasser dans le cadre des limites planétaires	71
Figure 32 : ACV comparée d'un véhicule thermique et d'un véhicule électrique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global (sans les indicateurs Changement climatique et Formation d'ozone photochimique) pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio ou un VE du type	

Renault ZOE (soit un an d'usage), la ligne rouge représente le seuil à ne pas dépasser dans le cadre des limites planétaires	71
Figure 33 : Schéma approche site et approche produit, I Care & Consult.....	76
Figure 34 : Cadre d'analyse de l'intégration stratégique des enjeux environnementaux (I Care & Consult, 2017)	77
Figure 35 : Granularité sectorielle pour le secteur de la production d'électricité	78
Figure 36 : localisation de l'impact GES de la filière Mobilité thermique	79
Figure 37 : localisation de l'impact biodiversité de la filière agro-alimentaire	79
Figure 38 : Analyse géographique du prix du carbone, source I4CE	80
Figure 39 : Récapitulatif de l'intégration des enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise	82
Figure 40 : Prise en compte des enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise	86
Figure 41 : Vision absolue et relative de l'évaluation des impacts environnementaux	87
Figure 42 : Schéma général de mise en œuvre des Limites Planétaires (I Care & Consult, 2017)	88
Figure 43 : Représentation schématique de l'état d'avancement et de mise en œuvre des Limites Planétaires (I Care & Consult, 2017).....	89
Figure 44 : Limitation de l'impact sur la biodiversité par secteur	93
Figure 45 : « Suite d'outils » sur la limite Climat (source I Care & Consult, 2017)	94
Figure 46 : Schéma de principe du Budget Carbone (Science Based Targets, 2017)	94
Figure 47 : Analyse des INDC par le PNUE	95
Figure 48 : Répartition sectorielle des émissions de GES dans le cadre de la SNBC	96
Figure 49 : Structure du modèle ETP – TIMES de l'AIE	97
Figure 50 : Analyse des cibles de réduction d'un échantillon de 70 entreprises les plus émettrices au sein du CDP (Guide pratique SBTi, 2017)	97
Figure 51 : Processus d'engagement auprès de l'ISBT (Guide pratique de la SBTi, 2017).....	98
Figure 52 : Méthodes recensées par l'ISBT (Guide Pratique SBTi, 2017)	98
Figure 53 : Schéma d'utilisation de SDA (CDP; WRI; WWF, 2015)	99
Figure 54 : Répartition sectorielle de la trajectoire 2°, source : SDA/AIE	100
Figure 55 : Trajectoire 2°C pour le secteur de l'acier	100
Figure 56 : Les 9 modules d'évaluation ACT, CDP 2017	102
Figure 57 : Schéma explicatif des 3 scorings (I Care & Consult, 2017).....	103
Figure 58 : Score moyen phase pilote secteur électricité, CDP 2017	103
Figure 59 : Objectifs de réduction émissions de GES d'ENECO (Kerkhof et al., 2015)	106
Figure 60 : Objectifs de réduction émissions de particules fines d'ENECO	107

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des enjeux environnementaux retenus et évaluation	14
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des enjeux principaux et des sous-enjeux identifiés	16
Tableau 3 : Exemple de fiche et précisions sur les informations apportées dans les fiches	32
Tableau 4 : Caractérisation des différentes limites planétaires - d'après Steffen et al (2015).....	39
Tableau 5 : Evaluation de l'impact relatif du secteur Production d'électricité sur les enjeux environnementaux, source analyse I Care	49
Tableau 6 : Comparaison du Top 5 enjeux pour le panneau solaire, selon la méthode de hiérarchisation	65
Tableau 7 : Comparaison du Top 5 enjeux pour le véhicule électrique, selon la méthode de hiérarchisation	68
Tableau 8 : Comparaison du Top 5 enjeux pour le véhicule thermique, selon la méthode de hiérarchisation	70
Tableau 9 : Part de l'impact environnemental par personne selon la méthode EC-JRC par rapport aux limites planétaires, calculées pour chaque catégorie d'impact pour lesquelles un chiffre déterminant la limite planétaire est disponible (d'après le rapport technique « Global environmental impacts and planetary boundaries in LCA » du JRC)	73
Tableau 10 : Comparaison des Capacités Planétaires proposées par trois sources pour une application en ACV	91
Tableau 11 : Comparaison de 4 Limites Planétaires (Clift et al., 2017)	104

LISTE DES ABREVIATIONS

ACT	Assessing low-Carbon Transition
ACV	Analyse du Cycle de Vie
ACV-O	Analyse du Cycle de Vie Organisationnelle
AIE	Agence Internationale de l'Energie
AME	Avec Mesures Existantes
AMS2	Avec Mesures Supplémentaires n°2
AOD	Aerosol Optical Depth
AGT	Absolute Global Temperature
BII	Biodiversity Intactness Index
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CDP	Carbon Disclosure Project
EESC	Equivalent Effective Stratospheric Chlorine
EICV	Evaluation des Impacts du cycle de vie
ESR	Ecosystem Service Review
FW	Freshwater
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GRI	Global Reporting Initiative
I4CE	Institute for Climate Economics
IIRC	International Integrated Reporting Council
INDC	Intended Nationally Determined Contributions
JRC	Joint Research Center
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OEF	Organisation Environmental Footprint
PEF	Product Environmental Footprint
PV	Photovoltaïque
RSE	Responsabilité Sociale des Entreprises
SBT	Science-based Target
SBTI	Science-based Target Initiative
SCEQE	Système Communautaire d'Echange de Quotas d'Emission
SDA	Sectoral Decarbonization Approach
SNBC	Stratégie Nationale Bas-Carbone
SRC	Stockholm Resilience Center
TECV	Transition Energétique pour la Croissance Verte
UNEP	United Nations Environment Programme
VE	Véhicule Electrique
VT	Véhicule Thermique

Introduction

1. Contexte et objectifs

L'environnement occupe une place de plus en plus importante dans le débat international, à la fois dans le secteur public et dans le secteur privé. A ce titre, les entreprises se retrouvent face à des problématiques environnementales multiples et souvent complexes à appréhender. Pour répondre efficacement à la nécessité d'intégration des problématiques environnementales dans leurs activités, elles mettent en place des stratégies, qui s'étendent le plus souvent sur toute leur chaîne de valeur.

Afin que les stratégies définies soient efficaces, les entreprises ont besoin d'outils d'évaluation et de suivi de leurs actions. L'Analyse du Cycle de Vie (ACV), méthodologie d'évaluation environnementale multicritères, est un de ces outils mais son rôle est parfois mal défini ce qui soulève plusieurs questions :

- Quelle est la place actuelle de l'ACV dans les réflexions stratégiques vis-à-vis des enjeux environnementaux ?
- Quelle est sa pertinence, de manière générale, et sa pertinence sur chacun des enjeux environnementaux ?
- Quels sont les apports de l'ACV pour définir les stratégies d'entreprise et quelles sont ses limites ?

De plus, devant le consensus général sur la nécessité de maintenir les activités dans les limites de capacité biotique de la Terre, les concepts de *Carrying Capacities* et *Environmental Boundaries* commencent à être proposés comme base de pondération en ACV afin d'apporter une vision plus concrète des résultats d'impacts environnementaux et de faciliter leur interprétation ainsi que leur intégration dans les stratégies d'entreprises.

Ainsi, dans ce contexte, l'étude SCORELCA a les objectifs suivants:

- Etablir un panorama des enjeux environnementaux et détailler comment l'ACV peut contribuer à ces enjeux ;
- Déterminer les enjeux importants pour l'entreprise (par secteur), détailler comment les intégrer au mieux dans la stratégie et évaluer les apports de l'ACV ;
- Définir la notion de *Limites Planétaires*, approfondir le lien existant avec l'ACV et réaliser un cas d'étude.

L'étude est réalisée par le groupement I Care & Consult (expert en stratégie et environnement) et Gingko 21 (expert ACV) afin de répondre au mieux à la demande de SCORELCA.

2. Méthodologie générale

Afin de répondre aux objectifs détaillés dans la partie précédente, l'étude s'articulera autour des trois problématiques suivantes :

- (1) Comment identifier et articuler les enjeux environnementaux ;
- (2) Comment hiérarchiser les enjeux environnementaux ? ;
- (3) Comment intégrer ces enjeux dans la stratégie d'entreprise.

Pour chacune de ces problématiques, l'étude précisera dans quelle mesure les méthodes d'analyse de cycle de vie et les concepts des Limites Planétaires permettent d'apporter des réponses à ces questions.

La Figure 1 illustre l'articulation entre les grandes parties de l'étude.

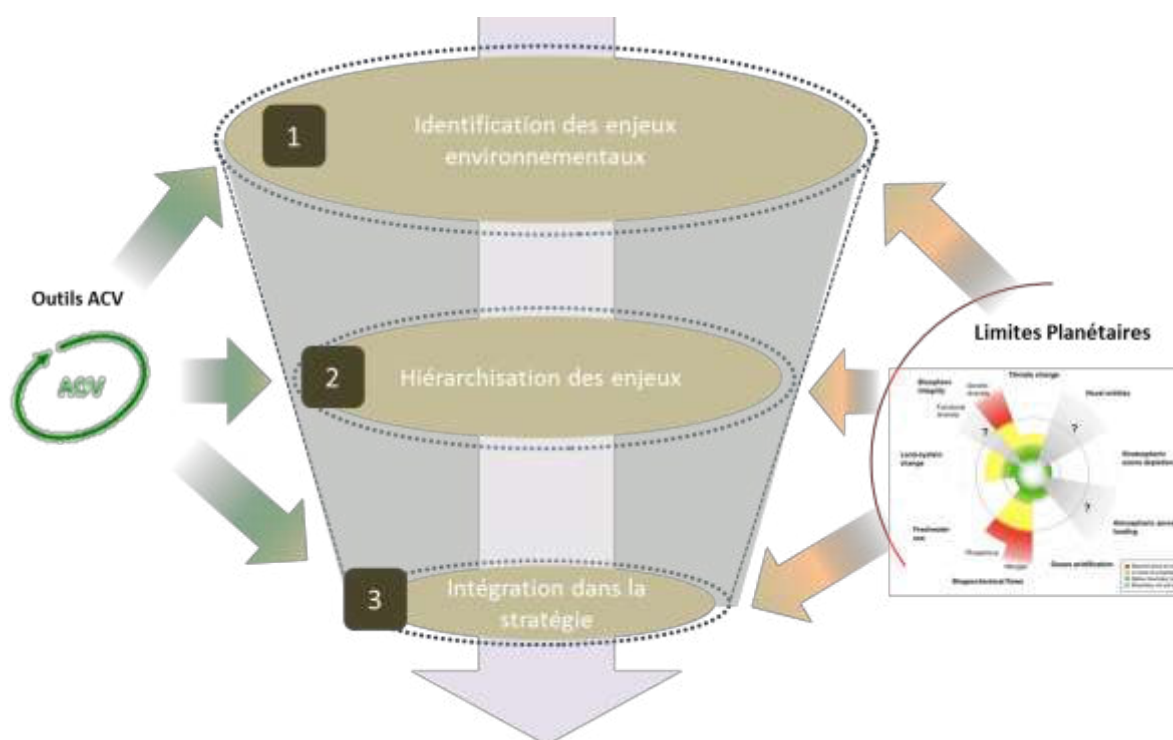


Figure 1 : Schéma d'articulation entre les différentes composantes et parties de l'étude

I. Quels enjeux environnementaux ?

Un enjeu est une problématique qui revêt une importance particulière pour ses parties prenantes. La prise de conscience progressive de la dégradation de notre environnement au sens large, et ce dans de nombreuses dimensions (sol, eau, air, ...), a entraîné mécaniquement une inflation du nombre d'enjeux environnementaux. Comment appréhender ces différents enjeux environnementaux, comment les classer et les articuler d'une manière logique, c'est la question à laquelle font face les entreprises.

Après avoir établi une cartographie des principaux enjeux environnementaux et de la difficulté à les articuler de manière simple, nous précisons comment les méthodes d'analyse de cycle de vie et les concepts des Limites Planétaires apportent de nouveaux éléments permettant de mieux appréhender les enjeux environnementaux.

0. Eléments de définition

Comme mentionné en introduction, l'environnement occupe une place de plus en plus importante dans le débat international et à ce titre, les entreprises se retrouvent face à des problématiques environnementales multiples et souvent difficiles à appréhender. Afin d'identifier ces problématiques environnementales, certains éléments de définition sont retenus pour l'étude :

- Enjeu environnemental : préoccupations écologiques et/ou sociologiques de qualité de vie et de santé ;
- Sous-enjeu environnemental : déclinaison de l'enjeu environnemental en élément(s) contributeur(s) à l'enjeu et quantifiable à l'aide d'indicateur(s). Les sous-enjeux peuvent représenter des éléments de la chaîne d'impact ;
- Dommage ultime : aire de protection identifiée qui représente la fin d'une chaîne d'impact.

1. Cartographie des enjeux environnementaux

A l'image de la société civile et des gouvernements, le secteur privé est confronté à des enjeux environnementaux multiples, complexes et fortement interdépendants. Alors que ces enjeux occupent une place de plus en plus importante dans le débat international, ils ne sont pas toujours facilement identifiables car il n'existe pas de cartographie unique et mondialement reconnue regroupant l'ensemble des enjeux. Le premier objectif de cette étude est donc de faire un état des lieux des enjeux environnementaux.

Cette absence de cartographie au niveau international traduit ainsi le caractère géographique des enjeux. En effet, suivant l'échelle considérée (région, pays, continent ou monde), les problématiques traitées peuvent être différentes. Afin de rendre compte des enjeux pour les membres de SCORELCA, trois niveaux géographiques ont été considérés dans le périmètre de l'étude : France, Europe et monde.

L'identification et la connaissance des enjeux est donc un préalable à leur intégration dans les stratégies d'entreprises (European Environment Agency, 2015b; OCDE, 2016). Les enjeux environnementaux sont difficiles à appréhender car ils peuvent être exprimés sous différentes formes :

- Flux élémentaires : émissions de CO₂ dans l'air, émission de nitrates dans l'eau ;
- Activités humaines ou procédés : agriculture, incinération de déchets ;
- Impacts (ou effet intermédiaire) : changements climatiques, eutrophisation de l'eau ;
- Pressions : pollution, prélèvement de ressources ;
- Dommages (ou effets finaux) : santé humaine, écosystèmes ;
- Enjeux sociaux : alimentation, accès à l'énergie, mobilité.

Afin d'aller plus loin, nous proposons de retenir quelques éléments de définition pour l'étude :

- Enjeu environnemental : préoccupations écologiques et/ou sociologiques de qualité de vie et de santé ;
- Sous-enjeu environnemental : déclinaison de l'enjeu environnemental en élément(s) contributeur(s) à l'enjeu et quantifiable à l'aide d'indicateur(s). Les sous-enjeux peuvent représenter des éléments de la chaîne d'impact ;
- Dommage ultime : aire de protection identifiée qui représente la fin d'une chaîne d'impact.

Douze enjeux environnementaux principaux ont pu être identifiés à travers l'étude de publications au niveau national et international, notamment :

- Le rapport annuel de l'UNEP (UNEP, 2015) ;
- Le bilan établi par l'Agence Européenne de l'Environnement (European Environment Agency, 2015b) ;
- Le rapport sur les différentes composantes de l'environnement en France (Ministère de l'Ecologie, 2014).

ÉVOLUTION DES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES DES FRANÇAIS

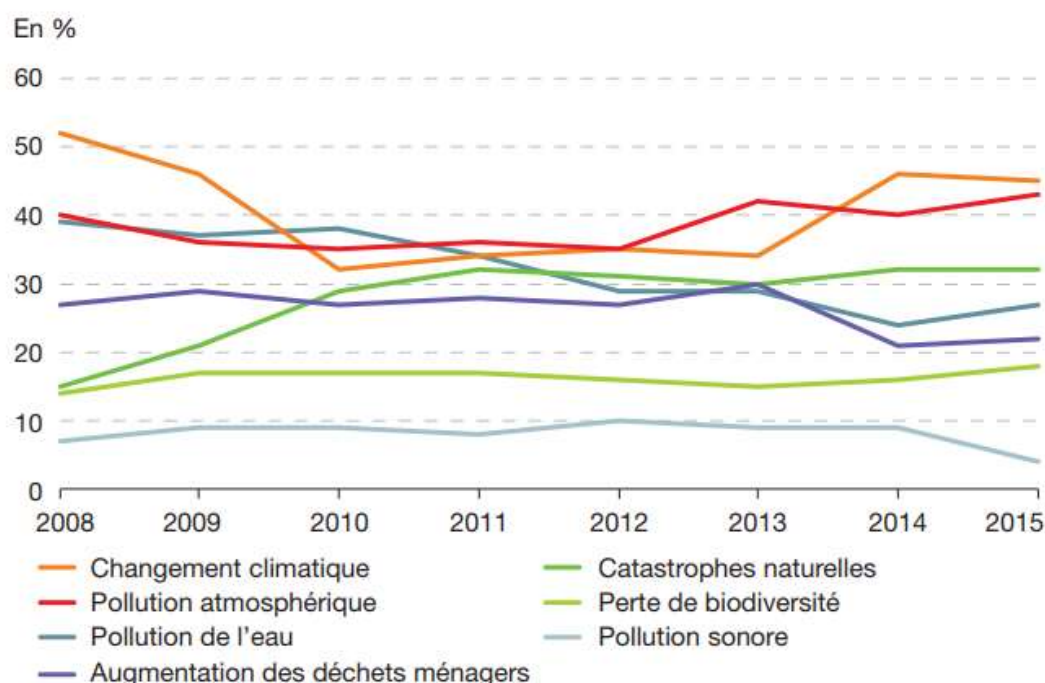


Figure 2 : Evolution des préoccupations environnementales des français (Service de l'observation et des statistiques (SOeS), 2017)

Au niveau international, les publications font à la fois un état des lieux de l'environnement et fixent les grands objectifs des politiques à mener. Par exemple, le rapport de l'OCDE présente certains indicateurs importants au niveau mondial en les corrélant avec les tendances de développement économique (émissions, utilisation de ressources, production de déchets) tandis que le rapport de l'UNEP présente les 17 objectifs de développement durable d'ici à 2030.



Figure 3 : Objectifs Développement Durable UNEP – Agenda 2030

Au niveau européen et national, l'évolution des impacts sur l'environnement est aussi exposée tout en présentant les différents axes de la politique menée sur le soutien au développement durable et à l'amélioration de l'environnement. Enfin, les référentiels de reporting pour les entreprises (Global Reporting Initiative, 2014; ISO, 2010) reprennent les grandes thématiques présentes dans les politiques publiques en matière de développement durable.

Tableau 1 : Liste des enjeux environnementaux retenus et évaluation

Enjeu	Présence dans les publications				
	OCDE	UNEP	Agence européenne de l'environnement	Global Reporting Initiative et ISO 26000	Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer
Changement climatique	O	O	O	O	O
Dégradation de la qualité de l'air	O	O	O	O	O
Dégradation des ressources en eau	O	O	O	O	O
Pollution des sols	O	O	O	O	O
Changement d'utilisation des sols	O	O	O	O	O
Epuisement des ressources énergétiques	O Enjeu exprimé sous la thématique « Efficacité énergétique »	O	O	O	O
Epuisement des ressources non-énergétiques	O	O	O Enjeu exprimé sous la thématique « Economie sobre en ressources »	O	O
Déchets	O	O	O	O	O

Risques industriels	N	O	N	O Exprimé sous la forme « accident du travail »	O
Nuisances	N	N	O	N	O
Santé	O	O	O	O	O
Dégradation des écosystèmes et biodiversité	O	O	O	O	O

Légende :

O : oui, cet enjeu est pris en compte dans cette publication

N : non, cet enjeu n'est pas considéré

Ainsi, ces 12 enjeux peuvent être compris et représentés comme à la Figure 4 ci-dessous :

- 10 enjeux environnementaux en lien avec l'impact des activités humaines sur les différents milieux (air, eau, sol) ;
- 2 enjeux de « dommages ultimes » que sont l'atteinte à la santé humaine et la dégradation des écosystèmes.

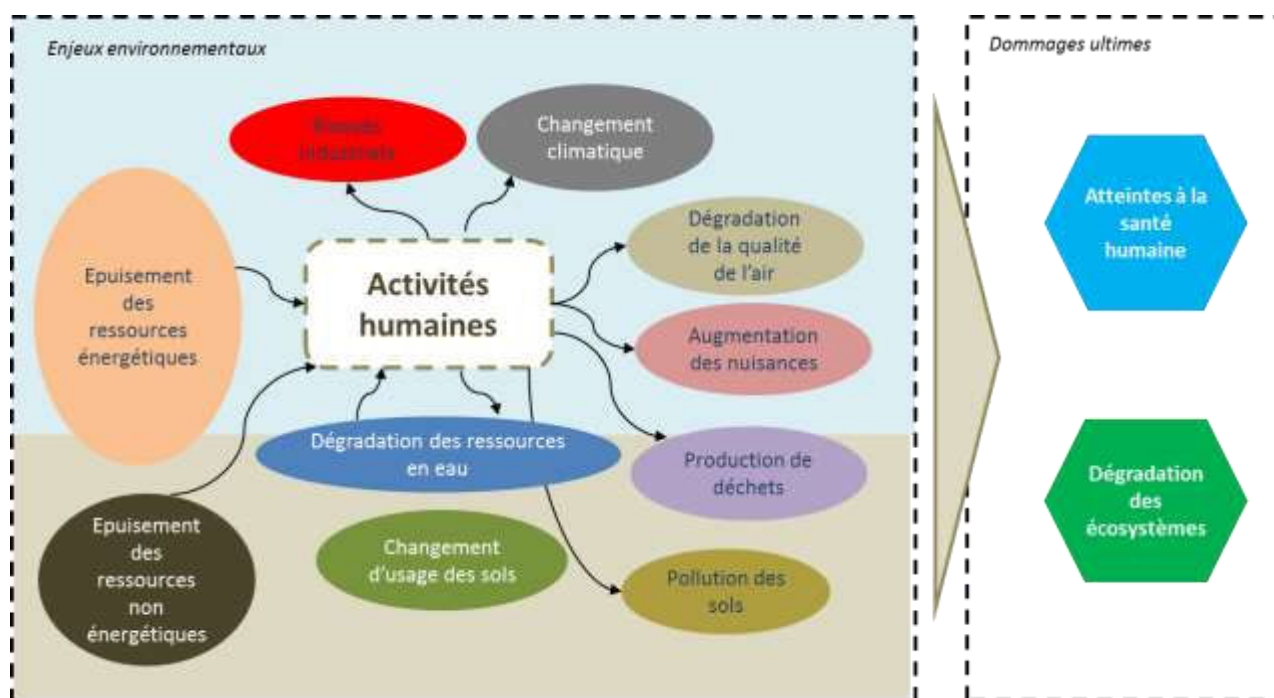


Figure 4 : Cartographie simplifiée des enjeux et interactions

Chacun de ces enjeux étant multidimensionnel, il est apparu nécessaire de les subdiviser en sous-enjeux afin de s'assurer de traiter les différentes dimensions associées. Les sous-enjeux permettent de traiter de manière plus spécifique certaines problématiques et d'évaluer comment l'ACV peut y répondre. Les enjeux et sous-enjeux associés sont présentés dans le Tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des enjeux principaux et des sous-enjeux identifiés

Enjeu	Sous-enjeu 1	Sous-enjeu 2	Sous-enjeu 3	Sous-enjeu 4	Sous-enjeu 5	Sous-enjeu 6
Changement climatique	Réduction des émissions de GES	Stockage des émissions de GES	Adaptation au changement climatique			
Dégradation qualité de l'air	Acidification	Ozone photochimique	Destruction de la couche d'ozone	Problèmes respiratoires	Autres impacts santé	
Augmentation des nuisances	Nuisances olfactives	Nuisances sonores				
Pollution des sols	Pollution	Dépollution				
Risques industriels	Libération produits toxiques	Explosion	Incendie			
Epuisement des ressources énergétiques	Consommation totale d'énergie	Consommation d'énergie non renouvelable	Production d'énergie renouvelable			
Epuisement des ressources non énergétiques	Consommation totale de matière	Zoom sur les matériaux critiques	Ressources renouvelables non-énergétiques	Ressources recyclées		
Production de déchets	Production totale de déchets	Zoom sur les déchets dangereux	Valorisation énergétique et recyclage des déchets			
Dégradation des ressources en eau	Raréfaction de la ressource en eau	Pollution de l'eau	Compétition entre les usages			
Changement d'occupation des sols	Déforestation	Appauvrissement des sols	Erosion	Artificialisation des sols		
Dégradation des écosystèmes (dommage ultime)	Changement, perte ou dégradation des habitats	Espèces invasives	Pollution des habitats	Surexploitation des ressources	Changement climatique	
Atteintes à la santé humaine (dommage ultime)	Nutrition	Exposition à des substances radioactives	Effets respiratoires	Exposition à des substances toxiques	Accès à l'eau potable	Changement climatique

1.1. Changement climatique : une reconnaissance internationale

A toutes les échelles géographiques considérées (France, Europe, monde), les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et les conséquences sur le climat représentent, sans conteste, l'enjeu environnemental principal intégré dans toutes les politiques publiques. Les principaux GES sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Le point de départ de la prise en compte du changement climatique comme enjeu environnemental se situe à la fin des années 80-début des années 90, avec à la fois :

- La création du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) en 1988 dont la mission est de rassembler et synthétiser l'information scientifique dans le monde entier concernant l'évolution du climat et les risques associés aux changements climatiques. Le GIEC a publié cinq rapports depuis sa création, le dernier datant de 2014. Il a aussi reçu le prix Nobel de la paix en 2007 avec Al Gore.
- La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques adoptée au Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, dont l'objectif est de poser les bases de négociation pour les Accords internationaux sur les limitations des émissions de GES.

A partir de l'adoption de la Convention-cadre, une conférence des parties (COP) s'est réunie chaque année afin de fixer des objectifs de lutte contre le changement climatique. La COP qui s'est déroulée à Paris en 2015 (COP21) a abouti à un accord afin de limiter le réchauffement climatique mondial entre 1.5 et 2°C.

En parallèle des actions des états au niveau mondial et sous l'impulsion des politiques publiques mises en place, le secteur privé s'est aussi lancé dans la réduction des émissions de GES. Des initiatives, au niveau mondial et local, ont poussé les entreprises à s'engager en faveur de la préservation de l'environnement et du climat :

- Pacte Mondial ou *Global Compact*, initiative des Nations Unies lancée en 2000, vise à inciter les entreprises signataires à adopter une attitude responsable, notamment face aux problèmes environnementaux.
- Greenhouse Gas (GHG) Protocol, développé par le *World Resource Institute* et *World Business Council on Sustainable Development*, est un standard international fournissant un cadre de recensement des émissions de GES et de communication pour les entreprises.
- Bilan Carbone®, développée par l'Association Bilan Carbone en France, est une méthode visant à quantifier les émissions des principaux GES liés aux activités des entreprises et a été rendu obligatoire pour un certain nombre de structures par la loi Grenelle II.
- *Global Reporting Initiative* (GRI) est une organisation indépendante qui publie un guide de rédaction des rapports extra-financiers pour les entreprises, incluant une partie spécifique sur l'inventaire et la communication des émissions de GES.

Même si la majorité des publications internationales s'accordent à dire que le changement climatique aura des conséquences sur la santé ou la qualité des écosystèmes, il est encore difficile aujourd'hui d'évaluer quantitativement ces conséquences.

Afin de traiter la problématique du changement climatique dans cette étude, les sous-enjeux suivants sont étudiés :

- **Réduction des émissions de GES** : la limitation des émissions est la problématique au centre des discussions au niveau international afin de limiter le réchauffement climatique ;
- **Stockage des émissions de GES** : ce sous-enjeu représente un des leviers d'atténuation du changement climatique (stockage dans la biomasse ou captage et stockage des émissions de CO₂ des installations industrielles fortement émettrices) ;
- **Adaptation au changement climatique** : ce sous-enjeu désigne les stratégies élaborées dans le but de diminuer la vulnérabilité d'une entité (collectivité, entreprise, etc.) face au changement climatique et ses conséquences.

1.2. Dégradation de la qualité de l'air

La pollution de l'air représente l'ensemble des contaminations de l'air (intérieur ou extérieur) par un agent chimique, physique ou biologique qui dégradent les caractéristiques de l'environnement, et donc la qualité et la pureté de l'air. Les sources de pollution sont multiples et peuvent être, à la fois, d'origine naturelle (volcans, feux de forêts) et d'origine anthropique. Ces sources de pollution sont aussi multisectorielles : industrie (production d'énergie, combustion, chimie), transports (véhicules routiers, avions, bateaux), agriculture (épandages, travail de la terre, engins agricoles) ou encore issues du secteur résidentiel-tertiaire (chauffage au bois). Les émissions de polluants peuvent entraîner des dommages importants sur la santé (maladies respiratoires par exemple) ou sur l'environnement (rendement des cultures). Ce phénomène touche aussi bien les pays développés que les pays en développement.

Trois échelles de pollution de l'air peuvent être définies :

- La pollution de proximité : elle peut être définie comme la qualité de l'air ambiant au voisinage des sources d'émissions (quelques kilomètres) ;
- La pollution longue distance : elle représente les polluants qui retombent en partie à proximité des sources, mais aussi à des centaines voire des milliers de kilomètres de leurs sources émettrices ;
- La pollution globale ou planétaire : elle représente les émissions de polluants ayant un effet à l'échelle planétaire (émissions de GES ou destruction couche d'ozone).

La dégradation de la qualité de l'air résulte principalement de l'émission de polluants dits « primaires », c'est-à-dire qui sont directement émis dans l'atmosphère (oxydes de soufre, oxydes d'azote, particules, etc.), et de la présence de polluants dits « secondaires » qui sont issus de la transformation physico-chimique de certaines substances (ozone, dioxyde d'azote, etc.).

Au niveau local, la pollution de l'air est devenue un enjeu sanitaire important et les réglementations concernant l'exposition aux polluants se sont développées ces dix dernières années. La mise en place de réseaux de surveillance de la qualité de l'air, notamment en Europe, permet aujourd'hui une meilleure prévision des épisodes de pollution et une meilleure information aux citoyens (EMEP, 2015; European Environment Agency, 2015a; WHO Regional Office for Europe & OECD, 2015).

Afin de traiter l'enjeu relatif à la dégradation de la qualité de l'air, les sous-enjeux suivants ont été identifiés :

- **Acidification** : ce sous-enjeu représente la diminution du pH des milieux due à l'émission de certains polluants, notamment les oxydes de soufre. Ces polluants se transforment alors en acides en présence d'humidité et retombent sur terre, parfois très loin de leurs lieux d'émission, lors des épisodes pluvieux. Ils sont à l'origine des pluies acides, qui font diminuer fortement le pH des rivières, des lacs et des sols. Un pH insuffisant entraîne la disparition de certaines espèces végétales, la dégradation des sols concernés et des déséquilibres au niveau des écosystèmes locaux ou régionaux ;
- **Destruction de la couche d'ozone** : la couche d'ozone stratosphérique a pour effet d'absorber la plus grande partie du rayonnement solaire ultraviolet et s'est retrouvée menacée dans les années 1970-1980 par l'augmentation de la concentration en composés chlorés et fluorés dans cette partie de l'atmosphère ;
- **Formation d'ozone photochimique** : la formation d'ozone photochimique en basse atmosphère est causée par la transformation de polluants primaires en espèces oxydantes sous l'effet des rayonnements solaires. En présence d'ultra-violets, les réactions photochimiques transforment ainsi les oxydes d'azotes (NOx) et les composés organiques volatils (COV) en ozone troposphérique (O₃) et d'autres composés oxydants (aldéhydes, peroxyde d'hydrogène, etc.). La pollution photochimique est donc responsable des pics d'ozone et de leurs effets néfastes, notamment sur la santé humaine ;
- **Problèmes respiratoires** : les particules inorganiques suspendues dans l'air sont principalement issues des activités industrielles ou de la combustion incomplète

d'hydrocarbures. Elles forment un mélange complexe de particules de carbone, d'oxydes d'azotes, d'hydrocarbures et de formaldéhyde et peuvent avoir des effets sur la capacité respiratoire ;

- **Autres impacts sur la santé** : les particules organiques et inorganiques polluantes (primaires ou secondaires) sont issues de sources naturelles et anthropiques. Elles passent de l'atmosphère à un autre compartiment environnemental (eau, sol) par des mécanismes de diffusion. Elles peuvent donc être inhalées, mais aussi ingérées, ce qui peut entraîner des effets sur la santé, autres que respiratoires.

1.3. Dégradation des ressources en eau

L'eau est une ressource essentielle pour l'Homme et les écosystèmes car elle relie l'atmosphère, les terres et les océans à travers son cycle global. Elle est aussi une composante socio-économique prépondérante de par son rôle dans le développement des sociétés. L'eau sert également de système de transport pour les substances biochimiques, incluant les substances toxiques, qui voyagent depuis leur source sur les continents jusqu'aux océans. Enfin, les mécanismes d'évaporation et d'évapotranspiration permettent de recharger les nappes et cours d'eau de surfaces grâce aux précipitations.

La consommation d'eau représente tous les usages de la ressource impliquant une diminution du volume disponible dans les milieux naturels ou pour d'autres usages. En effet, en raison de la croissance démographique, du développement économique et des effets du changement climatique sur le cycle de l'eau, la pénurie d'eau et l'accès à l'eau potable deviennent des sujets majeurs au niveau international. La répartition spatiale et temporelle de la ressource est inégale.

La pollution de l'eau est une altération de sa qualité qui rend son utilisation dangereuse pour l'Homme et/ou perturbe les écosystèmes, notamment aquatiques. La pollution peut être de différente nature : biologique (bactéries, algues), chimique (métaux lourds, molécules toxiques, salinité), thermique ou encore physique (turbidité). Les origines de la pollution de l'eau sont multiples et les différentes émissions de polluants peuvent entraîner des dommages importants sur la santé (maladies digestives par exemple) ou sur l'environnement (perte de biodiversité, eutrophisation). Bien que de nature diverse et à des échelles différentes, ce phénomène touche aussi bien les pays développés que les pays en développement (ISO, 2014; UN World Water, 2015). Pour évaluer la problématique de la dégradation des ressources en eau, les sous-enjeux suivants ont été identifiés :

- **Raréfaction de la ressource en eau** : elle représente la pénurie de ressource en eau douce, c'est-à-dire l'épuisement de l'eau au point où il n'est plus possible de répondre à la demande des utilisateurs. Cette menace résulte de l'usage qui est fait de l'eau et des pressions sur la ressource (usages humains, agriculture, production d'électricité, etc.) ;
- **Pollution de l'eau** : il existe différentes formes de pollution de l'eau. La pollution chimique est causée par l'émission de substances organiques et inorganiques dans l'eau ou par la retombée de polluants atmosphériques lors des épisodes de pluie. La pollution bactériologique est due à la présence de bactéries et virus nocifs pour la santé et les écosystèmes. La pollution thermique correspond à une forte hausse ou diminution de la température d'un milieu par rapport à la température normale. Seule la pollution chimique est traitée dans la fiche. En effet, la pollution bactériologique est liée à des éléments pathogènes qui se développent du fait d'un mauvais traitement ou d'une absence de traitement des eaux usées et ces éléments ne sont pas référencés dans les inventaires en ACV. De la même manière, il est difficile d'évaluer la pollution thermique de l'eau du fait de l'absence de modèle de caractérisation en ACV (bien que les espèces aquatiques soient sensibles à la température, un seul modèle de caractérisation est disponible et il traite des impacts de l'augmentation de la température des rivières) ;
- **Compétitions entre les usages** : cette dimension est liée à la raréfaction de la ressource. En effet, les besoins en eau augmentent et la ressource se fait de plus en plus rare, ce qui peut entraîner une compétition entre les utilisateurs. L'usage de l'eau par un utilisateur peut donc priver un autre utilisateur.

1.4. Pollutions des sols

Le sol est un des trois médias environnementaux, avec l'eau et l'air. Il est à l'origine de nombreuses ressources (cultures, foresterie) et de nombreux cycles importants pour le fonctionnement des écosystèmes (cycle de l'azote, cycle du carbone). De manière générale, les sols constituent la couche supérieure de la croûte terrestre. Ils sont en interaction permanente avec l'air, la faune, la flore et l'eau et les roches. Ce sont d'ailleurs les roches, sous l'effet combiné du climat et des organismes vivants qui forment les sols. Leur composition, leur structure et leur évolution sont très variées.

La notion de pollution du sol désigne toutes les formes de pollution (nitrates, phosphates, métaux lourds) touchant n'importe quel type de sol (agricole, forestier, urbain). Un sol est défini comme pollué lorsqu'il contient un ou plusieurs polluant(s) ou contaminant(s) susceptibles de causer des altérations biologiques, physiques et chimiques. En fonction du seuil de contamination, l'altération du sol peut dégrader le fonctionnement de l'écosystème (Cao, 2016).

Les deux sous-enjeux suivants sont étudiés :

- **Pollution des sols** : un sol est pollué lorsqu'il contient une concentration anormale de composés chimiques potentiellement dangereux pour la santé et les écosystèmes. La contamination peut se faire soit par voie digestive (consommation d'eau polluée par exemple), ou par voie respiratoire (poussières des sols pollués émises dans l'atmosphère) ;
- **Dépollution des sols** : la dépollution des sols consiste principalement à remettre en état le sol et le sous-sol d'une zone pour un nouvel usage (industriel ou résidentiel par exemple), voire le rendre apte à un retour à la nature ou à un usage agricole.

1.5. Changement d'occupation des sols

Comme mentionné précédemment, les sols occupent une place importante dans le fonctionnement des écosystèmes car ils sont le support à la vie émergée. L'occupation du sol représente donc la couverture biophysique de la surface de la terre et l'usage que l'Homme en fait. A ce titre, l'occupation des sols (ou utilisation des sols) peut être transformée par l'Homme en un environnement plus ou moins artificialisé (imperméabilisation, restructuration).

Le recouvrement des sols par des constructions ou des matériaux non poreux (béton ou bitume par exemple) imperméabilise la surface des sols. Le ruissellement de l'eau est ainsi favorisé au détriment de son infiltration. L'érosion des sols, les coulées d'eau boueuse, le risque d'inondation et le transfert de sédiments contaminés (engrais, métaux, pesticides) vers les cours d'eau augmentent alors. L'artificialisation des sols participe également au changement climatique en provoquant un déstockage rapide de carbone lorsque les sols ne sont pas très vite végétalisés ou recouverts par un revêtement (Ministère de l'Ecologie, 2014).

L'augmentation démographique et la nécessité d'avoir accès à de nouvelles terres (que ce soit pour la culture ou l'urbanisation) a aussi entraîné des vagues importantes de déforestation qui ont contribué au changement d'utilisation des sols. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime que 129 millions d'hectares de forêts ont été détruits depuis 1990. La principale perte de superficie forestière s'est produite dans les tropiques, particulièrement en Amérique du Sud et en Afrique. Par conséquent, la quantité de carbone stockée dans la biomasse forestière mondiale a aussi diminué, principalement en raison des conversions de terres à d'autres usages et de la dégradation des ressources forestières.

Les sous-enjeux suivants ont été identifiés pour l'étude de l'enjeu relatif au changement d'occupation des sols :

- **Déforestation** : phénomène de régression des surfaces couvertes par des forêts, elle est le résultat d'actions de déboisement liées à l'extension des terres agricoles, à l'exploitation des ressources minières du sous-sol, à l'urbanisation ou à l'exploitation excessive de certaines essences forestières. La destruction des forêts peut entraîner la fragmentation ou la

disparition d'habitats naturels pour la faune et la flore, l'érosion des sols ou encore favoriser les phénomènes de glissement de terrains ;

- **Appauvrissement des sols** : une des menaces identifiées au niveau international pour les sols est la perte de carbone organique et le déséquilibre des éléments nutritifs. Cet appauvrissement peut entraîner l'érosion et la désertification du sol. Les terres deviennent donc sèches et ne peuvent plus jouer leur rôle dans l'alimentation des végétaux ;
- **Erosion** : une des conséquences de l'appauvrissement des sols est l'érosion, c'est-à-dire l'amincissement de la couche arable des sols. Dans le cas d'une érosion importante, il est nécessaire de restaurer le sol appauvri pour lui rendre les qualités nutritives nécessaires au développement de la végétation ;
- **Artificialisation des sols** : les espaces artificialisés ne sont plus disponibles pour des usages tels que l'agriculture, la sylviculture ou comme habitats naturels, c'est-à-dire qu'ils ont été transformés par l'homme pour des usages urbains (tissu urbain, infrastructures de transport), industriels (mines, carrières, décharges) ou commerciaux (centre commerciaux). Cette artificialisation réduit la résilience des écosystèmes et des territoires face, notamment, aux phénomènes climatiques.

1.6. Epuisement des ressources énergétiques

L'énergie est un secteur d'activité essentiel au fonctionnement des sociétés et un facteur de production pour toutes les autres activités économiques. Les ressources énergétiques de la planète sont présentes sous deux formes différentes : les énergies non-renouvelables (énergie de stock) et les énergies renouvelables (énergie de flux). Deux autres aspects sont aussi à différencier : l'énergie primaire, forme sous laquelle la nature nous livre un potentiel énergétique brut (charbon, pétrole, gaz naturel, uranium, rayonnement solaire, etc.) et l'énergie secondaire, forme sous laquelle une énergie primaire est consommée (électricité).

La structure énergétique diffère beaucoup d'un pays à l'autre car elle est influencée par la demande de l'industrie, des transports, des ménages, par la politique énergétique nationale et par les prix intérieurs et internationaux de l'énergie. Dans ce contexte, l'électricité est la forme d'énergie dont la demande finale est la plus dynamique, avec un besoin en capacité supplémentaire évalué par l'Agence Internationale de l'énergie à 7200 GW en 2040 (International Energy Agency, 2016).

Les enjeux autour des ressources énergétiques et de la consommation d'énergie sont aussi environnementaux (le secteur énergétique est le plus important émetteur de gaz à effet de serre) et sociaux (plus de 600 millions de personnes sont privées d'électricité en Afrique sub-saharienne). Le défi majeur dans les années à venir sera donc de répondre à la demande croissante en énergie tout en limitant les pollutions, notamment les émissions atmosphériques.

La problématique des ressources énergétiques sera traitée à travers les sous-enjeux suivants :

- **Consommation totale d'énergie** : elle représente l'ensemble de la consommation d'énergie destinée à satisfaire les besoins des sociétés. La consommation d'énergie finale est soit une consommation directe d'énergie primaire (non transformée) comme le charbon brûlé sous les chaudières industrielles dans la chimie, soit une consommation d'énergie secondaire (transformée) comme l'essence ou l'électricité ;
- **Consommation d'énergie non-renouvelable** : les énergies non-renouvelables sont des énergies de stocks, c'est-à-dire disponibles en quantité limitée sur la planète. Aussi, étant donné que le secteur de la production énergétique est le principal émetteur de GES dans l'atmosphère, ce sous-enjeu représente un élément important concernant le changement climatique ;
- **Production d'énergie renouvelable** : les énergies renouvelables sont des énergies de flux, donc disponibles en quantités importantes, non limitée par un stock physique. La production d'énergie renouvelable est un des leviers envisagés pour lutter contre le changement climatique, mais comporte d'autres enjeux comme l'utilisation de ressources/matériaux critiques (indium pour les modules photovoltaïques, néodyme pour les éoliennes, etc.).

1.7. Epuisement des ressources non-énergétiques

Dans un contexte de forte croissance mondiale de la demande en matières premières, l'exploitation et la transformation des matières premières non-énergétiques représentent une source importante de développement économique. Les ressources non-énergétiques couvrent à la fois le sujet des ressources minérales (ou abiotiques), des ressources biotiques (issues du vivant) et des ressources agricoles (non-énergétiques). Comme pour les ressources fossiles, les ressources minérales reposent sur un stock disponible en quantité finie. Les ressources biotiques et agricoles sont renouvelables par nature, mais le caractère renouvelable dépend de leur taux d'utilisation par rapport à leur taux de renouvellement.

L'exploitation des ressources minérales est directement dépendante de la géologie qui détermine la répartition géographique des concentrations naturelles (en métaux par exemple) et les acteurs de la production primaire. L'évolution démographique des sociétés et le développement industriel ainsi que les équilibres économiques et politiques des pays gouvernent la localisation des bassins de consommation et les niveaux de besoin des industries et des populations.

L'enjeu autour des matières premières, en particulier les métaux, est la sécurisation de l'approvisionnement pour les économies qui dépendent de ces ressources. L'Europe a, par exemple, évalué 54 matières premières afin de déterminer leur importance pour l'économie et les risques de rupture d'approvisionnement. Afin de diminuer la dépendance de l'Europe face aux importations, le paquet « Economie Circulaire » a récemment été adopté par l'Union Européenne afin d'amorcer la transition vers une économie plus efficace en ressource, qui permettrait la réutilisation des matières à travers le recyclage.

Enfin, les ressources non-énergétiques ne se limitent pas aux métaux et il est important de mettre en évidence la pression s'exerçant sur les ressources naturelles. L'exploitation des ressources naturelles est une activité vitale à l'échelle mondiale mais aujourd'hui elle est confrontée à une diminution des ressources disponibles.

Afin de traiter la problématique de l'épuisement des ressources non-énergétiques dans cette étude, les sous-enjeux suivants sont étudiés :

- **Consommation totale de matière** : elle est en constante augmentation due au développement des sociétés, à l'industrialisation et à la croissance de la population mondiale. Elle concerne à la fois les ressources biotiques (qui sont prélevées à un rythme important) et abiotiques (qui sont disponibles en quantités limitée).
- **Matériaux critiques** : ces matériaux ont été identifiés comme ayant une importance économique pour l'Union Européenne (industries électronique, chimique et énergétique notamment) et qui pourraient faire l'objet de difficulté d'approvisionnement car extraits en dehors du territoire européen. Ils concernent notamment les métaux et minéraux servant à la fabrication des composants électroniques ;
- **Ressources renouvelables non-énergétiques** : elles sont d'origine naturelle (forêts, océans...) ou issues de l'agriculture et de l'élevage. Elles sont produites grâce aux sols, à l'eau et à l'énergie du soleil. Il s'agit des produits agricoles, des textiles (laine, coton) ou encore des matériaux de construction (bois, chanvre). Leurs stocks ne sont limités que par la capacité de la Terre à produire de la matière vivante. Cependant, elles peuvent être qualifiées d'épuisables si leur vitesse de destruction dépasse leur vitesse de création ;
- **Ressources recyclées** : la croissance importante de la demande en matières premières et la problématique des matériaux critiques a entraîné l'utilisation de plus en plus importante de matière secondaire ou matière recyclée. C'est un des leviers de l'économie circulaire permettant de remettre sur le marché des ressources pour des nouveaux usages.

1.8. Déchets

De manière usuelle, un déchet désigne un élément qui n'a plus de valeur après un usage et qui est considéré comme un résidu. Selon la loi cadre du 15 juillet 1975, est appelé déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

A l'heure actuelle, la production de déchet est en complète corrélation avec la façon dont la société produit et consomme. Ainsi, dans le monde en 2015, sept à dix milliards de tonnes de déchets urbains ont été produits selon l'UNEP. Le volume des déchets continue à croître en Europe et les experts estiment que le volume de déchets urbains pourrait encore doubler en Asie et en Afrique dans les 15 à 20 prochaines années.

La gestion du déchet représente donc à la fois un besoin humain, qui peut être considéré comme un « droit humain fondamental » (au même titre que l'approvisionnement en eau potable, la nourriture, l'énergie, les transports) et une nécessité pour les sociétés économiques actuelles. Ainsi, une mauvaise gestion des déchets peut à la fois constituer une menace pour la santé et l'environnement mais aussi une perte de ressources pour l'économie.

Les sous-enjeux identifiés pour traiter la problématique des déchets sont :

- **La production totale de déchets** : l'augmentation de la consommation des sociétés actuelles entraîne une augmentation de la production de déchets. A l'échelle planétaire, entre 7 et 10 milliards de tonnes de déchets urbains ont été produits en 2015. Pour gérer cette quantité de déchets, des infrastructures importantes sont nécessaires. Cependant, dans les pays pauvres ou en voie de développement, ces déchets sont la plupart du temps laissés dans la nature ou entassés dans des décharges à ciel ouvert, ce qui pose des problèmes à la fois sanitaires et environnementaux (contamination de l'eau, des sols etc.). Cette quantité importante de déchets traduit aussi un gaspillage des ressources à l'échelle planétaire ;
- **Les déchets dangereux** : les déchets représentent un risque pour la santé et les écosystèmes lorsqu'ils ne sont pas traités dans des infrastructures adéquates. Les déchets dangereux, en particulier, présentent des caractéristiques de nocivité importantes et nécessitent des traitements spécifiques adaptés ;
- **La valorisation énergétique et le recyclage des déchets** : un des leviers pour lutter contre le gaspillage des ressources est le recyclage des déchets. Cet aspect s'insère dans la dynamique d'économie des ressources et de valorisation, notamment initiée dans l'Union Européenne avec le paquet économie circulaire et doit permettre une augmentation de la production de matière secondaire et une diminution des quantités de déchets mises en décharge.

1.9. Risques industriels

Les risques industriels représentent tous les événements accidentels se produisant sur un site industriel, mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les populations riveraines, les biens et l'environnement. Les risques industriels peuvent être de plusieurs sortes : incendie, explosion, pollution et dispersion de substances toxiques dans les différents milieux naturels (eau, air, sols) présentant ainsi des dangers pour l'homme en cas d'exposition (inhalation, ingestion).

Même si les risques sont bien identifiés dans les procédures de gestion des risques des entreprises, des accidents industriels peuvent survenir. Ils peuvent être provoqués à la fois par des causes d'origine externe (risques naturels) ou interne, c'est-à-dire des risques engendrés par l'activité humaine (risques technologiques).

Les sous-enjeux pour cette section sur les risques industriels ont été déterminés en considérant les trois risques majeurs pour une installation :

- **Libération de produits toxiques** : un matériel défectueux ou un incident/accident industriel peut entraîner la libération de produits toxiques dans les différents compartiments environnementaux (air, eau, sol). Ces produits toxiques peuvent avoir des conséquences importantes sur la santé et les écosystèmes ;
- **Explosion** : les installations de stockage (espaces confinés) présentent des risques d'explosion, notamment lorsque les conditions de stockage des produits ne sont pas respectées (quantité de produit stockée, présence de produits incompatibles entre eux, etc.). Une explosion peut provoquer des dégâts matériels, humains et sur les écosystèmes ;
- **Incendie** : résultat d'une combustion, l'incendie est un danger majeur pour toutes les entreprises car il menace à la fois la sécurité des salariés et la santé économique des établissements. La prévention efficace des risques suppose de savoir les anticiper et de mettre en place les mesures qui permettront de réagir vite et bien si un feu se déclare.

1.10. Augmentation des nuisances

Les nuisances caractérisent tout facteur qui constitue un désagrément subi, provoqué par une source, et qui affecte la santé, le bien-être ou l'environnement. Les principales sources de nuisance, notamment dans les agglomérations ou pour les riverains d'installations industrielles, sont le bruit, les odeurs, le manque de sécurité et la pollution. Le niveau des nuisances est régulièrement évalué et représente une mesure de la qualité de vie, notamment dans les agglomérations (WHO Regional Office for Europe; JRC, 2011).

La nuisance peut aller de l'inconvénient minime (sans impact significatif) à l'exposition épisodique ou chronique à des éléments désagréables et nuisibles pour le bien-être ou la santé. Les éléments évalués pour juger du caractère anormal de la nuisance peuvent être : son intensité, sa fréquence, sa durée, l'environnement dans lequel elle se produit ou le respect de la réglementation en vigueur.

Les nuisances considérées comme sous-enjeux sont :

- **Les nuisances olfactives** : elles sont dues à l'émissions de certaines substances dans l'air et représentent des désagréments majeurs, notamment pour le voisinage ;
- **Les nuisances sonores** : le bruit est un inconvénient lié à un environnement sonore dépassant certains seuils. Le bruit peut entraîner des troubles au niveau de la santé.

1.11. Atteintes à la santé humaine

Les développements technologiques conduisent à la mise sur le marché de produits, biens ou services pouvant diffuser de nouvelles substances dans l'environnement. Les activités et les modes de vie participent également à la dissémination de polluants dans les milieux et certaines de ces émissions peuvent affecter la santé.

L'enjeu autour de la santé est particulièrement difficile à appréhender puisque des mécanismes complexes sont en jeu (émissions diffuses, effet cocktail, faibles concentrations, interaction des milieux, métabolites) et qu'il s'agit souvent d'un effet final ayant des sources multiples et de nature très différente (pollution atmosphérique, pollution aquatique, bruit, malnutrition, etc.).

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les changements climatiques menacent aussi la santé, quel que soit le lieu sur la planète (côtes, îles, continent, etc.) et le type d'urbanisation (grande ville, village, etc.) à cause de nombreux facteurs tels que la multiplication des catastrophes naturelles (sécheresses, inondations, etc.), l'augmentation des maladies à transmission vectorielles (paludisme, dengue, etc.) et les difficultés d'accès aux besoins de base (alimentation, eau potable, etc.).

L'exposition aux polluants présents dans l'air ou dans l'eau, a aussi un impact très important et aujourd'hui reconnu sur la santé. D'autres expositions sont également sources de préoccupations et ont des conséquences sur la santé, telle que la radioactivité, qu'elle soit naturelle (radon en particulier) ou artificielle, et les nuisances sonores induites par le trafic routier, ferroviaire et aérien.

Afin de traiter la problématique des atteintes à la santé humaine, les sous-enjeux suivants ont été identifiés :

- **Nutrition** : elle représente l'apport en calories nécessaires à un être vivant pour subvenir à ses besoins énergétiques. La nutrition est directement liée à la capacité d'accès à des systèmes alimentaires permettant une alimentation adéquate. L'éducation nutritionnelle ne consiste pas uniquement à apprendre sur les aliments et les nutriments, mais aussi à apprendre comment agir pour améliorer sa nutrition ;
- **Accès à l'eau potable** : pour qualifier une eau de potable, elle doit présenter des caractéristiques chimiques et bactériologiques la rendant propre à la consommation humaine. Selon le contexte géographique et social, l'approche du problème de l'accès à l'eau potable varie beaucoup. Dans les pays développés, l'eau potable est en général disponible facilement et sûrement. En dehors des pays développés, l'eau peut n'être disponible qu'en quantité réduite, temporairement durant la saison humide, être de mauvaise qualité, ou se trouver à plusieurs heures du lieu de résidence du consommateur ;
- **Exposition à des substances toxiques** : l'eau peut être contaminée par des substances et donc être un vecteur de pollution en entraînant le déplacement de substances toxiques dans les différents compartiments environnementaux (air, sol). La consommation d'une eau impropre peut avoir des conséquences importantes sur la santé.
- **Problèmes respiratoires** : comme mentionné dans le paragraphe sur la pollution de l'air, les particules organiques et inorganiques suspendues dans l'air forment un mélange complexes et peuvent avoir des effets sur la capacité respiratoire ;
- **Exposition à des substances radioactives** : la libération de substances radioactives dans l'air ou dans les cours d'eau à proximité des installations industrielles ou de production d'énergie peut entraîner un risque pour la population, pas seulement au niveau local, du fait de la diffusion de polluants dans le milieu et de leur durée de vie importante ;
- **Changement climatique** : les effets de l'augmentation de la température moyenne sur la santé humaine sont encore méconnus mais ils pourraient représenter un enjeu de santé publique du fait, notamment, de la diffusion de certaines maladies.

1.12. Dégradation des écosystèmes

La biodiversité forme le tissu vivant des écosystèmes dans lequel les sociétés et l'économie se sont développées. Ce tissu vivant forme un équilibre dynamique. En effet, l'ensemble des interactions complexes au sein de la biodiversité lui permet d'avoir un fonctionnement harmonieux. Cependant, ce fonctionnement est en perpétuelle évolution et sa dynamique, bien que très lente, impose à ce tissu vivant une forme de résilience afin de maintenir cet équilibre fragile. La biodiversité correspond donc à l'ensemble des espèces vivantes et aux interactions qui peuvent exister entre elles et entre les écosystèmes. Une composante de la biodiversité est aussi la diversité génétique inter et intra espèce. Cette diversité est une source de fonctionnalités écologiques.

L'érosion de la biodiversité est un phénomène qui s'accroît de plus en plus. Cette érosion se manifeste par la disparition d'espèces et de milieux à la surface du globe, entraînant par conséquent la disparition progressive de fonctionnalités écologiques majeures (pollinisation, régulation du climat, etc.). L'enjeu autour de la biodiversité est crucial puisque cette érosion est très fortement liée aux activités humaines. En effet, elles ont pour la plupart un impact fort sur la diversité biologique de la planète parfois sans même s'en rendre compte.

L'impact des activités anthropiques et les contraintes associées qui pèsent sur la biodiversité ont été catégorisées en cinq grandes pressions et constituent les sous-enjeux dans cette étude :

- **Changement, perte ou dégradation des habitats** : c'est un phénomène altérant les relations entre atmosphère et surface terrestre et impactant l'équilibre des écosystèmes. En effet, les activités humaines peuvent avoir une emprise sur le sol (agriculture, construction, infrastructure de transports, etc.) et fragmenter les habitats ce qui peut impacter la diversité intra et inter espèce. Cette emprise de plus en plus grande est dommageable pour la biodiversité de par sa nature mais également de par sa croissance très rapide ;

- **Espèces invasives** : l'introduction de nouvelles espèces dans un milieu peut entraîner des déséquilibres au niveau des écosystèmes. En effet, les espèces invasives sont des espèces qui, en dehors de leur milieu naturel, sont considérées comme ayant un avantage sur les autres espèces présentes, souvent par l'absence de prédateurs. La dispersion d'espèces en dehors de leurs aires de répartition naturelle est en grande partie liée à l'activité humaine de transport ;
- **Pollution des habitats** : elle représente la pollution de tous les compartiments de l'environnement (air, eau, sol) et peut donc avoir un impact important sur la biodiversité de par la modification des équilibres chimiques des milieux ;
- **Surexploitation des ressources** : les ressources biotiques sont considérées comme des ressources renouvelables. Cependant, certaines espèces sont exploitées à un taux bien supérieur à leur taux de régénération, ce qui entraîne un non-renouvellement des stocks. La disparition d'espèces par la surexploitation est un enjeu important pour la biodiversité et le maintien des équilibres des écosystèmes ;
- **Changement climatique** : l'augmentation de la température globale moyenne et l'augmentation de l'intensité des épisodes climatiques pourrait avoir un impact important sur la biodiversité.

1.13. Articulation et interactions entre les enjeux

L'appréhension des 12 enjeux environnementaux identifiés précédemment est potentiellement complexe. Ces enjeux sont-ils indépendants les uns des autres ? Y en a-t-il un qui soit prédominant ou qui conditionne les autres ? De manière plus générale, existe-t-il une grille de lecture simple qui permette d'articuler ces 12 enjeux de manière lisible ?

S'il apparaît illusoire de proposer une seule vision de cette articulation, certains points peuvent être soulignés

- Des **corrélations positives et négatives** : l'activité humaine étant à l'origine de l'ensemble des enjeux environnementaux identifiés, deux types de corrélations peuvent être observées entre les enjeux
 - Une réduction « en volume » du niveau de pression humaine est en général bénéfique pour l'ensemble des enjeux environnementaux, avec à la clé une corrélation positive sur la plupart des enjeux environnementaux
 - A l'inverse, des effets de substitution (choix technologiques, ex : énergie renouvelable vs. énergie fossile) sont susceptibles d'améliorer certains enjeux environnementaux mais de dégrader d'autres enjeux environnementaux. Ainsi les effets des politiques d'atténuation sur un enjeu peuvent entraîner des « transferts de pollution » et des corrélations négatives

La qualification de l'ensemble des interactions positives ou négatives entre les enjeux environnementaux est complexe et non finie dans la mesure où elles se révèlent au fur et à mesure de l'expérimentation de nouvelles solutions techniques et comportementales. La Figure 5 illustre certaines de ces interactions sans prétendre les synthétiser toutes.

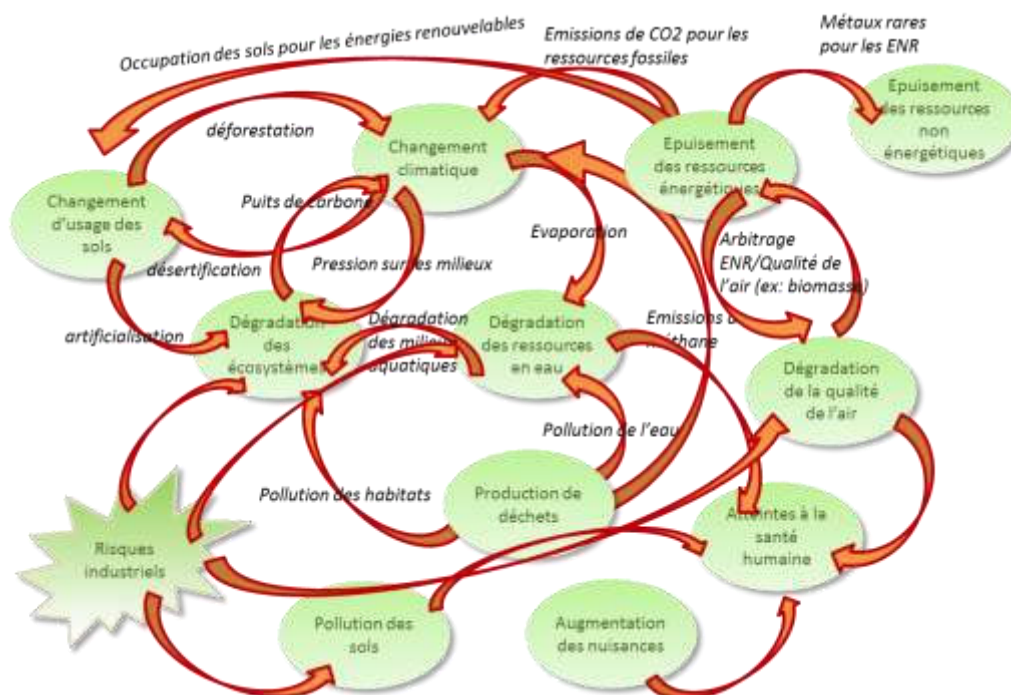


Figure 5 : Illustrations d'interactions entre les enjeux environnementaux (I Care & Consult, 2017)

- Une **chaîne simple de causalité peu évidente** : il est tentant de chercher à ordonner l'ensemble des enjeux environnementaux dans une chaîne causale, soit que certains enjeux conditionnent les autres, soit qu'à l'inverse, à l'autre bout de la chaîne, certains enjeux soient résultants de l'ensemble des autres enjeux. Cet ordonnancement est cependant loin d'être évident :
 - Tels que formulés précédemment, 2 enjeux ont été qualifiés de dommages « ultimes », à savoir la « dégradation des écosystèmes » et les « atteintes à la santé humaine ». Si ce dernier semble effectivement ultime dans la mesure où il n'a pas de lien causal avec d'autres enjeux, l'enjeu « dégradation des écosystèmes » peut avoir des conséquences sur un certain nombre d'enjeux, comme le changement climatique (diminution du potentiel de puits de carbone) par exemple.
 - De même le « changement climatique », considéré comme un des enjeux majeurs et souvent présenté comme premier par rapport aux autres enjeux, a des impacts négatifs avérés sur un certain nombre d'autres enjeux : « dégradation des écosystèmes », « dégradation des ressources en eau », « atteintes à la santé humaine »
 - A l'inverse, l'enjeu « risques industriels » est peu influencé par les autres enjeux, et se situe en début de chaîne, même si son impact est limité à un petit nombre d'enjeux en raison de son caractère d'évènement ponctuel dans le temps (pollutions principalement, de l'air, de l'eau et des sols).
 - L'enjeu épuisement des ressources non énergétiques est l'enjeu le moins connecté aux autres enjeux environnementaux, notamment au regard du caractère « inerte » des ressources non énergétiques et à la vision économique inhérente à cet enjeu
- Des différences **de parties prenantes et de nature** : on peut distinguer les différentes parties prenantes aux enjeux environnementaux : les populations animales et végétales, les populations humaines, qu'elles soient riveraines de l'activité impactante ou éloignées de cette activité, ou enfin le « système Terre » dans son ensemble. On peut aussi distinguer la nature de ces enjeux : « environnementaux » dans la mesure où ils modifient l'environnement, c'est-à-dire le cadre de la vie sur Terre, ou « économiques » dans la mesure où ils modifient le cadre économique de la vie sur Terre.

- Si les 2 enjeux ultimes « dégradation des écosystèmes » et « atteintes à la santé humaine » sont définis principalement par rapport à leurs parties prenantes respectives, la plupart des autres enjeux concernent les différents types de parties prenantes, à l'exception des enjeux d'épuisement des ressources qui ne concernent que les populations humaines. A noter une différence entre les parties prenantes locales et les parties prenantes globales : si l'épuisement des ressources ou le changement climatique sont des enjeux globaux, il n'en est pas de même pour d'autres enjeux comme les nuisances, la dégradation des ressources en eau, de la qualité de l'air ou des écosystèmes qui sont des enjeux locaux (à différentes échelles) même si leur effet cumulé peut en faire des enjeux globaux.
- La plupart des enjeux environnementaux sont de nature à la fois environnementale et économiques, dans la mesure où les impacts environnementaux représentent un coût ou une valeur pour la société qui peut être monétisé ou valorisé comme une externalité. A noter là-aussi l'exception des enjeux d'épuisement des ressources qui sont de nature intrinsèquement économique.

Comme cela sera décrit dans les prochaines sections, les méthodes et concepts d'analyse de cycle de vie et de Limites Planétaires sont des outils qui permettent d'apporter des éclairages et des solutions par rapport à cette problématique d'articulation des enjeux.

2. Apports de l'Analyse de Cycle de Vie à l'analyse des enjeux environnementaux

Depuis les années 1990, les principes et les méthodes d'analyse de cycle de vie (ACV) se sont développés, permettant d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit sur de nombreux enjeux environnementaux et sur l'ensemble de son cycle de vie. A ce titre, l'ACV permet d'apporter des outils et des solutions globalement efficaces dans l'analyse des enjeux, même si la pertinence de cet apport est à nuancer suivant les enjeux environnementaux.

2.1. ACV : un cadre holistique et causal de classification des enjeux environnementaux

➤ Un outil de preuve quantifiée

Jusque dans les années 1990, la prise en compte des pressions sur l'environnement n'était pas formalisée sous forme d'outils de réflexion systémique qui puisse quantifier les impacts environnementaux d'un produit. Ce besoin de quantification des impacts a conduit au développement de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), qui a permis de passer d'un discours qualitatif à un discours quantitatif.

➤ Des méthodes et des bases de données internationales

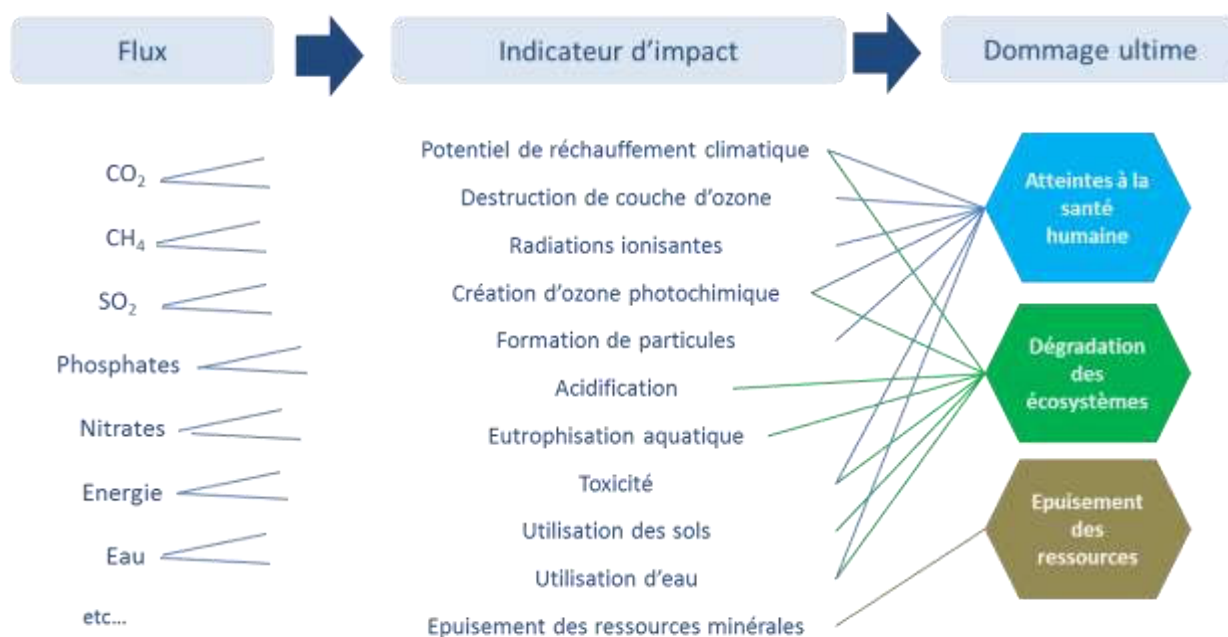
Standardisée au niveau international (série de normes ISO 14040-44), l'ACV est aujourd'hui largement reconnue et utilisée à travers le monde. Initialement concentrées sur le périmètre européen, les méthodes actuellement développées tendent à devenir des méthodes globales (ex : Impact World plus), avec un périmètre géographique mondial. Ces méthodes s'appuient sur des bases de données internationales (ex : ecoinvent).

➤ Une méthode pour permettre d'éviter les transferts de pollution

Le principe de l'analyse simultanée de l'ensemble des impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie permet de prévenir ou tout au moins d'identifier les éventuels transferts de pollution, c'est-à-dire l'amélioration de certains enjeux environnementaux au détriment d'autres enjeux environnementaux.

➤ Un cadre structurant d'analyse des enjeux environnementaux

Les méthodes ACV fournissent un cadre d'analyse puissant pour ordonner et articuler les enjeux environnementaux, avec la suite d'indicateurs très formalisée : indicateur de flux / indicateurs d'impact / indicateur de dommage. Ce cadre qui a pensé les interactions entre chaque impact environnemental permet une vision systématique de l'impact global d'un produit.



Source: LC Impact

Figure 6 : schéma de principe de l'articulation des indicateurs ACV

L'ACV est structurée en quatre phases principales qui définissent la manière dont les impacts environnementaux sont caractérisés et évalués, c'est-à-dire de la phase d'inventaire des émissions à l'évaluation d'un dommage ultime. En regroupant les flux ayant le même type d'impact sur l'environnement, l'ACV permet donc de caractériser des chaînes d'impacts. Ces chaînes d'impact peuvent d'ailleurs évoluer au fil des développements méthodologiques. Par exemple, le changement climatique a été considéré par le passé comme un dommage ultime, c'est-à-dire un impact en bout de chaîne (Recipe 2008, Impact 2002+) tandis que les récents développements méthodologiques l'ont défini comme un enjeu intermédiaire pouvant engendrer des impacts sur la santé ou les écosystèmes notamment (Recipe 2016 (Huijbregts, Marc; Steinmann, ZJN; Elshout, PMF; Stam, G; Verones, F; Vieira, MDM; Hollander, A; Zijp, M; van Zelm, 2016), LC-Impact (Verones et al., 2016)).

Ainsi, les méthodologies ne considèrent pas forcément les mêmes chaînes d'impacts ni les mêmes interactions entre les enjeux, ce qui explique les principales différences entre les méthodes ACV. Même si, de manière générale, les méthodologies récentes définissent trois dommages ultimes (santé humaine, écosystèmes, ressources), il peut subsister des différences dans la prise en compte des enjeux environnementaux. Par exemple, pour la caractérisation de l'épuisement des ressources, certaines méthodes ne vont considérer que les ressources minérales (LC-Impact) et d'autres vont inclure à la fois les ressources minérales et fossiles comme Recipe 2016 (Huijbregts, Marc; Steinmann, ZJN; Elshout, PMF; Stam, G; Verones, F; Vieira, MDM; Hollander, A; Zijp, M; van Zelm, 2016).

2.2. Synthèse sur l'apport de l'Analyse du Cycle de Vie vis-à-vis des enjeux environnementaux

Afin de rendre compte de l'apport de l'ACV vis-à-vis des enjeux et des sous-enjeux environnementaux identifiés, des fiches ont été établies pour analyser de manière systématique comment les méthodes ACV permettent d'évaluer les enjeux et sous-enjeux environnementaux (Annexe 1). En synthèse, comme le montre la Figure 7 ci-dessous, les méthodes ACV ont un fort degré de couverture de l'ensemble des enjeux identifiés (70% en moyenne). Ceci indique que la communauté scientifique de l'ACV a déployé des efforts significatifs pour traiter un ensemble important d'enjeux environnementaux. Cependant, l'adéquation des méthodes ACV pour évaluer de manière pertinente ces différents enjeux peut être très variable d'un enjeu à l'autre et va dépendre de différents paramètres.

Tout d'abord, il est important de souligner que les enjeux les mieux couverts par l'ACV sont ceux pour lesquels les scientifiques ont bien identifié les substances impliquées dans le développement d'un problème environnemental ainsi que la chaîne d'impact, comme les émissions de Gaz à Effet de Serre dans le cas du changement climatique. Mais la disponibilité d'un facteur de caractérisation n'est pas un paramètre suffisant. En effet, pour qu'une émission soit correctement prise en compte lors de l'évaluation des impacts, il faut que les inventaires dans les bases de données soient renseignés (ou que les entreprises aient l'information spécifique dans le cas d'émissions directes). Ce qui n'est pas toujours le cas. A l'inverse, si les bases de données ne sont pas mises à jour régulièrement, il peut subsister dans les inventaires, l'utilisation de substances aujourd'hui interdites.

Un deuxième élément d'analyse concerne la dimension géographique en ACV. En effet, les récents développements méthodologiques ont mis en évidence l'importance de la représentativité géographique des modèles de caractérisation, notamment afin d'améliorer la prise en compte des enjeux de pollution par l'intégration de paramètres locaux pour déterminer les facteurs de caractérisation (exemple de facteur de sensibilité du milieu : concentration en H⁺ dans les milieux récepteurs/kg de substance acidifiante déposé). Cependant, les méthodologies sont en général développées pour l'ensemble du globe et les échelles de prise en compte de ces phénomènes ne sont parfois pas adaptées à l'évaluation d'un enjeu hyper local. Dans ce cadre, la caractérisation doit être affinée et, sans ça, l'ACV n'est pas complètement pertinente pour l'évaluation des enjeux environnementaux. A contrario, l'ACV est jugée plus pertinente pour évaluer les phénomènes de pollution globaux, comme le changement climatique ou la destruction de la couche d'ozone.

Par ailleurs, l'ACV peut également paraître comme une méthode simplificatrice du fait de l'utilisation de modèle linéaire dans les méthodes de caractérisation de l'impact, notamment en ce qui concerne les dommages ultimes, comme la santé humaine et la dégradation des écosystèmes. Il en va de même pour la prise en compte des ressources minérales et fossiles en ACV, de par la difficulté de prise en compte des réserves et du niveau de qualité des gisements (pour permettre l'extraction de la ressource) ainsi que la dimension économique fluctuante dans le temps, notamment concernant la définition des procédés « viables économiquement » pour l'extraction de ressources.

Pour chacun des sous-enjeux, nous avons donc caractérisé le niveau de réponse apporté par l'ACV :

- **Complète** pour certains sous-enjeux relatifs à des flux bien identifiés (consommation totale d'énergie, émissions de GES, destruction de la couche d'ozone) ;
- **Partielle** pour des sous-enjeux relatifs à des flux mal définis (production de déchets) ou des modèles de caractérisation incomplets (qualité de l'eau, épuisement des ressources) ;
- **A construire** pour certains sous-enjeux non intégrables dans les flux existants (espèces invasives) ou dont les flux et modèles de caractérisation sont en développement (nuisances sonores) ;
- **Non adaptée** pour l'enjeu relatif au risque Industriel.

ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX, HIERARCHISATION ET INTEGRATION STRATEGIQUE : QUELLE PLACE POUR L'ACV ET LES LIMITES PLANETAIRES

Enjeu	Sous-enjeu 1	Sous-enjeu 2	Sous-enjeu 3	Sous-enjeu 4	Sous-enjeu 5	Sous-enjeu 6
Changement climatique	Réduction des émissions de GES	Stockage des émissions de GES	Adaptation au changement climatique			
Dégradation qualité de l'air	Acidification	Ozone photochimique	Destruction de la couche d'ozone	Problèmes respiratoires	Autres impacts santé	
Augmentation des nuisances	Nuisances olfactives	Nuisances sonores				
Pollution des sols	Pollution	Dépollution				
Risques industriels	Libération produits toxiques	Explosion	Incendie			
Epuisement des ressources énergétiques	Consommation totale d'énergie	Consommation d'énergie non renouvelable	Production d'énergie renouvelable			
Epuisement des ressources non énergétiques	Consommation totale de matières premières	Zoom sur les matériaux critiques	Ressources renouvelables non-énergétiques	Ressources recyclées		
Production de déchets	Production totale de déchets	Zoom sur les déchets dangereux	Valorisation énergétique et recyclage des déchets			
Dégradation des ressources en eau	Raréfaction de la ressource en eau	Pollution de l'eau	Compétition entre les usages			
Changement d'occupation des sols	Déforestation	Appauvrissement des sols	Erosion	Artificialisation des sols		
Dégradation des écosystèmes (dommage ultime)	Changement, perte ou dégradation des habitats	Espèces invasives	Pollution des habitats	Surexploitation des ressources	Changement climatique	
Atteintes à la santé humaine (dommage ultime)	Nutrition	Exposition à des substances radioactives	Effets respiratoires	Exposition à des substances toxiques	Accès à l'eau potable	Changement climatique

Figure 7 : Taux de couverture des enjeux identifiés par l'ACV

Légende : Niveau de réponse de l'ACV pour évaluer les sous-enjeux :

Complète	Partielle	A construire	Non adaptée
----------	-----------	--------------	-------------

2.3. Guide de lecture des fiches détaillées par enjeu

Une série de fiches détaillées a été réalisée afin de décrire les enjeux et sous-enjeux identifiés et comment les méthodes ACV contribuent à évaluer ces enjeux. Ces fiches sont disponibles en annexe de ce rapport.

Chaque fiche est composée de trois parties principales et de plusieurs sous-parties permettant d'approfondir les informations relatives à chaque enjeu. Une fiche vide est présentée ci-dessous et détaille les informations apportées par les différentes sections des fiches.

Tableau 3 : Exemple de fiche et précisions sur les informations apportées dans les fiches

Caractérisation de l'enjeu	
Description de l'enjeu	
Mise en contexte de l'enjeu.	
Robustesse scientifique	
Maturité scientifique du sujet (évaluation du nombre de publications)	Estimation du nombre de publications traitant de l'enjeu.
Documents de référence	Document institutionnel présentant une feuille de route ou une politique vis-à-vis de l'enjeu considéré ou document scientifique d'importance internationale.
Fondements scientifiques	Publication(s) majeure(s) de niveau international présentant des faits scientifiques avérés
Eléments clés de l'enjeu	
Chiffres clés	Quelques chiffres permettant d'illustrer l'enjeu.
Conventions et protocoles internationaux en vigueur	Liste des conventions et protocoles relatifs à l'enjeu.
Parties prenantes (liste non-exhaustive)	
Plateforme scientifique internationale	Liste (non-exhaustive) des parties prenantes en fonction de leur statut.
Organismes de recherche ou institutions	
Structures privées	
Associations	
Effets sur les entreprises et pression réglementaire	
Effets directs	Mise en évidence de certaines réglementations vis-à-vis de l'enjeu considéré.
Effets indirects ou effets sur la chaîne de valeur	Mise en évidence des conséquences de l'enjeu sur la chaîne de valeur ou des réglementations appliqués aux produits fabriqués par les entreprises (et non pas appliquées aux activités des entreprises).
Dimension géographique	
☐ Global	☐ Local
Présentation de quelques éléments de contexte sur la dimension géographique de l'enjeu.	

Dimension temporelle	
☐ Persistant, long-terme	☐ Ponctuel, court-terme
Présentation de quelques éléments de contexte sur la dimension temporelle de l'enjeu.	
Difficultés identifiées dans l'étude de l'enjeu	
Difficulté 1	Mise en évidence des problématiques d'évaluation de l'enjeu (manque de données, difficulté d'estimation, etc.) ou du contexte autour de l'enjeu (exemple : pratiques de tri des consommateurs)
Enjeu et sous-enjeux identifiés	
Articulation de l'enjeu et sous-enjeux sous forme de schéma.	

Prise en compte de l'enjeu dans l'ACV				
Sous-enjeu 1				
Liste des méthodes d'évaluation de cet enjeu, que ce soit en ACV et hors ACV.				
Méthode d'évaluation de cet enjeu en ACV et unité	Si disponible, présentation de la méthodologie ACV pour évaluer le sous-enjeu 1			
Principes	Présentation des éléments évalués par la méthodologie ACV.			
Modèle de caractérisation	Détail des principes de caractérisation (midpoint ou endpoint).			
Principales matières considérées	Présentation des contributeurs majeurs à l'indicateur considéré.			
Chaine de cause à effet	Si applicable, détail sur la chaîne de cause à effet de l'impact évalué.			
Place de l'ACV pour répondre à cet enjeu				
	Complète	Partielle	A construire	Non adaptée
	L'estimation de la réponse de l'ACV pour l'évaluation de l'enjeu est d'abord effectuée pour chaque sous-enjeu. L'échelle qualitative possède 4 niveaux possibles de réponse : - Complète : l'ACV évalue de manière pertinente le sous-enjeu (flux considérés, chaîne de cause à effet) et constitue la méthode de référence sur ce sous-enjeu - Partielle : l'ACV permet, en partie seulement, d'évaluer le sous-enjeu (des manques ont été identifiés) ; - A construire : l'ACV ne permet pas, à l'heure actuelle, de quantifier l'impact relatif au sous-enjeu mais il existe des développements méthodologiques sur le sujet ; - Non-adaptée : l'approche ACV ne paraît pas adaptée pour estimer le sous-enjeu, actuellement mais aussi dans le futur.			

Synthèse - Complétude des indicateurs ACV par rapport à l'enjeu				
Avantages				
Présentation des avantages de la méthode ACV pour l'évaluation de l'enjeu.				
Inconvénients				
Présentation des inconvénients et des manques identifiés dans les méthodologies ACV qui ne permettent pas de couvrir de manière satisfaisante l'enjeu.				
Echelle de capacité de réponse de l'ACV pour l'enjeu				
Complète	Partielle	A construire	Non adaptée	
Estimation qualitative de la place de l'ACV pour couvrir l'ensemble des dimensions relatives à l'enjeu.				

3. Apports des Limites Planétaires à l'analyse des enjeux environnementaux

Les Limites Planétaires sont un concept récent mais qui fait aujourd'hui l'objet d'importants travaux de recherche et de transposition opérationnelle, que ce soit dans les méthodes ACV ou de manière plus générale dans la compréhension des enjeux environnementaux pour une entreprise.

3.1. Historique et définitions

Le concept de Limites Planétaires (Planetary Boundaries) a été proposé en 2009 par une équipe internationale de 28 chercheurs, menée par Johan Rockström, écologue suédois, directeur du Stockholm Resilience Center (Rockström, Steffen, Noone, Persson, Chapin lli, et al., 2009). Il consiste à 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. Le dépassement de ces bornes pourrait conduire à des changements environnementaux brutaux et irréversibles, aux conséquences imprévisibles, mettant en danger la stabilité socio-économique dans le monde. Ces bornes permettent de définir un espace de sécurité pour l'espèce humaine (Terrain de jeu planétaire, ou Safe Operating Space).

Cette approche définit une nouvelle discipline scientifique, l'étude du système Terre, ou de la « soutenabilité globale », à la croisée de multiples disciplines – climatologie, physique, écologie. Elle se distingue des approches environnementales précédentes en ce qu'elle cherche à délimiter des conditions de survie de l'espèce humaine sur Terre, plutôt que simplement viser à réduire l'impact environnemental des activités humaines, soit par une approche absolue et non relative.

Les chercheurs ont défini 9 processus du système Terre dont la perturbation est susceptible de mettre en danger l'espèce humaine. Ces processus sont interconnectés, et se développent à différentes échelles, allant du local au global : changement climatique, taux de perte de biodiversité, cycles de l'azote et du phosphore, atteinte à la couche d'ozone, acidification des océans, utilisation d'eau douce, changement dans l'usage des sols, charge de l'atmosphère en aérosols, et pollution chimique. Les Limites Planétaires ont récemment été mises à jour (Steffen et al., 2015), en confirmant l'ensemble initial de limites, en adaptant certaines d'entre elles et en proposant de nouvelles valeurs plus robustes. Le taux de perte de biodiversité a ainsi été remplacé par l'intégrité de la biosphère, qui couvre à la fois la diversité biologique mais aussi le fonctionnement des écosystèmes. La pollution chimique a été étendue avec la diffusion de substances nouvelles, qui couvrent par exemple les nanoparticules et les micro-plastiques.

L'exercice inclut également l'évaluation de l'état actuel de la planète, à comparer aux Limites Planétaires définies précédemment. Il apparaît que quatre des seuils sont d'ores-et-déjà dépassés (changement climatique, intégrité de la biosphère, usage des sols et cycles biochimiques), du fait de l'intervention humaine massive, mettant donc en danger le bien-être socio-économique mondial. En conséquence, le cadre de pensée des Limites Planétaires – Planetary Boundaries Thinking – pourrait représenter une solution pratique pour établir une gouvernance et une politique mondiales pour le développement durable. Ces limites pourraient être adoptées au niveau mondial pour réduire les impacts environnementaux des activités humaines. Cependant, ces limites se manifestent par essence à différentes échelles, elles appellent donc à une gouvernance articulant les différents niveaux : local, régional et global.

3.2. Description des Limites Planétaires

La figure ci-dessous présente les neuf Limites Planétaires, ainsi que leur état de dépassement éventuel.

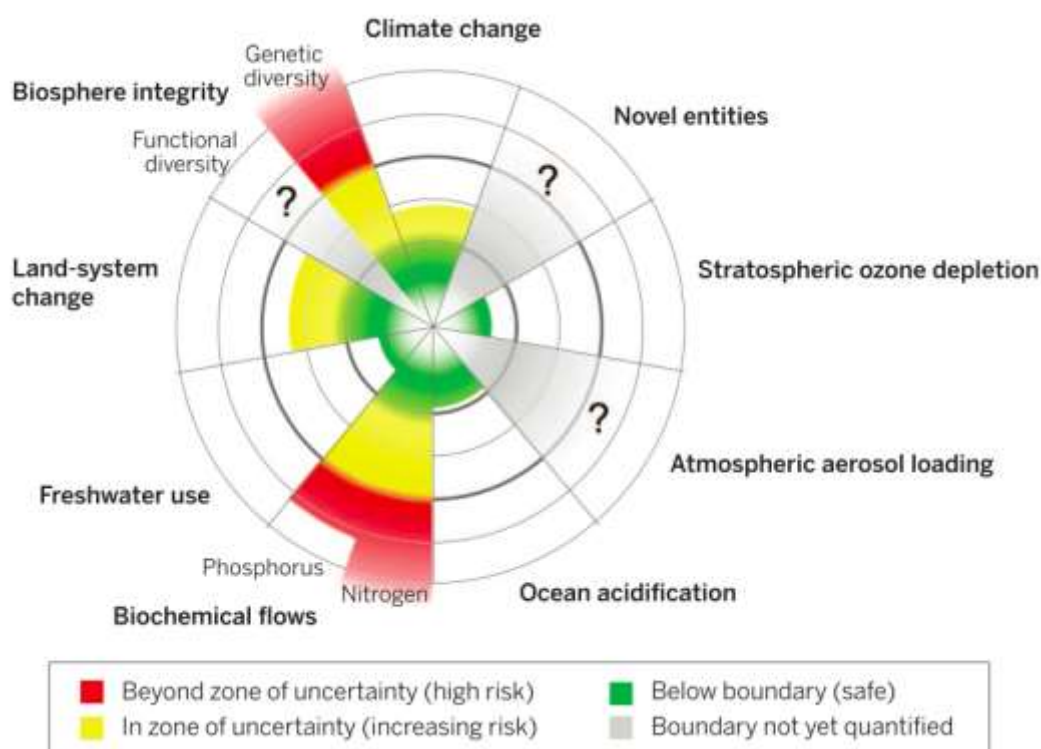


Figure 8 : Limites planétaires (Steffen et al., 2015)

Note : Le vert définit le « terrain de jeu planétaire », le jaune montre un dépassement en zone d'incertitude, et le rouge un dépassement certain. Le choix des couleurs est trompeur : les scientifiques identifient bien un dépassement sur 4 domaines, dont deux domaines clés.

Parmi les neuf Limites Planétaires identifiées, deux limites (« core boundaries ») sont considérées comme des limites-clés, le changement climatique et l'intégrité de la biosphère, qui sont chacune susceptibles de faire basculer la planète dans un nouvel état. Le dépassement d'une des autres limites pourrait sensiblement affecter le bien-être de l'humanité et perturber l'une des deux limites principales sans toutefois déclencher seul le changement d'état du système Terre.

Chaque Limite Planétaire est caractérisée par une ou plusieurs « **variable(s) de contrôle** » dont la mesure permet d'évaluer l'état du système Terre au regard de la limite considérée. Ces variables de contrôle sont idéalement des variables d'état, mais il se trouve que pour certaines limites, pour des raisons pratiques, ce sont des variables de flux qui ont été retenues. Ces variables de contrôle seront probablement appelées à évoluer au cours des prochaines années. Les paragraphes suivants décrivent chaque Limite Planétaire.

Changement climatique - Les variables de contrôle proposées sont :

- Une concentration de CO₂ dans l'atmosphère, avec une valeur limite globale de 350 parties par million (ppm), une valeur actuelle de 398,5 ppm dépassant donc cette limite et
- L'augmentation du forçage radiatif au sommet de l'atmosphère, avec une valeur limite globale de +1.0 W m⁻² par rapport aux niveaux préindustriels, une valeur actuelle de 2,3 W m⁻² dépassant ainsi cette limite. La variable du forçage radiatif est plus inclusive et fondamentale que celle de la concentration en CO₂ car elle intègre tous les gaz à effet de serre¹, l'effet des aérosols et des autres facteurs pouvant impacter les flux radiatifs.

¹ Malgré une longue durée de vie et l'importance des émissions humaines de CO₂, les autres gaz ont une contribution significative

Perte d'intégrité de la biosphère – 2 aspects à prendre en compte : génétique et fonctionnel :

- Cette limite planétaire rend compte du caractère unique du matériel **génétique** (banque d'informations), déterminant pour permettre à la vie de continuer à évoluer dans le système terrestre de la manière la plus résiliente possible. La variable de contrôle est le taux d'extinction des espèces, elle est valable à l'échelle globale. Depuis des millions d'années, le taux d'extinction « normal » était de 1 espèce disparue par an par million d'espèces. Avec un niveau d'incertitude important, la limite est de 10 espèces disparues par an par million d'espèces. Ces disparitions ont des impacts majeurs sur les écosystèmes et sur les fonctions qui ne sont plus remplies, cependant le taux de disparition n'est pas parfait comme variable de contrôle, car ce taux ne prend pas en compte les types d'espèces qui disparaissent et la diversité de leur capital génétique. Actuellement, le taux de disparition se situe entre 100 et 1000 espèces éteintes par an par millions d'espèces, dépassant donc largement cette limite.
- Elle rend également compte des **fonctions** assurées au sein du système Terre par les organismes vivants organisés en écosystèmes, avec la variable de contrôle « Biodiversity Intactness Index » (BII – indice de biodiversité intact). Cette variable de contrôle évalue le changement dans les populations d'espèces provoqué par les activités humaines (comme la modification de l'usage des sols et les différentes émissions de substances dans l'atmosphère, les sols, et l'eau) à l'échelle du biome ou de l'écosystème en utilisant les niveaux préindustriels comme référence. Cet indice se situe généralement au-dessous de 100% en fonction de l'étendue et du degré des modifications humaines sur la faune et la flore. Pour certains groupes fonctionnels particuliers, cet indice peut être supérieur à 100% si les modifications humaines ont favorisé la croissance des espèces concernées. Cependant, il y a un manque de preuves sur les relations entre le BII et l'écosystème dans son ensemble. C'est pour cette raison que la limite choisie est de 90% avec une zone d'incertitude large entre 30% et 90%. Le BII n'a été appliqué que pour les biomes terrestres de la région du Sud de l'Afrique (7 pays avec un indice variant entre 69 et 91%) pour un BII de 84%. Pour respecter la limite, il faudrait se trouver à 90% ou plus. Cette variable de contrôle ne peut être appliquée que localement à l'échelle de biomes et il faudrait pouvoir définir pour chaque biome un panel d'indices fiables, robustes et scientifiquement construits pour accroître la fiabilité de l'approche qui semble prometteuse mais reste largement inapplicable en l'état. Le but est de pouvoir évaluer à terme la capacité à fonctionner et la persistance des biomes (avec une variable de contrôle par biome).

Appauvrissement de la couche d'ozone (stratosphérique)

L'appauvrissement de la couche d'ozone conduit à une dégradation des écosystèmes terrestres et marins, particulièrement sensibles. La variable de contrôle est la concentration d'ozone en DU (unité Dobson²), et la limite est de 275 DU. Cette limite est transgressée seulement au-dessus de l'Antarctique au printemps austral quand la concentration d'ozone (O₃) descend en dessous de 200 DU. Cependant la concentration d'ozone s'est stabilisée pendant 15 ans à l'issue du protocole de Montréal éliminant l'utilisation des substances aérosols néfastes pour la couche d'ozone, et devrait augmenter dans les années à venir. C'est une limite globale.

Acidification océanique

Cette limite planétaire est intimement liée à la limite « changement climatique ». En effet, l'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère a conduit à une augmentation de la concentration en ion H⁺ libre (acide) en surface des océans de 30% en 200 ans. Cela influe sur les réactions chimiques avec le carbonate dans les eaux de surface des océans, et fait baisser l'état de saturation en aragonite. L'aragonite est une forme de carbonate de calcium formée par de nombreux organismes marins. Si l'état de saturation est inférieur à 1, l'aragonite se dissout. La variable de contrôle proposée est une moyenne de l'état de saturation en aragonite en eau de surface avec pour

² Une unité Dobson correspond à une couche d'ozone qui aurait une épaisseur de 10 µm dans les conditions normales de température et de pression

référence l'état de saturation préindustriel. La limite est un état de saturation moyen en aragonite en eau de surface supérieur ou égal à 80% par rapport aux niveaux préindustriels. Cependant, il faut prendre en compte l'hétérogénéité géographique de cette variable dans les océans.

Perturbation des cycles biochimiques de l'azote et du phosphore

La limite proposée se concentre uniquement sur les cycles de l'azote (N) et du phosphore (P). De plus en plus d'études montrent que les ratios entre différents éléments (azote, phosphore, silicone, carbone) dans l'environnement pourraient avoir des impacts sur la biodiversité terrestre et marine. C'est pourquoi il faudrait développer une nouvelle limite planétaire qui pourrait prendre en compte ces paramètres. Les variables de contrôle sont des flux massiques d'azote ou de phosphore en fonction de leur provenance et leur destination. Cependant, concernant l'azote et le phosphore, l'approche se fait séparément.

- Pour le phosphore, la limite se décompose sur deux niveaux :
 - Le flux de phosphore vers l'océan en provenance des eaux douces, avec une limite globale estimée à 11 Tg (10^{12} grammes) de phosphore équivalent par an, correspondant à la prévention d'événements anoxiques océaniques de très grande échelle (forte réduction de la concentration en oxygène dans certaines parties de l'océan). Cette valeur est dépassée par un niveau actuel de 22 Tg de P eq par an.
 - Le flux de phosphore en provenance des engrais vers les sols cultivés soumis à l'érosion, qui vise la prévention de l'eutrophisation³ générale des eaux douces. Cette seconde limite régionale est estimée à 6,2 Tg de phosphore équivalent par an – la distribution régionale de cette valeur limite est critique. Cette limite est dépassée par un niveau actuel de 14 Tg P eq par an (moyenne mondiale).
- Pour l'azote, la limite globale proposée dans le but de prévenir l'eutrophisation des milieux aquatiques est évaluée à 62 Tg par an de fixation biologique d'azote, d'origine essentiellement agricole – là aussi, la distribution régionale des engrais azotés est critique pour les impacts. Cette limite est dépassée par un niveau actuel de 150 Tg N eq par an (moyenne mondiale).

Modification de l'usage des sols

Cette limite planétaire se concentre sur les interactions bio-géophysiques entre la surface terrestre et l'atmosphère. La variable de contrôle est la couverture forestière restante puisque les trois biomes forestiers majeurs – tropical, tempéré et boréal – jouent un rôle plus important dans l'interconnexion climat-surface terrestre que les autres biomes. Par exemple, la transformation de forêts tropicales en systèmes non-forestiers influe de manière significative sur l'évapotranspiration et impacte le climat. Par ailleurs, la présence de forêts boréales influe sur l'albédo⁴, ce qui impacte les flux radiatifs solaires et la température au sol. La limite planétaire proposée est de 85% de couverture forestière tropicale et boréale par rapport à la couverture potentielle, et de 50% de couverture forestière tempérée par rapport à la couverture potentielle. Une moyenne pondérée par l'impact des 3 biomes donne un seuil de 75% de couverture forestière globale par rapport à la couverture forestière initiale. La limite est transgressée avec une couverture forestière globale de seulement 62% par rapport à la couverture forestière initiale.

Utilisation d'eau douce

L'utilisation d'eau douce a pour variable de contrôle la consommation d'eau bleue (provenant des rivières, lacs, réservoirs, et eaux souterraines renouvelables). Elle est limitée à l'échelle globale à 4000 km³/an. Le niveau de consommation globale d'eau bleue actuel est de 2600 km³/an et ne dépasse pas la limite donnée. Au niveau d'un bassin versant, des limites régionales sont proposées : 25% du débit à l'étiage à 55% pour les mois de plus fort débit, et 30% pour les périodes

³ Eutrophisation : accumulation de nutriments dans un milieu ou un habitat (terrestre ou aquatique) qui peut provoquer la croissance rapide d'organismes (algues notamment) au détriment de la biodiversité du milieu

⁴ Albédo : pouvoir réfléchissant d'une surface. Pour la terre, l'albédo représente la fraction de l'énergie solaire réfléchi par la surface terrestre

intermédiaires. Le niveau de consommation actuel localisé à l'échelle de bassins versants doit être évalué pour chacun des bassins versants si l'on souhaite avoir une valeur précise.

Pollution atmosphérique par les aérosols

Les aérosols ont des impacts néfastes sur la santé humaine et selon l'OMS (OMS, 2014), cette pollution cause la mort de 7 millions de personnes par an. Ils impactent aussi l'écosystème terrestre de nombreuses manières. Cette limite planétaire concerne l'effet des aérosols sur la circulation générale couplée atmosphère-océan. La variable de contrôle est l'AOD (Aerosol Optical Depth – épaisseur optique des aérosols)⁵. Il n'y a pas de seuil global, mais une limite régionale détaillée pour le cas d'étude de la mousson en Asie du Sud. La charge en aérosols de l'atmosphère du subcontinent indien pourrait transformer la mousson en un système plus sec. L'AOD ambiant au-dessus de l'Asie du Sud est de 0,15 et peut aller jusqu'à 0,4 lors d'événements volcaniques. Les activités humaines⁶ peuvent augmenter l'AOD jusqu'à 0,4 voire plus lors d'événements volcaniques, provoquant une réduction de rayonnement solaire incident à la surface de 10 à 15%. Une réduction significative de l'activité de la mousson intervient aux alentours d'un AOD de 0,5, représentant une augmentation de 0,35 dans l'air par rapport à l'AOD ambiant. En prenant une approche conservatrice, la limite régionale proposée pour l'AOD est de 0,25, dont 0,1 lié aux activités humaines. Actuellement, la moyenne annuelle de l'AOD se trouve aux alentours de 0,3 dépassant ainsi la limite régionale proposée.

Dispersion d'entités nouvelles

Les entités nouvelles couvrent des substances nouvelles, de nouvelles formes de substances existantes, et des formes de vie modifiées qui peuvent avoir des effets géophysiques et/ou biologiques non-désirés. L'introduction anthropogénique de nouvelles entités dans l'environnement est un problème à l'échelle globale lorsque ces entités démontrent persistance, mobilité à travers les échelles avec une distribution importante et étalée, et des impacts potentiels vitaux sur l'écosystème terrestre ou sous-systèmes. Ceci inclut les produits chimiques et autres types de nouveaux matériaux ou organismes fabriqués qui étaient précédemment étrangers à l'écosystème terrestre mais inclut également les éléments naturels mobilisés par l'activité humaine (comme les métaux lourds)⁷. Plus de 100 000 substances entrant dans cette catégorie sont aujourd'hui commercialisées dans le monde, avec des impacts éco-toxicologiques et environnementaux largement méconnus et probablement très complexes. Si l'on considère les nanomatériaux et la dégradation des polymères plastiques, la liste est encore plus longue. Les chercheurs s'estiment donc incapables de fixer une limite planétaire pour ces substances, mais invitent à mieux les surveiller et par précaution à limiter leur usage tant que possible.

Le tableau suivant récapitule pour chaque limite planétaire la ou les variable(s) de contrôle, en précisant si c'est une variable d'état ou de flux, sa valeur limite, l'incertitude sur cette valeur limite, et l'état actuel de la planète. Les limites planétaires, d'ores-et-déjà dépassées, sont repérées par les lignes à fond coloré. On notera que les zones d'incertitudes sont plus élevées sur certaines limites que sur d'autres : le seuil est plus difficile à définir pour les émissions de Phosphore que pour l'Effet de serre par exemple.

⁵ AOD : C'est une mesure optique sans dimension de la capacité d'un nuage d'aérosol à atténuer la lumière (et autres flux radiatifs) traversant ce nuage

⁶ Les émissions d'aérosols par les activités humaines sont du carbone noir (suie) et organique provenant de la cuisine et du chauffage au biocarburants, mais aussi des transports au diesel, ainsi que l'émission de sulfates et nitrates provenant de la combustion de carburants fossiles

⁷ L'exemple parfait des CFCs (chlorofluorocarbones) qui avaient été introduits pour leur utilité étaient supposément sans danger, ont révélé par la suite avoir un impact catastrophique sur la couche d'ozone

Tableau 4 : Caractérisation des différentes limites planétaires - d'après Steffen et al (2015)

Planetary Boundaries	Parameters	State or flow	Proposed boundary threshold	Zone of uncertainty	Current status
Climate change	Atmospheric concentration of carbon dioxide (parts per million by volume) Energy imbalance at top-of-atmosphere, $W m^{-2}$	State State	350 +1.0	350-450 ppm +1.0-1.5 $W m^{-2}$	400 (rising) +2.3 (1.1-3.3 $W m^{-2}$)
Loss of biosphere integrity (previously: biodiversity loss) Generic diversity	Extinction rate (extinctions per million species-years)	Flow	10 (but with an aspirational goal of 1)	100-1000	about 1000 (rising)
Loss of biosphere integrity Functional diversity	Biodiversity Intactness Index (BII)	Regional State	Maintain BII at 90% or above	90-30%	Regional status : 84%, applied to southern Africa only
Change to biochemical flows – Nitrogen and Phosphorus	Quantity of nitrogen applied to land (millions of tonnes per year) Quantity of phosphorus applied to land (millions of tonnes per year) Quantity of global phosphorus applied from freshwater systems into the ocean (millions of tonnes per year)	Flow Flow Flow	62 6.2 11	62-82 6.2-11.2 11-100	about 150 (rising) about 14 (rising) ~22
Loss of stratospheric ozone (previously: stratospheric ozone depletion)	Concentration of ozone (Dobson unit)	State	(no lower than) 276	261-276, assessed by latitude	283 (improving) Only transgressed over Antarctica in Austral spring (~200 DU)
Ocean acidification	Global mean saturation state of aragonite in surface seawater (%)	State	>80% of pre-industrial level	≥80% - ≥70%	about 84%
Freshwater abstraction (previously: global FW use)	Annual consumption of freshwater (km ³ per year)	Flow	4,000	4000-6000	2,600
Land use change (previously: change in land use)	Percentage of global forests converted to croplands, roads and cities	State	(no less than) 75% biome intactness	75-54%	62% (shrinking)
Atmospheric aerosol loading	Particulate concentration in the atmosphere, measured as Aerosol Optical Depth. Regionally determined for South Asia.	State	Regional threshold: 0.25	0,25-0,50	Regional status: 0.30 Over South Asian Region

Release of novel entities (previously: chemical pollution)	Multiple boundaries, yet to be determined	N/A		To be determined
--	---	-----	--	------------------

3.3. Limitations et controverses

De nombreuses incertitudes pèsent encore sur la définition et la quantification des Limites Planétaires. La version 2015 montre une évolution par rapport à la version initiale de 2009, et il est fort probable que des améliorations interviendront au cours des prochaines années.

Parmi les limitations identifiées, on peut citer les points suivants :

- La Limite Planétaire « dispersion d'entités nouvelles » n'a pas d'unité de mesure
- Les variables de contrôle pour les flux biochimiques sont des flux et non un état, et rendent compte d'une partie seulement des phénomènes observés,
- La mesure de l'intégrité de la biosphère par le seul flux de disparition d'espèces est très grossière, elle rend très mal compte de la richesse génétique des différentes espèces et des services géo-bio-chimiques qu'elles peuvent assurer.

Le concept et les valeurs actuelles des Limites Planétaires sont controversés en 2017. Quelques chercheurs (Nordhaus, Shellenberger, & Blomqvist, 2012) ont critiqué la démarche :

- En mettant en cause la robustesse des valeurs proposées pour les seuils,
- En critiquant le manque de différenciation spatiale pour les processus non globaux,
- En soulignant le manque de maturité et de cohérence de la méthode,
- En dénonçant la focalisation sur la distance à la limite, plus que sur l'importance intrinsèque de chaque dommage (Weidema & Brandão, 2015).

Sur le dernier point, il peut être avancé que du point de vue du système Terre et de sa capacité à accueillir le développement de l'humanité, chacun des dommages pouvant conduire à une sortie de l'Holocène est aussi important que les autres, ce qui justifie une hiérarchisation en fonction de la distance à la limite. Cette affirmation peut être modulée par la hiérarchisation affichée entre les « limites-clés » (« core boundaries ») et les autres.

Les autres limitations semblent pertinentes et font l'objet de travaux de recherche. Nous citons par exemple plus loin une publication de Bjoern et Hauschild sur la différenciation spatiale de la limite « Acidification terrestre ».

Focus sur les critiques formulées par Nordhaus

- 6 des limites planétaires n'ont pas de seuil bio-physique propre : changement d'usage des sols, perte de biodiversité, niveaux d'azote, usage de l'eau douce, aerosols, pollution chimique.
- Hormis leur impact sur le changement climatique, ces « limites » sans seuil opèrent aux niveaux local et régional, mais pas global.
- Il y a peu d'éléments de preuve pour soutenir l'assertion selon laquelle le dépassement d'une de ces six limites sans seuil aurait un effet négatif sur le bien-être matériel de l'humanité.

Les chercheurs ayant forgé le concept de Limites Planétaires ont une ambition politique affichée : il s'agit d'alerter les responsables politiques pour la définition d'une gouvernance mondiale. Ils bénéficient d'une large écoute, même si l'ONU n'a pas encore officiellement adopté ce cadre de pensée (cf. ci-dessous).

Le Panel de haut niveau sur la viabilité du développement mondial de l'ONU (UN High-Level Panel of Experts) a inclus la notion de « planetary boundaries » dans son texte de présentation (2012); Ban Ki Moon a évoqué à plusieurs reprises ce concept comme un outil autour duquel bâtir les futures recommandations environnementales de l'ONU. Le concept fut incorporé dans la version initiale des conclusions de la Conférence des Nations unies sur le développement durable à Rio de Janeiro les 20–22 juin 2012, mais l'utilisation du concept fut ensuite retirée du texte de la conférence, à la demande de pays pauvres, qui craignaient que la prise en compte d'enjeux environnementaux ne se fasse au dépend des enjeux sociaux et de pauvreté. Ils se sont appuyés pour cela sur les critiques formulées par certains chercheurs (cf. ci-dessus).

Les chercheurs sur les Limites Planétaires soulignent que leur travail ne constitue pas une feuille de route complète pour le développement durable, mais que les limites planétaires critiques identifiées permettent d'éclairer les processus de prise de décision de la société sur la durabilité. Ils notent que, comme dans tout projet de recherche, des incertitudes demeurent : les Limites Planétaires publiées ne sont **ni stables, ni certaines**.

Les réserves exprimées par les auteurs mêmes de la démarche, ainsi que les critiques soulevées par d'autres chercheurs, soulignent que les Limites planétaires sont encore un concept très récent, dont la robustesse n'est pas considérée suffisante pour une application politique. Le concept reste cependant suffisamment intéressant pour que d'importants travaux de recherche y soient consacrés, et pour structurer d'ores-et-déjà les démarches d'entreprises et d'organisations internationales.

3.4. Limites Planétaires vs. ACV : un changement de perspective sur les enjeux environnementaux, et des questions de compatibilité

La possibilité d'intégrer les limites planétaires en ACV a très rapidement été perçue par les « ACVistes » comme particulièrement intéressante, car elle permettrait de comprendre dans quelle mesure le produit ou le service analysé contribue au dépassement (ou non) des seuils établis par les limites planétaires.

Ainsi, les travaux de recherche sur ce sujet apparaissent comme la suite logique des travaux sur la normalisation. Les chercheurs en ACV semblent avoir commencé à se pencher sur la question dès la publication du document fondateur sur les limites planétaires (Rockström, Steffen, Noone, Persson, Chapin Iii, et al., 2009). A ce titre, une première publication a été repérée dès 2012 avec l'article écrit par Tuomisto (Tuomisto, Hodge, Riordan, & MacDonald, 2012).

La mise en regard des méthodologies ACV et des méthodologies des Limites Planétaires nécessite d'établir une grille de correspondance, comme le montre la Figure 9 ci-dessous.

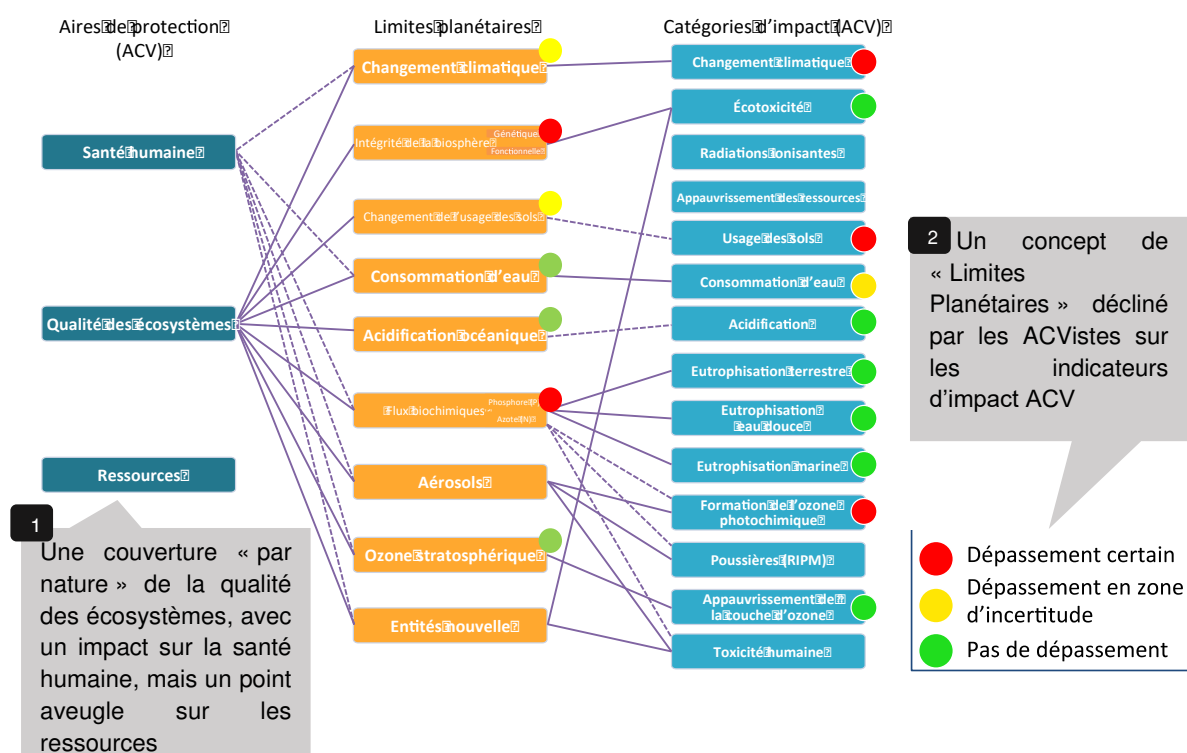


Figure 9 : Correspondance entre les catégories d'impact en ACV et les Limites Planétaires

Les niveaux de dépassement ne sont pas cohérents entre les deux colonnes car ils sont issus de sources différentes (Steffen et al. vs Bjoern et al.).

3.1.1. Aires de protection

Le point de vue traditionnel des analyses de cycle de vie se focalise sur trois aires de protection, à savoir la santé humaine, l'environnement biotique et l'environnement abiotique. L'objectif des études ACV consiste à évaluer les impacts environnementaux dans ces trois aires de protection.

Le point de vue des Limites Planétaires est différent : il s'agit de conserver le système Terre dans un état similaire à l'Holocène, dans la mesure où cela assure un environnement favorable pour l'humanité. L'humanité est donc intégrée au système Terre, et doit éviter de pousser, par ses émissions et consommations, le système dans un état différent de l'Holocène, qui est le seul dont on soit sûr qu'il permette l'épanouissement de nos civilisations. Il s'agit donc de développer une approche fondée sur le principe de précaution.

Dans cette perspective, il n'y a plus qu'une seule aire de protection, le système Terre. Une ACV menée dans le cadre des Limites Planétaires laisse donc de côté certaines des thématiques associées aux aires de protection classiques et non couvertes par les Limites Planétaires – en particulier la consommation de ressources minérales et fossiles, et les impacts relatifs à la santé humaine. Des propositions ont été formulées par certains chercheurs pour étendre le cadre conceptuel des Limites Planétaires à ces deux familles d'impacts.

- Ressources

La problématique de l'épuisement des ressources n'est pas considérée dans les Limites planétaires, car elle ne constitue pas en soi une cause de basculement du système Terre dans un nouvel état. Cependant, certains chercheurs ont exploré la possible définition d'une limite planétaire pour cette catégorie d'impact, notamment Bijloo & Kerkhof (Bijloo & Kerkhof, 2015), dans un projet pour les producteurs d'énergie. Le principe retenu pour étendre le concept de limite Planétaire aux ressources consiste à préserver la même quantité de ressources minérales d'une génération à l'autre. La limite est donc déterminée par :

- D'une part, la quantité de ressources secondaires issues du recyclage,
- D'autre part, les réserves minérales que le progrès technique permet d'exploiter alors qu'elles n'étaient pas exploitables auparavant – ce dernier point nous semble moins robuste que le premier.

Une première application a été réalisée dans le cadre du projet One Planet Thinking pour le secteur énergétique, avec une quantification des limites pour un petit nombre de ressources (Bijloo & Kerkhof, 2015).

– **Santé**

Certains auteurs (Whitmee et al., 2015) proposent le concept de Santé Planétaire, c'est-à-dire des limites sociales, fondées sur l'idée que la santé humaine dépend de systèmes naturels en harmonie. Ce cadre englobe à la fois les aspects sociaux et environnementaux. Pour l'améliorer, des progrès doivent être faits sur la robustesse des indicateurs de bien-être humain, qui couvriraient entre autres dimensions l'intégrité des systèmes naturels. Il s'agit à ce stade d'un cadre conceptuel, sans application opérationnelle immédiate.

3.1.2. Positionnement des Limites Planétaires par rapport aux quantités manipulées en ACV

Le schéma reproduit ci-dessous met en évidence le positionnement des Limites Planétaires dans le schéma de calcul de l'analyse de cycle de vie. Il est clair que les cadres conceptuels ne correspondent pas : là où l'ACV sépare selon une logique de cause à effet les flux de l'inventaire, le calcul des indicateurs d'impact (midpoint) et les indicateurs de dommage (endpoint), les Limites Planétaires proposent de considérer simultanément des thématiques relevant de ces trois domaines. C'est ce que permet de comprendre la

Figure 10 suivante, où les Limites Planétaires sont repérées en jaune.

Cela implique en particulier que les différentes Limites Planétaires ne sont pas indépendantes, et que leur évaluation pourrait, dans une logique d'ACV, conduire à des double-comptages : un *épandage d'engrais phosphatés* peut conduire au déversement de *phosphore dans les eaux marines*, endommager les écosystèmes aquatiques et in fine *atteindre l'intégrité de la biosphère* : trois limites planétaires sont ici concernées – en italique.

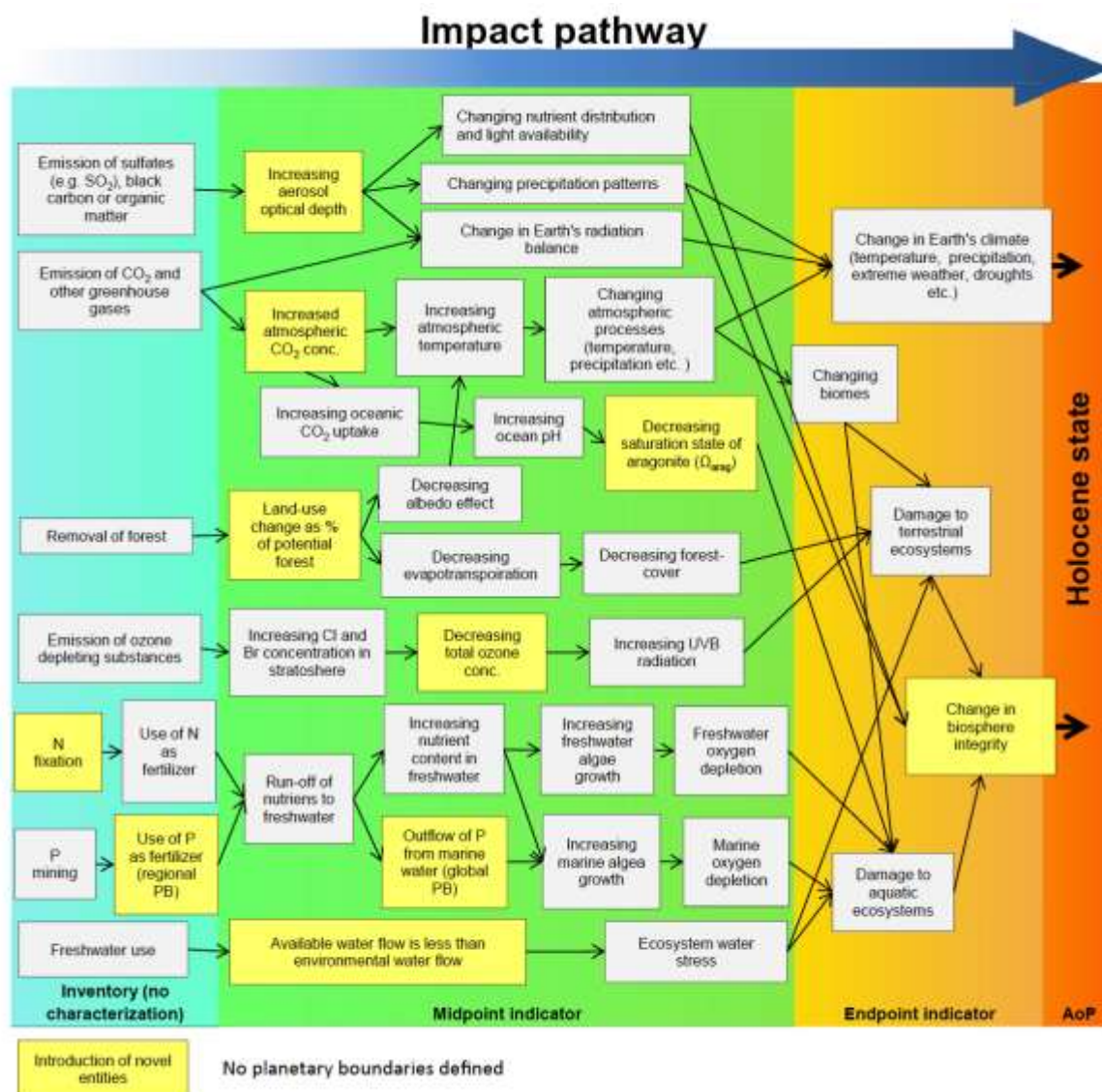


Figure 10 : Chaines d'impact et écosystème terrestre dans le contexte des limites planétaires (Ryberg, Owsianiak, Richardson, & Hauschild, 2016)

Par ailleurs, les modèles soutenant la comptabilité ACV d'une part et l'évaluation des Limites Planétaires de l'autre ne sont pas systématiquement compatibles. Plus précisément, les Limites Planétaires s'appuient sur des modèles d'état, caractérisés par une émission continue et stable, par opposition aux ACV qui mesurent l'impact d'une émission ponctuelle. Il est possible d'établir un lien entre les deux, mais la relation n'est pas triviale et dépend de chaque Limite Planétaire. C'est un point important à considérer si l'on souhaite combiner les deux approches. Cela se traduit le plus souvent par des unités différentes, mais même lorsque les unités sont similaires, il est possible que les modèles sous-jacents ne soient pas compatibles.

Une autre différence entre les cadres conceptuels de l'ACV et des limites planétaires concerne le traitement de l'incertitude : le principe de précaution prévaut dans la délimitation du terrain de jeu planétaire, par définition même du concept de « terrain de jeu planétaire », ou « Safe Operating Space », alors que l'ACV s'appuie plutôt sur des valeurs moyennes. Cette différence reste néanmoins mineure nous semble-t-il, du fait d'une pratique généralement « conservatrice » de l'ACV : afin de ne pas risquer de sous-estimer les impacts, ceux-ci sont le plus souvent approchés par majoration.

3.1.3. Différenciation spatiale

La question de la différenciation spatiale constitue déjà un sujet de recherche en ACV, elle est essentielle pour les impacts locaux et régionaux, notamment la consommation d'eau, l'eutrophisation,

l'usage des sols ou la biodiversité. Cette même question surgit de façon encore plus impérative dans le cadre des limites planétaires, car la notion de dépassement s'entend, pour ces impacts, à une échelle locale ou régionale. Un article récent de Bjoern (Bjørn, Margni, Roy, Bulle, & Hauschild, 2016) montre sur l'exemple de l'acidification terrestre comment le concept de Limite Planétaire peut être décliné au niveau local, et conclut à la non soutenabilité des 45 centrales thermiques étudiées sur le territoire des Etats-Unis.

3.1.4. Allocation du terrain de jeu

Pour faire le lien entre une limite planétaire, qu'elle soit globale ou locale, et l'ACV d'une activité ou d'un produit, il faut allouer la capacité définie au secteur ou au produit considéré. De nombreux travaux se penchent sur cette question. L'article de Sandin (Sandin, Peters, & Svanström, 2015) propose 4 principes possibles pour cette allocation :



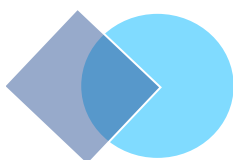
- Droit individuel : « the equal per capita »
- Droit historique du segment de marché régional
- Droit historique des individus dans une population
- Dette historique des individus dans une population (opposé du précédent).

L'enjeu d'une telle allocation est évidemment politique et dépasse le champ d'action des chercheurs en ACV et en écologie. Ces chercheurs se mobilisent cependant pour affirmer le premier principe de « droit individuel » (Bjørn, Diamond, Owsianiak, Verzat, & Hauschild, 2015).

3.1.5. Adaptations méthodologiques en cours

Il est possible de classer la littérature scientifique relative à l'utilisation croisée de l'ACV et des Limites Planétaires en trois catégories :

- Une approche rapide qui consiste à combiner les deux sans trop se soucier de la compatibilité des indicateurs



- Le plus : Rapidité
- Le moins : Un manque de cohérence et donc des problèmes identifiés sur la valeur et les conclusions
- Exemple : Tuomisto (Tuomisto, Hodge, Riordan, & MacDonald, 2012)

- Une approche consistant à traduire les Limites Planétaires dans les indicateurs classiques de l'ACV, c'est-à-dire utiliser les limites planétaires comme valeurs de pondération et de normalisation :



- Le plus : Cohérence
- Le moins : Les impacts locaux et régionaux sont encore à compléter
- Exemples : Bjørn (Bjørn & Hauschild, 2015), JRC (Sala, Benini, Crenna, & Secchi, 2016)

- Une approche consistant à définir de nouveaux indicateurs pour élaborer une nouvelle méthode d'impact, fondée sur les limites planétaires (définition d'une nouvelle aire de protection et d'une batterie d'indicateurs d'impact dérivés des limites planétaires) :



- Le plus : Cohérence
- Le moins : la couverture des autres aires de protection est à compléter
- Exemple : Ryberg (Ryberg et al., 2016)

La première approche ne présente pas d'intérêt à ce stade, les deux dernières approches sont clairement à privilégier. Elles nécessitent toutes les deux des travaux de recherche pour élaborer des outils robustes et convaincants. C'est la seconde approche qui est aujourd'hui la plus opérationnelle, elle est explorée plus avant dans la section suivante.

La carte d'idées ci-dessous propose une lecture des thématiques et des orientations retenues dans la littérature sur le sujet ACV et limites planétaires.

ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX, HIERARCHISATION ET INTEGRATION STRATEGIQUE : QUELLE PLACE POUR L'ACV ET LES LIMITES PLANETAIRES

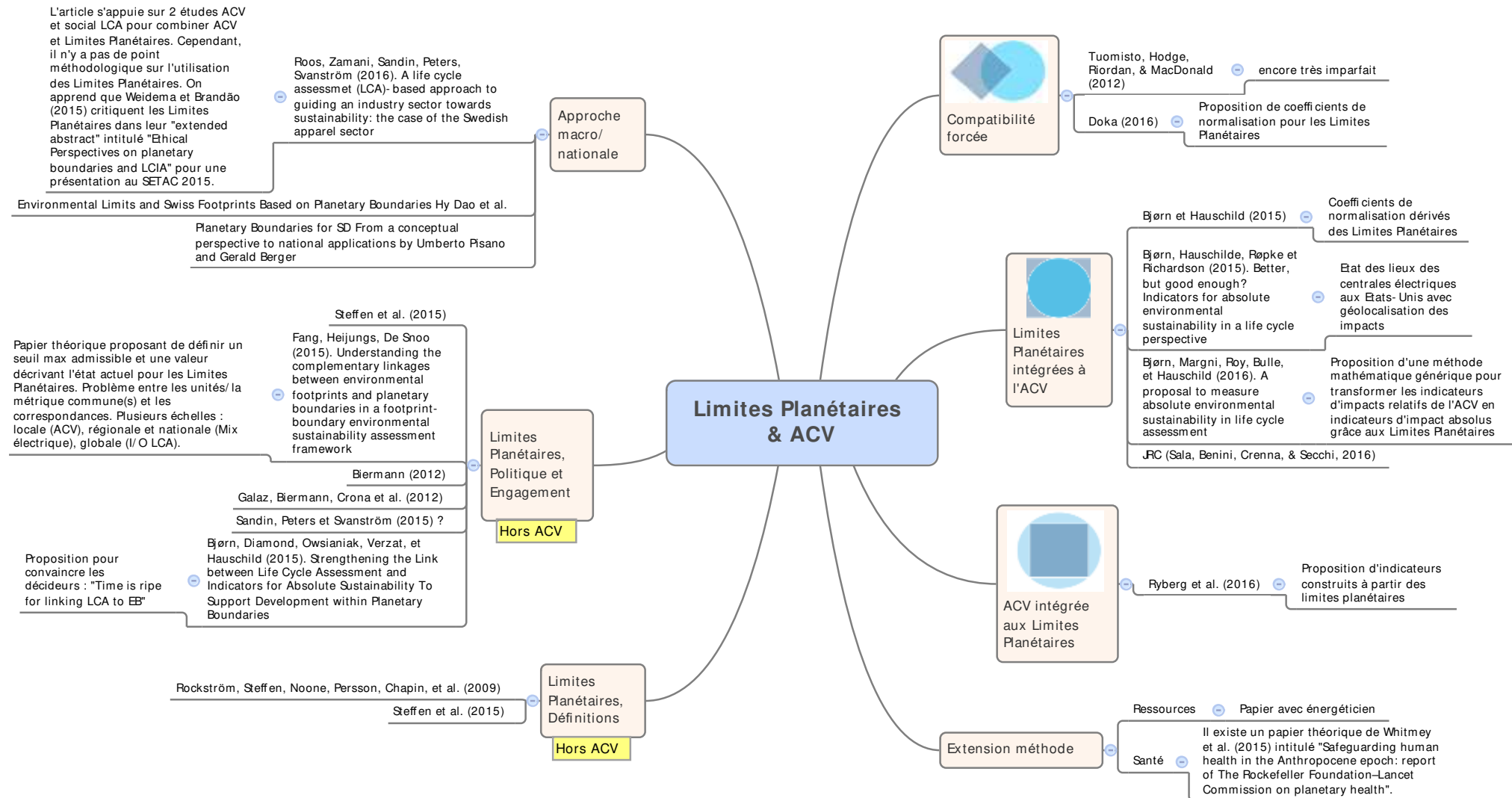


Figure 11 : Cartographie de la bibliographie sur le sujet ACV et limites planétaires

II. Hiérarchisation des enjeux environnementaux

La Partie I de l'étude a permis de mettre en évidence 12 enjeux environnementaux pour la société et les entreprises, et d'étudier la place de l'ACV et des Limites Planétaires pour identifier et évaluer ces enjeux. La Partie II de l'étude se focalise sur la question de la hiérarchisation de ces enjeux et sur le rôle que l'ACV et les Limites Planétaires peuvent jouer pour hiérarchiser ces enjeux.

1. Hiérarchisation des enjeux : quel point de vue et quelle méthode retenir ?

La question de la hiérarchisation des enjeux se pose dès lors que l'entreprise peut effectuer des choix dans sa stratégie environnementale, c'est-à-dire s'il reste des degrés de liberté en termes d'enjeux prioritaires et de performances à atteindre sur ces enjeux. Comme le montre la Figure 12 ci-dessous, voici un rapide aperçu des principales méthodes de hiérarchisation des enjeux disponibles

- Méthode de l'impact relatif sur la société ;
- Méthode de l'impact global sur la société ;
- Méthode de l'impact matériel sur l'entreprise.

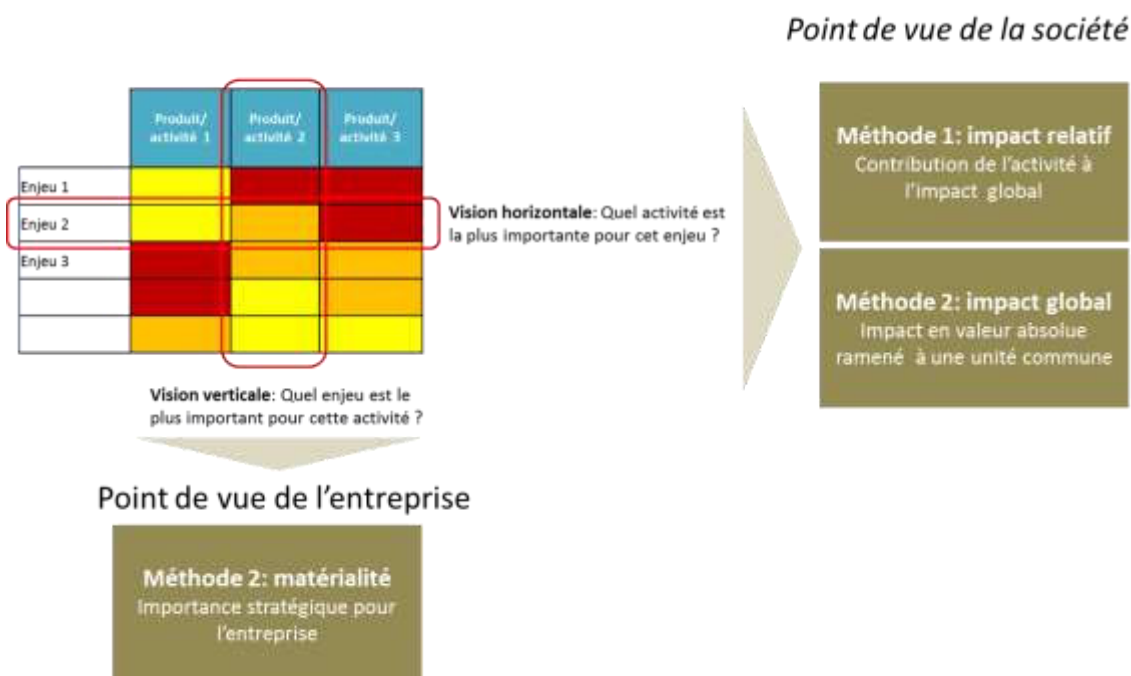


Figure 12 : Approches principales pour la hiérarchisation des enjeux environnementaux

➤ Approche de l'impact relatif sur la société

Cette approche se base sur l'analyse de la contribution d'une entreprise à l'impact global des activités humaines sur un enjeu. Ceci suppose que cet impact global des activités humaines soit connu et que des données statistiques et des indicateurs communs permettent d'attribuer cet impact à un secteur ou à une entreprise.

C'est particulièrement le cas de l'impact sur le changement climatique dont l'indicateur est indiscuté (émissions de GES exprimées en teqCO_2), et dont la répartition par acteur des origines de l'impact est bien étudiée. On peut alors raisonner en valeur absolue (X% des émissions de GES attribuables à tel secteur) ou en intensité de l'impact environnemental (émissions de GES par €m de chiffre d'affaires).

Cette approche peut être utilisée sur l'impact direct (mieux documenté), mais aussi sur l'impact indirect (amont et aval), ce qui permet de capturer l'impact global de l'activité considérée.

Voici ci-dessous une illustration de cette approche sur le secteur de la production de l'électricité. A noter que cette analyse présente de nombreuses limites car elle effectue la moyenne de différentes voies technologiques avec des enjeux environnementaux très différents. L'Annexe 2 présente les éléments détaillés relatifs à la construction de cette analyse.

Tableau 5 : Evaluation de l'impact relatif du secteur Production d'électricité sur les enjeux environnementaux, source analyse I Care

Contribution du secteur Production d'électricité à l'impact sur les enjeux environnementaux			
	Global	Amont : Extraction des ressources	Direct : Production d'électricité
Changement climatique			
Dégradation de la qualité de l'air			
Dégradation des ressources en eau			
Pollutions des sols			
Changement d'occupation des sols			
Epuisement ressources énergétiques			
Epuisement ressources non-énergétiques			
Production et gestion des déchets			
Risques industriels			
Augmentation des nuisances			
Epuisement des ressources			
Atteintes à la santé humaine			
Dégradation écosystèmes et biodiversité			

Note	Importance du secteur pour l'enjeu
1	Faible
2	Moyenne
3	Forte

Au final, cette approche permet d'identifier si le secteur ou l'entreprise est considéré comme un contributeur majoritaire sur chacun des enjeux (**vision horizontale**), mais ne permet pas vraiment de comparer les enjeux entre eux pour une même entreprise (**vision verticale**), d'où la nécessité d'autres approches abordées plus bas.

➤ Approche de l'impact global sur la société

Si on adopte le point de vue de l'ensemble de la société, il est nécessaire de quantifier avec une unité commune l'ensemble des impacts environnementaux d'une activité humaine (que ce soit à l'échelle d'une entreprise, d'un secteur, d'un produit ou d'un site).

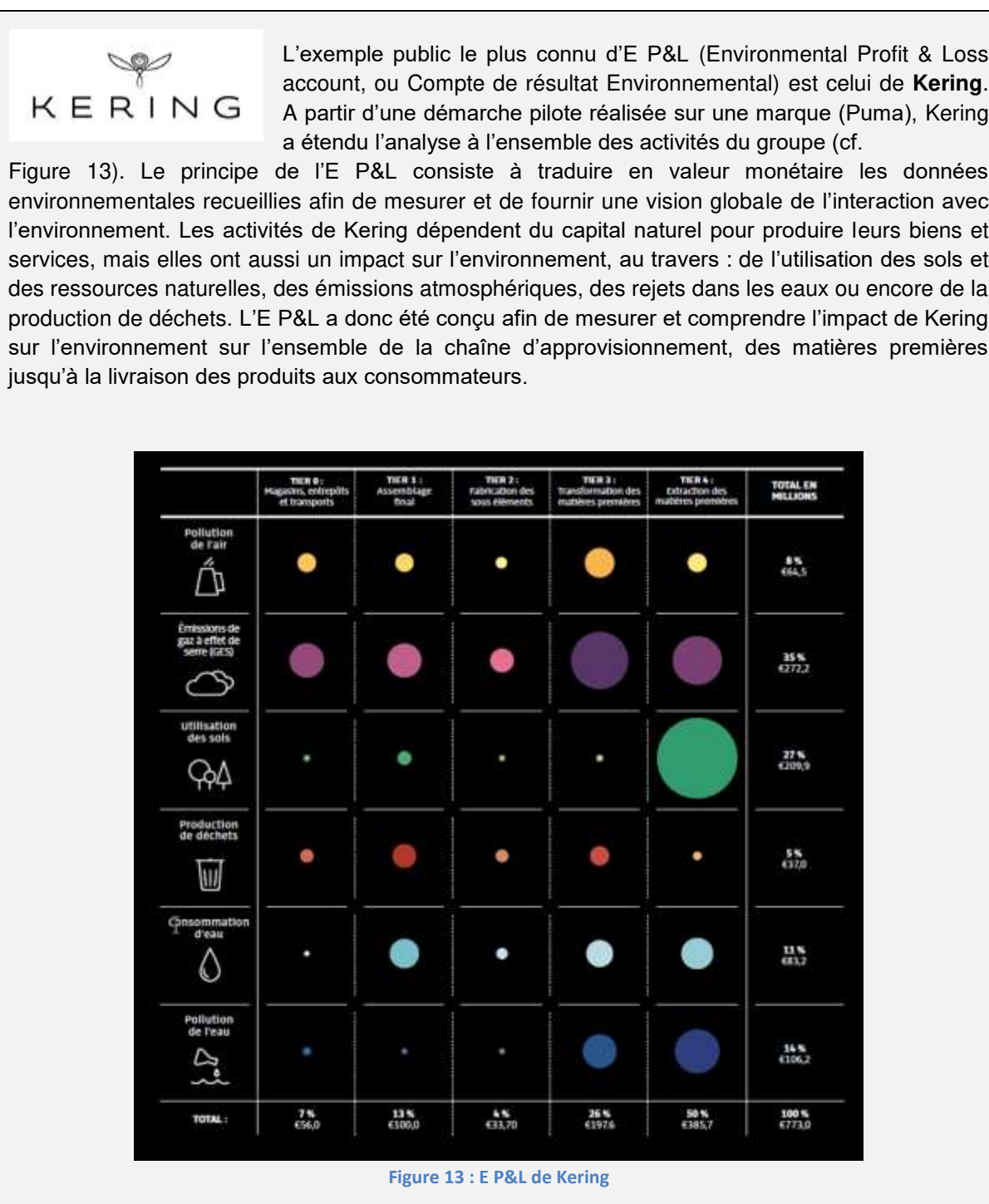
Faute de pouvoir définir de manière consensuelle un enjeu environnemental premier et agrégateur auquel se rapporteraient l'ensemble des autres enjeux, la principale méthode employée est celle de la **valorisation des externalités environnementales** (ou monétisation/monétarisation des impacts environnementaux), qui permet de convertir les impacts environnementaux dans une unité monétaire commune et de rendre compte de la valeur que la société donne aux enjeux environnementaux et aux impacts relatifs à ces enjeux. A noter qu'il existe plusieurs méthodes de valorisation des externalités, qui révèlent différents points de vue (préférences révélées, contraintes budgétaires, etc.) sans qu'aucune ne fasse l'objet d'un consensus, au niveau ACV.

Pour plus de détails sur les méthodologies utilisées pour la valorisation des externalités, se référer aux études SCORE LCA n°2012-03, intitulée « The Use of Monetary valuation of environmental

impacts in Life Cycle Assessment : State of the art, strengths and weaknesses » et n° 2015-04, intitulée « Monétarisation : application et cas pratiques ».

A travers cette méthode, la part plus ou moins importante de chacun des enjeux environnementaux dans la valorisation totale des impacts environnementaux de l'entreprise permet de hiérarchiser les enjeux environnementaux de l'entreprise **du point de vue de la société**.

Alors que ces méthodes sont couramment employées dans le cadre des études d'impact de grands projets, ce n'est que plus récemment qu'un certain nombre d'entreprises ont adopté ces méthodes à l'activité annuelle d'une entreprise sous le nom de Compte de Résultat Environnemental (**Environmental P&L**), monétarisant ainsi l'impact environnemental de l'ensemble de leurs activités (en combinant une approche site et une approche produit pour évaluer l'impact environnemental de l'entreprise).



L'analyse de cet E P&L permet de mettre en évidence les points suivants :

- La valorisation des impacts environnementaux représente un total de €773m, soit l'équivalent d'un coût externalisé de 8% du chiffre d'affaire de Kering ;
- Cet impact est principalement situé chez ses fournisseurs (93%), avec plus de 50% chez ses fournisseurs de rang 4 (matières premières) ;
- Les deux principaux impacts environnementaux, du point de vue de la valeur pour la société, sont le changement climatique et l'utilisation des sols (62% de l'impact total).

Source : <http://www.kering.com/fr/dev-durable/epl>

➤ **Approche de l'impact sur l'entreprise**

Si on adopte le point de vue de l'entreprise, il faut évaluer dans quelle mesure l'impact environnemental peut avoir une incidence sur l'entreprise.

○ **L'analyse de matérialité**

Pour cela, et sous l'impulsion des référentiels de reporting (GRI ou IIRC), les professionnels de la Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE) se sont emparés du concept financier de matérialité et l'ont adapté à la hiérarchisation des enjeux environnementaux et sociaux.

Dans le domaine financier, la matérialité est généralement considérée comme un seuil de significativité économique influençant la performance d'une entreprise et donc les décisions des responsables financiers. De la même manière, le GRI définit la matérialité comme le seuil au-delà duquel les aspects environnementaux ou sociaux sont suffisamment importants pour être signalés et traités par l'entreprise. Ainsi, tous les enjeux environnementaux n'ont pas la même importance pour une entreprise et l'analyse de matérialité doit permettre une priorisation relative entre les enjeux.

Le cadre d'analyse de matérialité proposé par le GRI repose notamment sur l'identification des enjeux qui ont un impact direct ou indirect sur la capacité de l'organisation à créer de la valeur (pour elle-même, pour ses parties prenantes ou pour la société toute entière). Pour réaliser cette analyse des enjeux, les acteurs de la RSE ont développé des « matrices de matérialité ». Ces matrices permettent une double priorisation de chaque enjeu à travers le point de vue interne (activités de l'entreprise) et externe (parties prenantes) de l'entreprise. Cette analyse, réalisée de manière **qualitative**, permet de confronter les points de vue internes et externes afin d'aboutir à une vision des enjeux prioritaires pour l'entreprise.

○ **L'impact sur les enjeux environnementaux mais aussi la vulnérabilité aux enjeux environnementaux**

Cette analyse de matérialité de l'impact sur l'entreprise permet en réalité de couvrir deux notions complémentaires, comme le montre la Figure 14.

- La matérialité de **l'impact environnemental de l'entreprise** qui fait que cet impact de l'entreprise devient lui-même impactant pour l'entreprise qui l'exerce, pour les différentes raisons mentionnées plus haut (coût, prise en compte par les parties prenantes, ...)
- La matérialité de la **vulnérabilité de l'entreprise à certains enjeux environnementaux**, indépendamment de l'impact propre de l'entreprise sur cet enjeu.
 - La plupart des enjeux environnementaux peuvent avoir des conséquences pour l'activité de l'entreprise, que ce soit à travers les process de l'entreprise ou le bien-être des employés: c'est le cas évidemment du changement climatique, mais aussi de la dégradation de la qualité de l'air, des ressources en eau etc....
 - Cette dualité de l'impact et de la dépendance aux enjeux environnementaux a été particulièrement théorisée pour l'enjeu « dégradation des services écosystémiques », à travers la méthode de diagnostic ESR (Ecosystem Services Review) qui propose de revoir de manière systématique les impacts et dépendances de l'entreprise

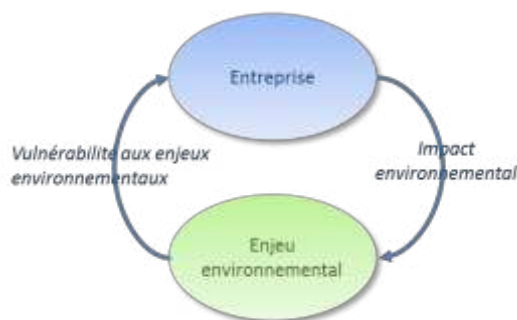


Figure 14 : interactions entre entreprise et enjeux environnementaux

De manière plus générale, cette analyse de matérialité, qu'il s'agisse de l'impact de l'entreprise ou de sa vulnérabilité par rapport aux enjeux, est aujourd'hui considérée comme un outil supplémentaire au service du Management du Risque de l'entreprise.

○ **Illustrations : secteur de la production d'électricité et cas de Lafarge Holcim**

En ce qui concerne le secteur de production de l'électricité, à défaut de réaliser une analyse complète de matérialité (via la réalisation d'une enquête), nous retiendrons ici comme déterminants de cette matérialité :

- Pour l'importance interne :
 - **La matérialité coûts** : l'enjeu environnemental se traduit-il par un impact coût significatif sur l'entreprise ? (Coût de l'énergie, des matières premières, de gestion des déchets)
 - **La matérialité réglementaire** : une réglementation sur cet enjeu contraint-elle l'activité de l'entreprise ?
- Pour l'importance externe :
 - **La matérialité client** : les préférences des clients vont-elles amener ceux-ci à privilégier les produits avec une performance environnementale supérieure sur cet enjeu ?
 - **La matérialité de réputation** : cet enjeu environnemental menace-t-il l'image de l'entreprise auprès de l'ensemble des parties prenantes (riverains, ONG, investisseurs, ...) ?

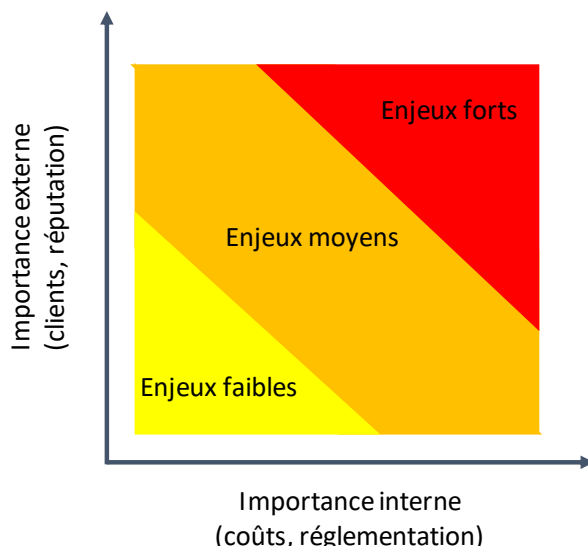


Figure 15 : Représentation schématique de l'analyse de matérialité, source I Care

Comme mentionné précédemment, cette démarche d'analyse de matérialité est illustrée avec deux exemples, sur un secteur (Production d'électricité) et une entreprise, LafargeHolcim.

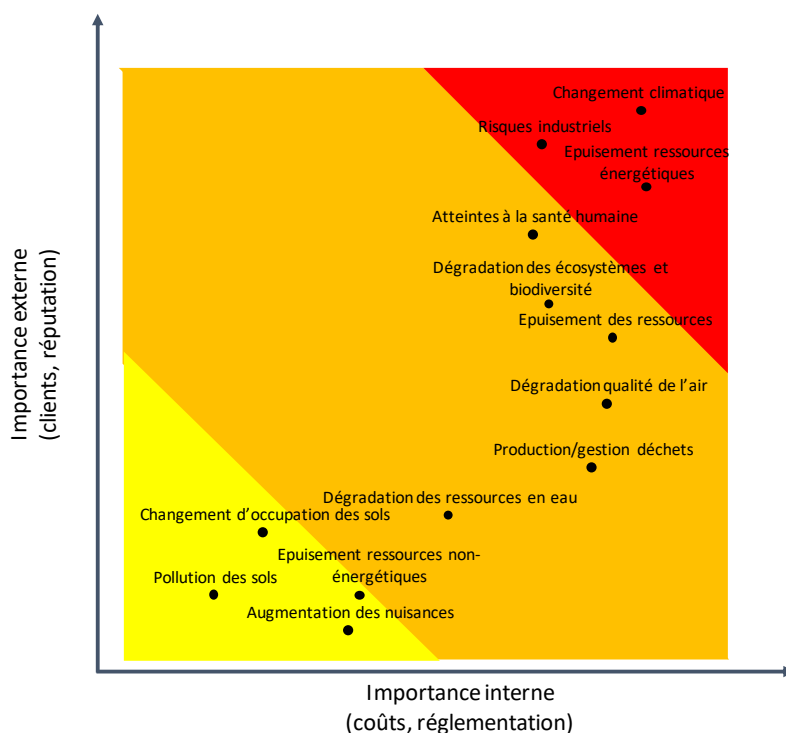


Figure 16 : Illustration de l'analyse de matérialité pour le secteur Production d'électricité (I Care & Consult, 2017)

Pour le secteur Production d'électricité, l'analyse de matérialité réalisée sur les enjeux environnementaux met en évidence les principaux enjeux qui impactent actuellement les entreprises du secteur, à savoir le changement climatique, l'épuisement des ressources énergétiques et les risques industriels. Si la matérialité du changement climatique est historiquement d'origine réglementaire, elle se transforme aujourd'hui en matérialité client avec la croissance d'une demande pour une électricité bas carbone. En ce qui concerne l'épuisement des ressources énergétiques, la matérialité est une matérialité coût (coût des combustibles thermiques notamment) mais aussi réglementaire (réorientation des aides publiques et des investissements privés vers la production d'énergie renouvelable) qui mettent en évidence cet enjeu. Enfin la préoccupation de limiter le risque industriel fait aujourd'hui peser une matérialité réglementaire et coût de plus en plus forte sur le secteur, notamment pour les moyens nucléaires (cf. Annexe 2 pour des éléments détaillés sur l'évaluation de la matérialité).



La contrainte réglementaire est un élément matériel contraignant pour une entreprise qui fait ressortir certains enjeux environnementaux. Pour LafargeHolcim, leader mondial des matériaux de construction, de nombreux challenges environnementaux sont à relever avec, en premier lieu, la réduction des émissions de CO₂ lors de la production

de ciment. Dans leur processus de gestion des risques, principalement au niveau entreprise, la gestion du « risque climat » apparaît donc comme un élément prépondérant. LafargeHolcim a ainsi identifié trois éléments liés au risque climatique qu'il leur est nécessaire de prendre en compte dans le management global, à savoir :

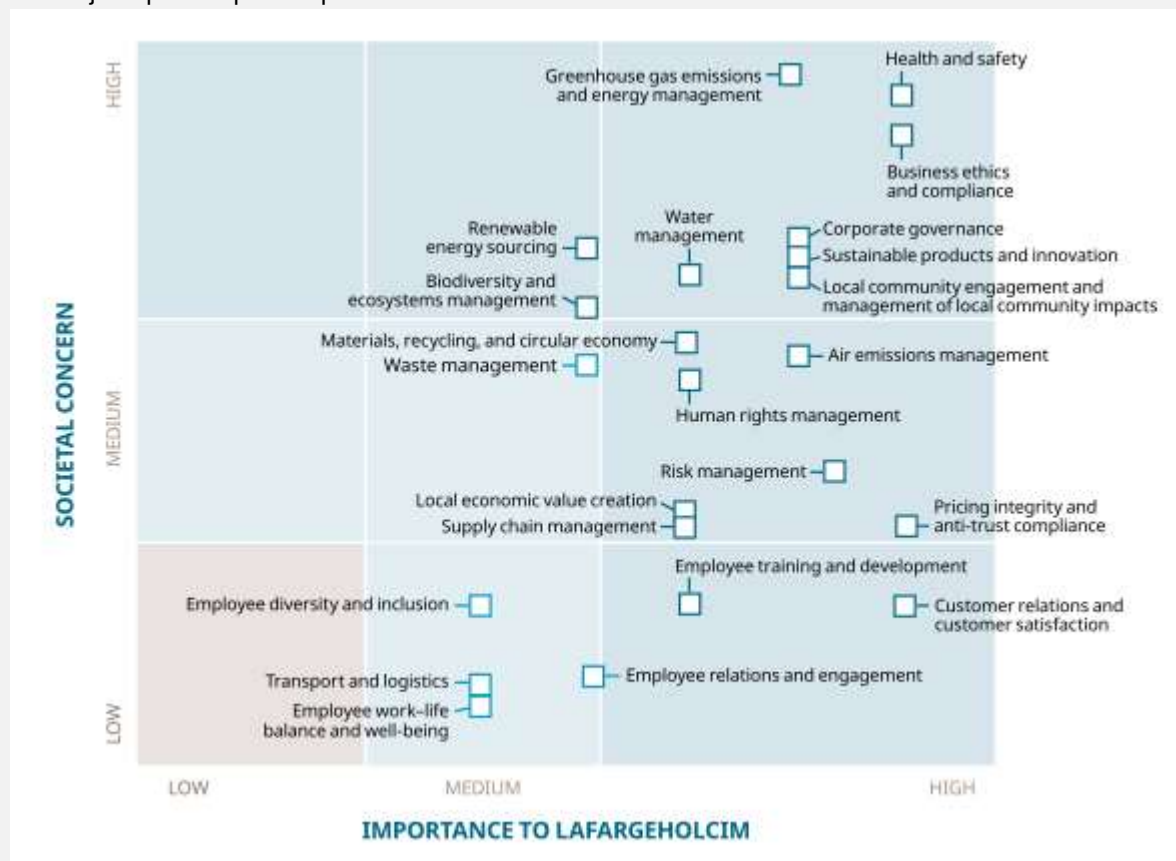
- Fluctuation du prix du carbone, qui peut avoir un impact économique significatif sur l'entreprise ;
- Risques physiques liés aux aléas climatiques, comme le manque d'eau dû à des conditions météorologiques extrêmes ;
- Risques juridiques et de litiges dans certains pays, liés à leurs émissions de CO₂.

Cependant, l'évolution de la prise en compte des enjeux environnementaux et socio-économiques

dans les stratégies d'entreprises a poussé LafargeHolcim à développer un processus d'évaluation bisannuel de la matérialité des enjeux liés au développement durable pour s'assurer que les risques et opportunités soient correctement priorisés dans la stratégie du groupe, et notamment dans leur « Plan 2030 ». Ainsi, le processus de réalisation de la matrice de matérialité repose sur cinq étapes principales :

- (1) Identifier les enjeux liés au développement durable pour le secteur d'activité et les tendances ;
- (2) Définir une liste exhaustive d'enjeux ;
- (3) Effectuer une enquête auprès des parties prenantes externes sur l'importance des enjeux ;
- (4) Effectuer une enquête auprès des parties prenantes internes (Directeurs nationaux, experts développement durable, etc.) sur l'importance des enjeux ;
- (5) Evaluer le score de matérialité des enjeux et définir une priorisation.

Le résultat de ce processus est représenté sous la forme d'un graphique à deux axes, où l'abscisse représente l'importance de l'enjeu pour LafargeHolcim et l'axe des ordonnées représente l'importance de l'enjeu pour la société. La notation sur l'axe « Sociétal » représente un combinaison de la revue des pratiques des pairs, des standards du secteur ainsi que l'évaluation de l'importance des enjeux par les parties prenantes externes.



Il ressort de cette analyse que le risque climat, identifié comme prioritaire par LafargeHolcim, est également tout en haut des préoccupations sur l'axe sociétal. Le deuxième enjeu environnemental apparaissant comme matériel est le management de l'eau, qui est également intégré à leur « Plan 2030 ». Enfin, le troisième pilier qui ressort de leur politique environnementale repose sur l'enjeu « Economie circulaire », qui apparaît plus important en interne pour LafargeHolcim que l'enjeu relatif à la conservation de la biodiversité (plus important sur l'axe sociétal que l'enjeu économie circulaire). Cependant, même si la biodiversité n'apparaît pas comme un pilier de leur politique, leur rapport annuel présente un indicateur de suivi du nombre de carrières présentant des plans de management et de conservation de la biodiversité.

Source : http://www.lafargeholcim.com/sites/lafargeholcim.com/files/atoms/files/06132016-press-lafargeholcim_materiality_review_2015_v2.pdf

2. Apport de l'ACV à la hiérarchisation des enjeux

Les méthodes ACV apparaissent comme un outil permettant de faciliter la hiérarchisation des enjeux, et ce pour les 3 différentes approches identifiées, comme le résume la Figure 17.

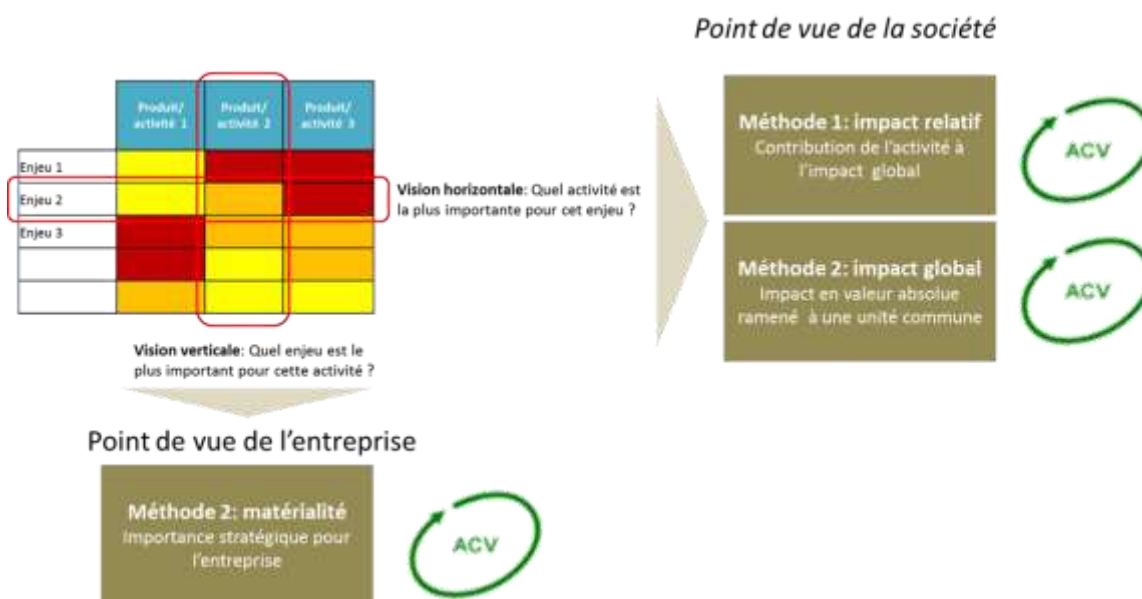


Figure 17: Synthèse de l'apport de l'ACV aux méthodes de hiérarchisation

➤ L'ACV et la « multiplication » des impacts environnementaux

Si l'analyse de Cycle de Vie a l'avantage de pouvoir « automatiquement » quantifier les impacts environnementaux d'un produit sur les principaux enjeux environnementaux, elle a le défaut de sa qualité, à savoir de fournir à l'utilisateur une information très (trop) riche à travers des indicateurs d'impact très nombreux, représentant chacun un enjeu environnemental différent, rendant l'interprétation d'un résultat d'ACV complexe, voire très difficile pour un non expert.

➤ L'ACV comme outil de « normalisation » permettant de faciliter la hiérarchisation des enjeux pour l'approche de l'impact relatif

Pour faciliter l'interprétation des résultats d'une ACV et permettre une hiérarchisation entre les enjeux environnementaux, il est possible de ramener les résultats ACV d'un produit à la pollution totale sur une zone géographique. Cette étape, appelée normalisation, transforme chaque résultat d'indicateur en le divisant par une valeur de référence, par exemple la valeur de la pollution totale par habitant selon le même indicateur. Cela permet donc d'identifier, pour chaque produit, les enjeux environnementaux pour lesquels le produit a une contribution plus ou moins importante par rapport à l'ensemble des activités et produits de la zone considérée.

A titre d'illustration, la figure suivante présente les résultats d'ACV normalisés de la fabrication d'un mètre carré de panneau PV, par rapport à l'impact moyen au niveau mondial d'un habitant sur l'année 2010.

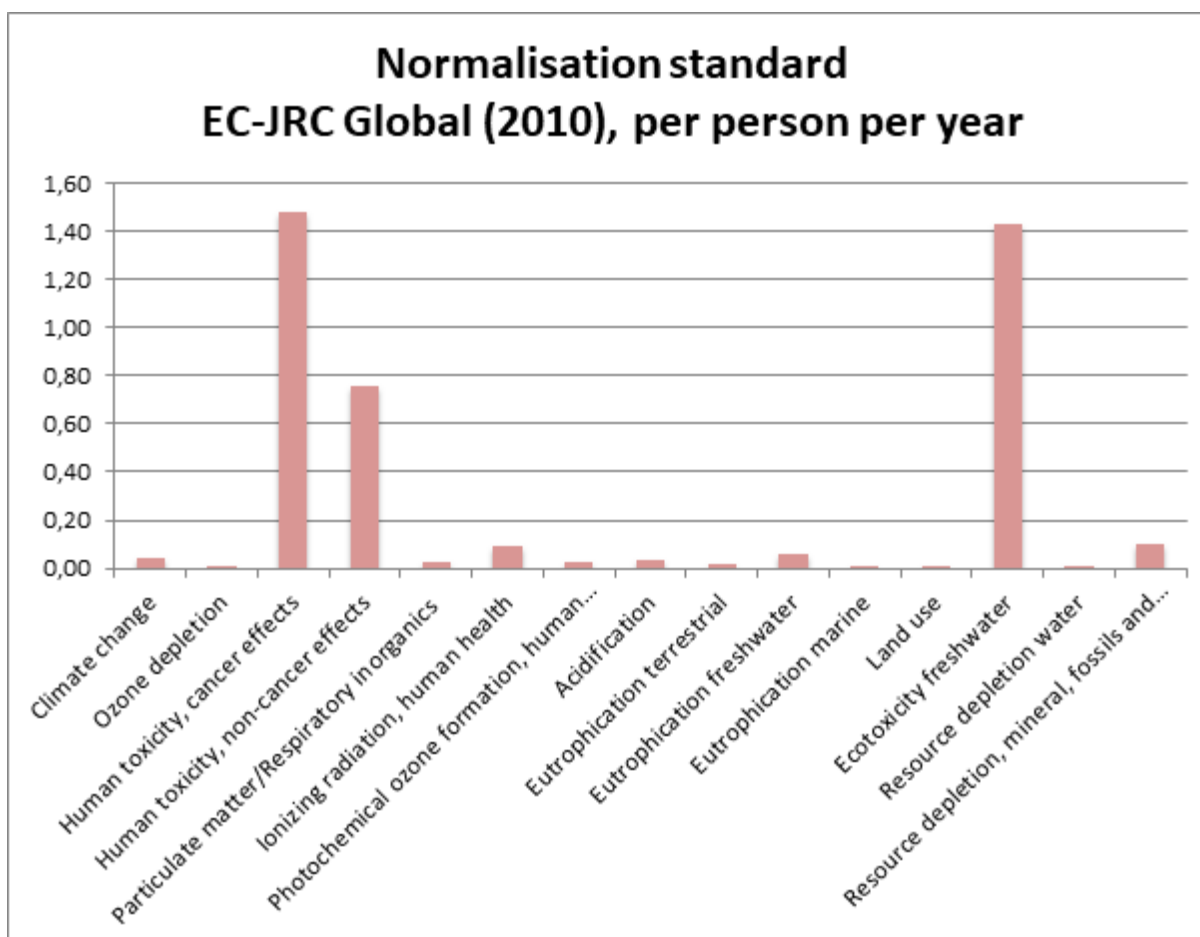


Figure 18 : Résultats d'ACV normalisé pour la production d'1m² de panneau solaire photovoltaïque

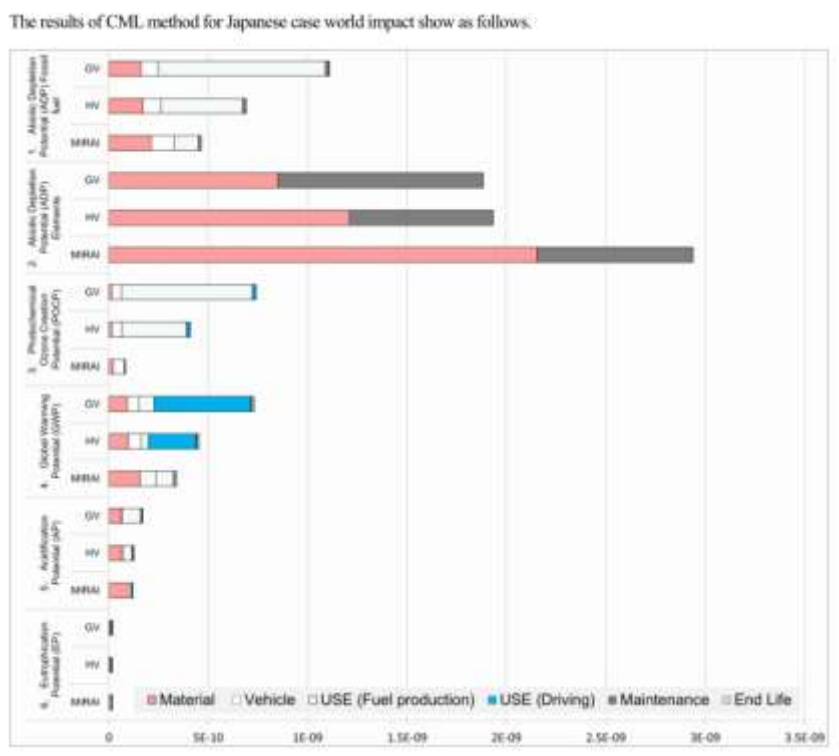
Il ressort de cette analyse normalisée que la production d'1 m² de panneau photovoltaïque, est particulièrement contributrice (en rapport avec les impacts des autres activités) sur les impacts de Toxicité humaine et d'Ecotoxicité. Ainsi, la production d'un mètre carré de panneau entraîne 1,5 fois plus d'émissions de substances contribuant à la toxicité humaine (cancer) que la pollution européenne totale ramenée à un habitant.



Cette approche de normalisation peut donc mettre en évidence des enjeux environnementaux en les ramenant à une même échelle. Cette étape étant optionnelle dans la norme ISO 14044, la normalisation peut être utilisée lors de la phase d'interprétation, mais ces résultats sont peu présentés par les entreprises. Toyota, constructeur automobile japonais oscillant entre la première et la deuxième place du classement mondial des constructeurs (en nombre d'unités vendues), présente ce type d'évaluation dans les ACV publiques disponibles sur son site internet.

Toyota se distingue par son rôle de pionnier sur le marché de l'automobile hybride, avec le lancement de la première Prius en 1997. En tant qu'entreprise engagée dans la réduction des impacts environnementaux, Toyota a adopté depuis de nombreuses années une approche cycle de vie dans l'évaluation de ses produits, c'est-à-dire de l'extraction des matières premières à la fin de vie des véhicules. Ainsi, dans le document de présentation de leur démarche « Life Cycle Zero CO₂ emissions challenge », Toyota indique clairement sa volonté de travailler sur l'ensemble du cycle de vie des véhicules. Toyota présente également dans ce document le détail de ses émissions de GES au niveau du Scope 3 pour justifier cette approche holistique (le scope 3 regroupe toutes les émissions indirectes de GES non liées aux consommations énergétiques). Dans le cas de Toyota, l'utilisation des véhicules représente plus de 80% des émissions du scope 3.

A ce titre, Toyota a conduit en 2015 des ACV (soumises à revue critique) sur cinq gammes de produits et diffusées sur le site internet du groupe. Dans l'ACV du modèle Mirai (voiture hydrogène), Toyota effectue notamment une analyse comparative avec deux autres véhicules (une voiture essence et un modèle hybride). L'élément qui nous intéresse ici réside dans l'analyse des résultats proposée par Toyota. En effet, au-delà de la simple présentation des indicateurs ACV traditionnels, Toyota propose les résultats sous la forme normalisée. Sous cette forme, l'enjeu environnemental qui ressort est clairement l'utilisation de ressources abiotiques et le véhicule Mirai est moins performant sur cet aspect (ces résultats sont présentés de manière tout à fait transparente). Toyota explique d'ailleurs que, sous la forme normalisée, l'indicateur sur les ressources est beaucoup plus contributeur à l'impact que le changement climatique, indicateur qui représente pourtant le focus principal des constructeurs automobiles. Cet impact sur les ressources est principalement dû aux terres rares et particulièrement au Platine.



Source : Toyota – Mirai-LCA report- 2015, p.26

➤ L'ACV comme base de données facilitant la monétarisation et donc la hiérarchisation par l'approche de l'impact absolu

L'ACV peut aussi être couplée avec une approche de monétarisation des impacts environnementaux, telle que décrite dans la première section de cette partie. Ainsi, les indicateurs d'impacts de l'ACV, ou les flux, peuvent être multipliés par un facteur monétaire, permettant d'obtenir une valeur économique globale. Tout en étant conscient des limites et de la variabilité des méthodes de monétarisation (cf. précisions page 49 et le rapport SCORE LCA sur le sujet), il est donc possible d'analyser quel enjeu environnemental représente la part la plus importante de cet impact monétaire, ce qui est une façon de hiérarchiser les enjeux environnementaux.



Dans le cas de Kering, présenté plus haut dans ce rapport, les principales activités ont été modélisées à l'aide de base de données « classiques » reconnues de l'ACV afin de pouvoir, dans un premier temps, évaluer l'impact environnemental de l'ensemble de sa chaîne de valeur (impact direct et impact de toute la supply chain). A partir de ces éléments, les flux et les impacts environnementaux ont ensuite été « monétarisés » (multiplication par une valeur monétaire) pour aboutir à l'EP&L décrit précédemment.

➤ **Les indicateurs de prélèvement de ressources : un indicateur de détection de la vulnérabilité aux ressources et donc d'impact pour l'entreprise**

Les indicateurs d'ACV permettent de tracer l'ensemble des flux entrants et sortants. Une activité étant, par nature, dépendante de l'ensemble des flux entrants dans le processus de cette activité, elle peut être vulnérable au tarissement ou au renchérissement de ces ressources. A ce titre, l'utilisation des indicateurs ACV de consommation d'eau, d'épuisement des ressources énergétiques ou des indicateurs d'épuisement des ressources non énergétiques (pondérées par la rareté des ressources) peut être utile pour détecter une vulnérabilité potentielle à l'une de ces ressources. Au-delà des indicateurs « midpoint », il peut être utile de se référer directement aux flux élémentaires entrants, pour permettre de croiser ces flux avec une évaluation du risque associé à ces ressources qui soit plus détaillée et pertinente que les coefficients disponibles dans les méthodes ACV actuelles (cf. fiche épuisement des ressources non énergétiques). Les informations issues de l'ACV peuvent donc intervenir dans une stratégie de gestion des risques.

3. Apport des Limites planétaires à la hiérarchisation des enjeux : un changement dans l'ordre des priorités ?

Les éléments de hiérarchisation apportés traditionnellement par l'ACV, à travers la normalisation, ne permettent pas aujourd'hui de fournir des réponses quant à la durabilité absolue d'un produit, c'est-à-dire par rapport aux seuils physiques de la planète. Dans ce contexte, la définition du nouveau concept des Planetary Boundaries semble apporter de nouvelles pistes de réflexion quant à l'évaluation des impacts environnementaux et peut potentiellement modifier la hiérarchisation des enjeux au niveau de la stratégie d'entreprise, comme le synthétise la Figure 19.

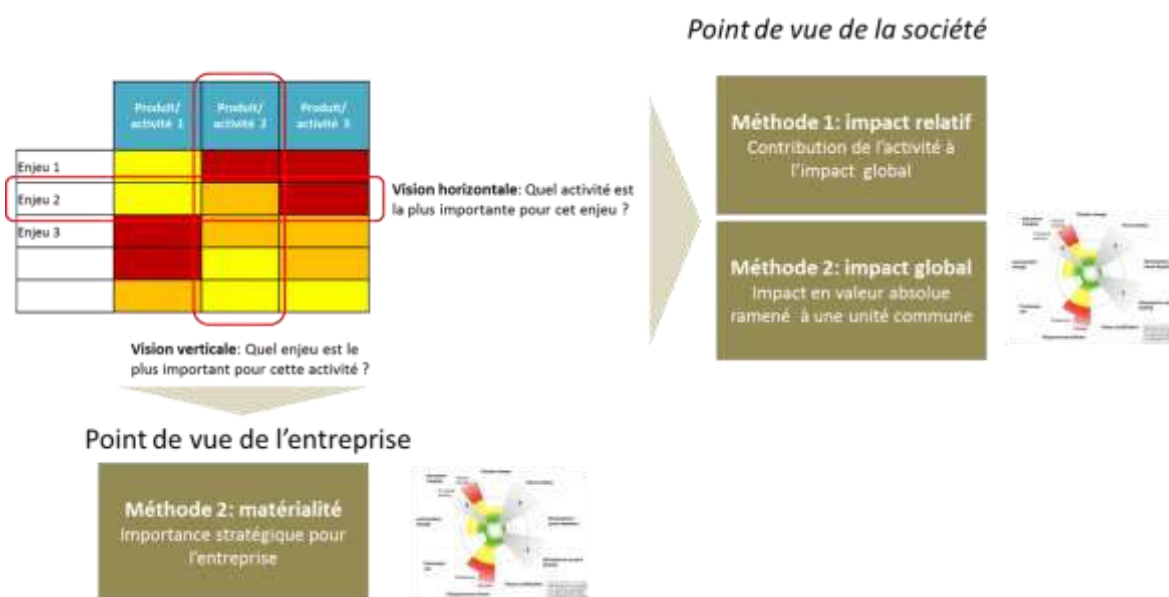


Figure 19: Synthèse de l'apport des Limites Planétaires aux méthodes de hiérarchisation

3.1. Un changement de point de vue

Comme cela a été mentionné plus haut à propos des « aires de protection », la perspective des Limites Planétaires diffère radicalement de l'approche classique des dommages en ACV. En effet, s'il est possible de pondérer de façon subjective la préservation de la santé humaine par rapport à celle des écosystèmes biotiques ou abiotiques, le point de vue proposé par les Limites Planétaires se veut objectif : le but étant de conserver l'écosystème Terre dans un état similaire à l'Holocène, les différentes dimensions d'évolution de l'écosystème Terre s'ordonnent en fonction de leur dépassement ou de leur distance à la valeur de seuil, susceptible de le faire basculer dans un nouvel état.

Notons toutefois que la hiérarchisation des Limites Planétaires n'est pas aussi simple que cela : si l'étude du dépassement des seuils permet d'identifier quelles sont les limites qui ont été dépassées et de combien, et à quelle distance du seuil l'écosystème Terre se trouve pour les autres, la traduction de ces informations en rang pour les différentes limites, voire en une pondération, laisse libre champ à la subjectivité : toutes les limites dépassées ont-elles le même poids ? Les limites doivent-elles être pondérées par leur distance au seuil, de façon linéaire ? Ou exponentielle ? Ou selon toute autre fonction ? Les nuances introduites par Steffen et al. (2015) qui définissent le changement climatique et l'évolution de l'intégrité de la biosphère comme deux limites clés - « core boundaries » - semblent indiquer que toutes les limites ne seraient pas aussi importantes. Dans ce cadre, le rang des limites pourrait être défini en fonction de leur distance au seuil et de leur contribution potentielle aux limites-clés.

Bien que les Limites Planétaires apparaissent comme des limites « physiques » ou « biochimiques », l'objectif de la démarche demeure la préservation du bien-être des populations humaines : l'Holocène est le seul état de l'écosystème Terre dont on soit sûr qu'il permette l'épanouissement des hommes, puisque c'est dans cet état et seulement celui-là que l'espèce humaine s'est développée.

Dans cette perspective, le prolongement des Limites Planétaires vers la santé humaine apparaît comme un prolongement logique. En revanche, l'extension à l'épuisement des ressources pourrait être plus difficile à justifier, dans la mesure où une adaptation des économies et des modes de vie pourrait toujours intervenir pour assurer un bien-être des populations humaines fondé sur d'autres ressources que celles mobilisées en grandes quantités depuis la révolution industrielle – les âges de la pierre taillée, du fer, ou « du nylon » se sont bien succédés sans que l'humanité ne disparaisse.



Mars, multinationale de l'agroalimentaire (confiserie, nourriture pour animaux, riz, boissons, etc.) s'est intéressée à la problématique de la prise en compte des Limites Planétaires dans sa stratégie environnementale. Sur les 9 limites identifiées (Rockström, Steffen, Noone, Persson, Chapin, et al., 2009), Mars indique se concentrer sur les domaines où la réduction de l'impact de ses activités peut avoir une grande influence, et qui s'avère être des domaines où les limites sont atteintes (à minima localement). Les trois piliers de sa stratégie reposent donc principalement sur la lutte contre :

- Changement climatique ;
- Perte de biodiversité due au changement d'occupation des sols ;
- Dégradation des ressources en eau.

Mars utilise donc les limites planétaires pour, à la fois, prioriser et focaliser son effort sur les enjeux où la limite est dépassée, mais aussi pour avoir le même niveau d'ambition quant à ses objectifs de réduction de l'impact. Les limites planétaires représentent donc un cadre d'analyse commun dans lequel les entreprises essayent d'inscrire tous leurs objectifs quantifiés de réduction d'impact.

Les trois enjeux mis en évidence par l'analyse de l'impact des activités de Mars (changement climatique, changement d'occupation des sols et dégradation des ressources en eau) sont également des enjeux révélés par l'analyse de matérialité. En effet, en s'intéressant aux 10 enjeux environnementaux et sociaux particulièrement matériels pour Mars, on retrouve le changement climatique, l'eau et l'agriculture durable. A partir de ces deux éléments (impacts et matérialité), Mars a donc établi un plan d'action avec des objectifs chiffrés à atteindre dans un temps relativement court (horizon 2015-2020 et 2040).

Les objectifs sont ambitieux et les limites planétaires semblent donc bien influencer les efforts de réduction d'impact engagés. Par exemple, les objectifs de réduction d'utilisation d'eau sont plus importants dans les zones soumises à un stress hydrique important. En effet, bien que de manière globale la limite planétaire relative à l'utilisation d'eau ne semble pas dépassée, la prise en compte du critère de stress hydrique à l'échelle locale relève d'une étude relativement fine de cette problématique ce qui a permis de faire ressortir cet enjeu au niveau de l'entreprise Mars.

Concernant le changement climatique et le changement d'occupation des sols, Mars a également une

politique volontariste par rapport à ces deux enjeux environnementaux. Concernant le changement climatique, Mars a pour objectif de ne plus émettre de GES (zéro émission, scope 1 et 2) à horizon 2040, avec une étape intermédiaire de réduction de 40% des émissions à horizon 2020. Enfin, concernant le changement d'utilisation des sols, Mars a mis en place une politique de prévention de la déforestation avec l'identification des matières premières à risque : huile de palme, bœuf, papier/carton et soja. Bien que ces cultures ne présentent pas un impact important dans l'analyse de matérialité, contrairement au cacao, la stratégie de Mars s'est tout de même portée sur ces cultures avec un traçage de l'ensemble de la chaîne de valeur et un objectif de zéro déforestation de forêts primaires.

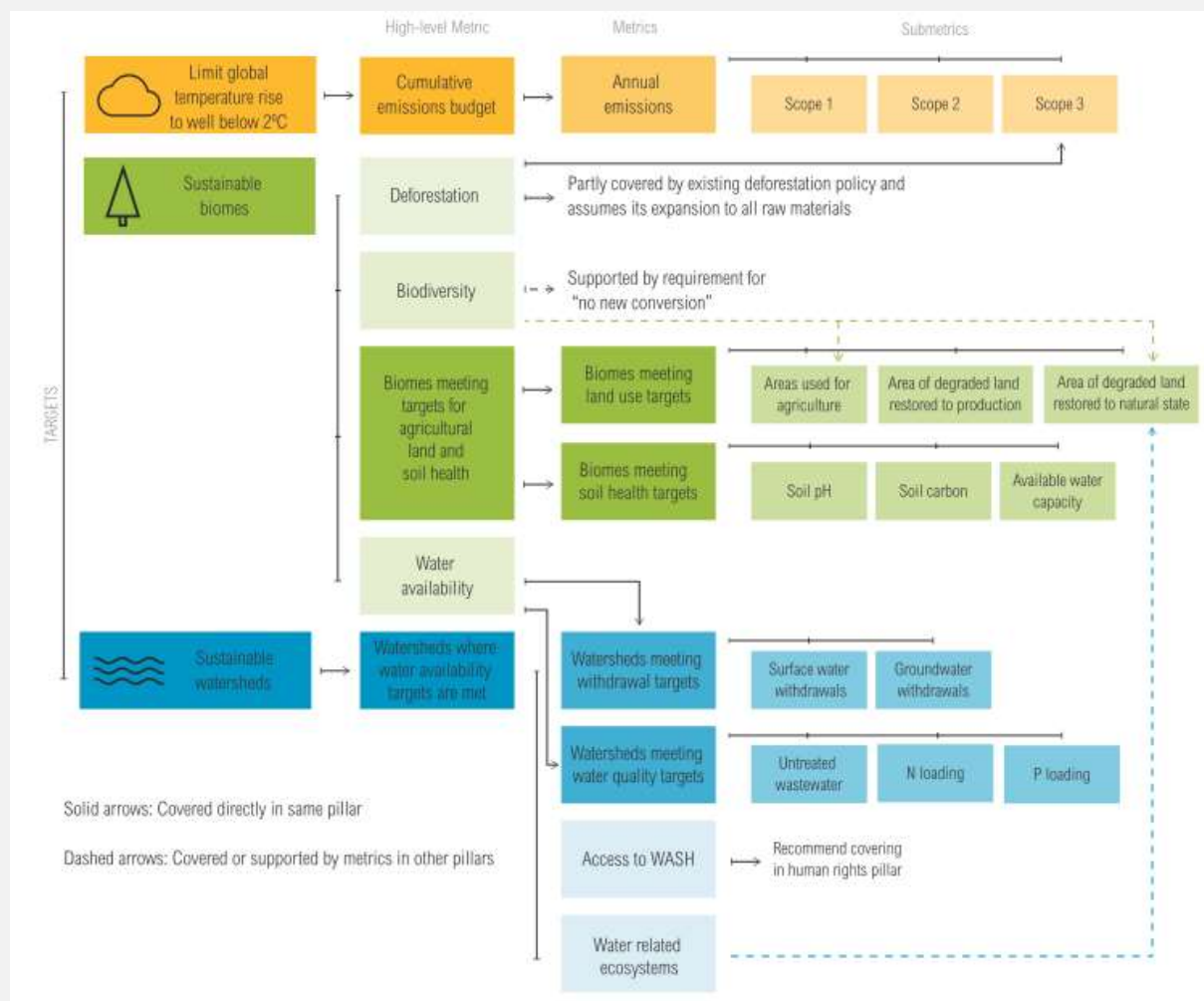


Figure : Mars – Ecosystem metrics for GHG, Land, Water (WRI, 2016)

Ainsi, avec ces objectifs très ambitieux (zéro émission de GES, zéro déforestation), Mars s'engage à diminuer ses impacts environnementaux vis-à-vis des seuils planétaires, en se fixant des jalons à atteindre à intervalle régulier (horizon 2020 et 2040). Les limites planétaires ont donc apporté à Mars des éléments quantitatifs importants pour la détermination des objectifs de réduction de l'impact, ce qui leur a permis d'avoir la même ambition de réduction pour l'ensemble des problématiques traitées.

Source : www.mars.com, et la publication commune WRI-Mars – « From doing better to doing enough: anchoring corporate sustainability targets in science », 2016

3.2. Une prise de conscience de la vulnérabilité du système Terre

Le concept des Limites Planétaires met l'accent sur la fragilité du système Terre et sur le risque qui pèse sur sa stabilité. Dans ce sens, il renforce l'attention des entreprises sur leur vulnérabilité aux enjeux environnementaux, et ce au-delà de la vulnérabilité au changement climatique qui est l'enjeu qui fait l'objet de la sensibilisation la plus large.



Le secteur de la production et de la consommation de vêtements fait face à d'importants enjeux environnementaux : le coton est par exemple extrêmement consommateur d'eau, ou les produits

chimiques utilisés en usine augmentent les risques de pollution des ressources en eau aux alentours.

Conscient de ses dépendances et de ses impacts, Houdini, entreprise suédoise de vêtements de sport, a étudié en 2016 le concept des Limites Planétaires (Houdini, 2015). En collaboration avec Albaeco, une ONG proche du Stockholm Resilience Center (SRC), l'entreprise a pour objectif de créer une méthodologie open-source pour analyser les entreprises au prisme du concept de Limites planétaires

Pour Houdini, la méthode des Limites Planétaires apparaît comme pertinente pour continuer à préserver et surtout renforcer l'écosystème dont l'entreprise est dépendante, au-delà d'une simple réduction de ses impacts négatifs.

Source : <https://houdinisportswear.com/en/sustainability/planetary-boundaries>

3.3. Un changement de hiérarchisation des enjeux

Afin de mettre en évidence les différentes méthodes de hiérarchisation d'enjeux environnementaux au niveau d'un produit et de tester l'influence des Planetary Boundaries sur cette hiérarchisation, nous allons comparer dans cette partie, pour un panneau solaire photovoltaïque et un véhicule électrique :

- Les résultats d'ACV normalisés par rapport à l'impact global ;
- Les résultats d'ACV normalisés par rapport aux Planetary Boundaries ;
- Les résultats d'une analyse de matérialité environnementale.

Afin de réaliser cette comparaison et tester l'effet d'un changement de facteurs de normalisation, les résultats de trois études ACV ont été normalisés et interprétés.

➤ Illustration sur le panneau solaire photovoltaïque

La démarche de comparaison des méthodes de hiérarchisation peut donc être appliquée au cas du panneau solaire photovoltaïque. A partir des éléments de méthodes définis pour l'analyse de matérialité, l'importance interne et l'importance externe de chacun des 12 enjeux environnementaux a été estimée. Ces éléments sont reportés dans la matrice ci-dessous.

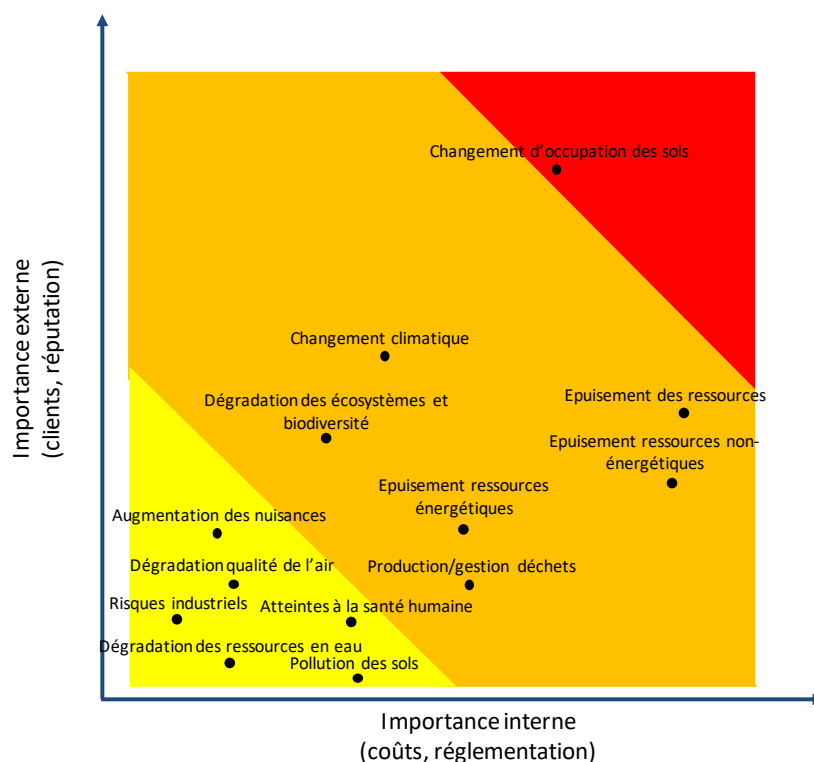


Figure 20 : Illustration de l'analyse de matérialité pour le panneau photovoltaïque

Afin de présenter des résultats normalisés, selon la méthode du JRC et selon la méthode des limites planétaires établie par Bjoern et Hauschild, nous utilisons les facteurs de normalisation diffusés par le JRC après étude de différentes méthodes existantes. Nous avons utilisé, comme données d'entrée, les résultats d'EICV caractérisés, calculés selon les indicateurs ILCD. Ces résultats caractérisés sont ensuite divisés par les facteurs de normalisation pour obtenir les résultats normalisés souhaités. Compte-tenu des indicateurs d'impacts choisis par Bjoern et Hauschild, seules 6 catégories ILCD étaient à l'origine compatibles. Toutefois, le JRC a échangé avec ces derniers pour calculer des facteurs de normalisation pour 4 catégories d'impacts supplémentaires. Nous avons alors mis à jour ces facteurs afin d'obtenir des résultats normalisés sur 9 catégories.

Dans le détail, le calcul de normalisation selon les limites planétaires (LP) s'effectue comme suit :

- 1- Calcul des impacts caractérisés selon les indicateurs ILCD ($EICV_{ILCD}$) ;
- 2- Pour chaque catégorie, la valeur de l'impact caractérisé est divisée par le facteur de normalisation limites planétaires (NF) :
 - a. Ce facteur de normalisation est obtenu en divisant la capacité (CC) par la population mondiale (P) ;
 - b. Les capacités sont obtenues à partir des seuils ;
 - c. « Les seuils sont des valeurs numériques liées à des variables de contrôle, qui sont elles-mêmes des indicateurs numériques de la structure, ou du fonctionnement des systèmes naturels. » (traduit de Bjoern et Hauschild, 2015). Les seuils utilisés par Bjoern et Hauschild sont issus de la littérature scientifique.

La formule peut alors s'écrire de cette manière :

$$LP = EICV_{ILCD} / CC * P$$

Voici l'exemple des limites planétaires appliquées à la catégorie changement climatique :

- L'un des seuils retenus par Bjoern et Hauschild est de 350 ppm (concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère) ;
- A partir de ce seuil, la limite planétaire est calculée pour être ramenée en kg de CO₂ émis dans l'atmosphère (horizon temporel de 100 ans) grâce notamment à l'utilisation du modèle

GEOCARB (détail du calcul dans l'*Electronic Supplementary Material* de Bjoern et Hauschild, 2015). La limite planétaire est égale à $6,81 \cdot 10^{12}$ kg CO₂ eq ;

- Cette valeur est ensuite divisée par la population mondiale ($6,91 \cdot 10^9$ retenue par Bjoern et Hauschild), ce qui donne une capacité de 985 kg CO₂ eq/personne/an ;
- Pour l'exemple, considérons la valeur d'impact du véhicule électrique sur le changement climatique, elle est de $1,16 \cdot 10^4$ kg CO₂ eq selon l'indicateur ILCD ;
- $LP = 1,16 \cdot 10^4 / 6,81 \cdot 10^{12} \cdot 6,91 \cdot 10^9 = 1,17 \cdot 10^{-1}$ personne/an.

Les résultats extraits de la base de données Ecoinvent ont été normalisés. Les figures suivantes présentent respectivement les résultats d'ACV normalisés par rapport à l'impact global et les résultats d'ACV normalisés à partir des facteurs proposés par Bjoern et Hauschild

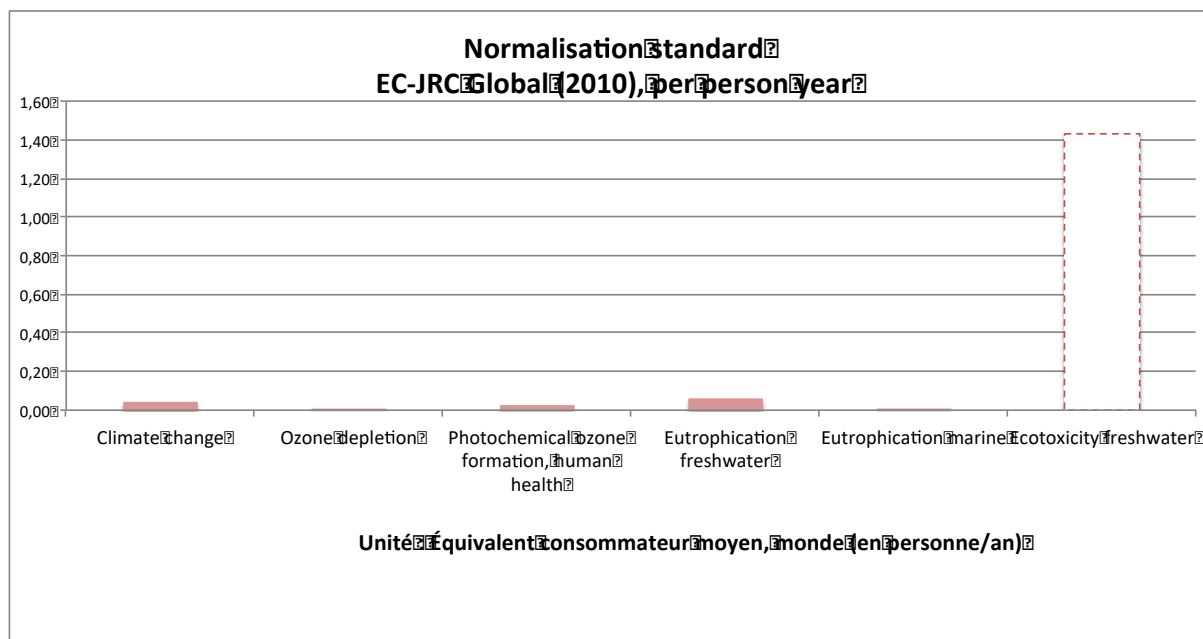


Figure 21 : ACV d'un panneau photovoltaïque, résultats normalisés, Global, données JRC 2016, pour 1 m² de panneau, single-Si wafer, en sortie d'usine

Les indicateurs représentés en pointillés ont des facteurs de normalisation moins robustes que les autres. Sur cette figure, les résultats sont « écrasés » par l'indicateur d'écotoxicité aquatique. La figure ci-dessous représente les mêmes indicateurs sans celui-ci.

Note 1 : Le calcul des indicateurs d'impacts s'appuie sur des valeurs fournies par les chercheurs, il s'agit d'une modélisation, et comme toute modélisation, elle comporte une part d'incertitude. Pour certaines catégories d'impact, comme le changement climatique, les travaux de recherche sont très importants et les résultats sont convergents, de sorte que cette incertitude est limitée, alors que pour d'autres catégories, cette incertitude reste très élevée. C'est particulièrement le cas pour toutes les catégories d'impact relatives à la toxicité et à l'écotoxicité, en raison de la complexité et de la multiplicité des phénomènes en jeu, ainsi que des interactions entre phénomènes et du caractère très local de tous ces impacts. C'est pourquoi nous recommandons d'interpréter de façon différenciée les résultats des ACV selon la fiabilité des catégories d'impact. Sur les figures, les histogrammes représentant les indicateurs d'impact les moins fiables apparaissent en pointillés

Note 2 : Il est bien connu des experts en ACV que les facteurs de normalisation européens ou mondiaux relatifs à l'écotoxicité ne sont pas fiables. Les valeurs sont notoirement trop faibles, ce qui conduit lors du calcul de normalisation à surpondérer l'écotoxicité. Cet artefact de calcul récurrent a été à nouveau rencontré à de multiples reprises lors des projets pilotes PEF (Product Environmental Footprint) menés sous l'égide de la Commission Européenne, ce qui a conduit celle-ci à commander au JRC (Joint Research Council) une étude pour affiner les valeurs de normalisation.

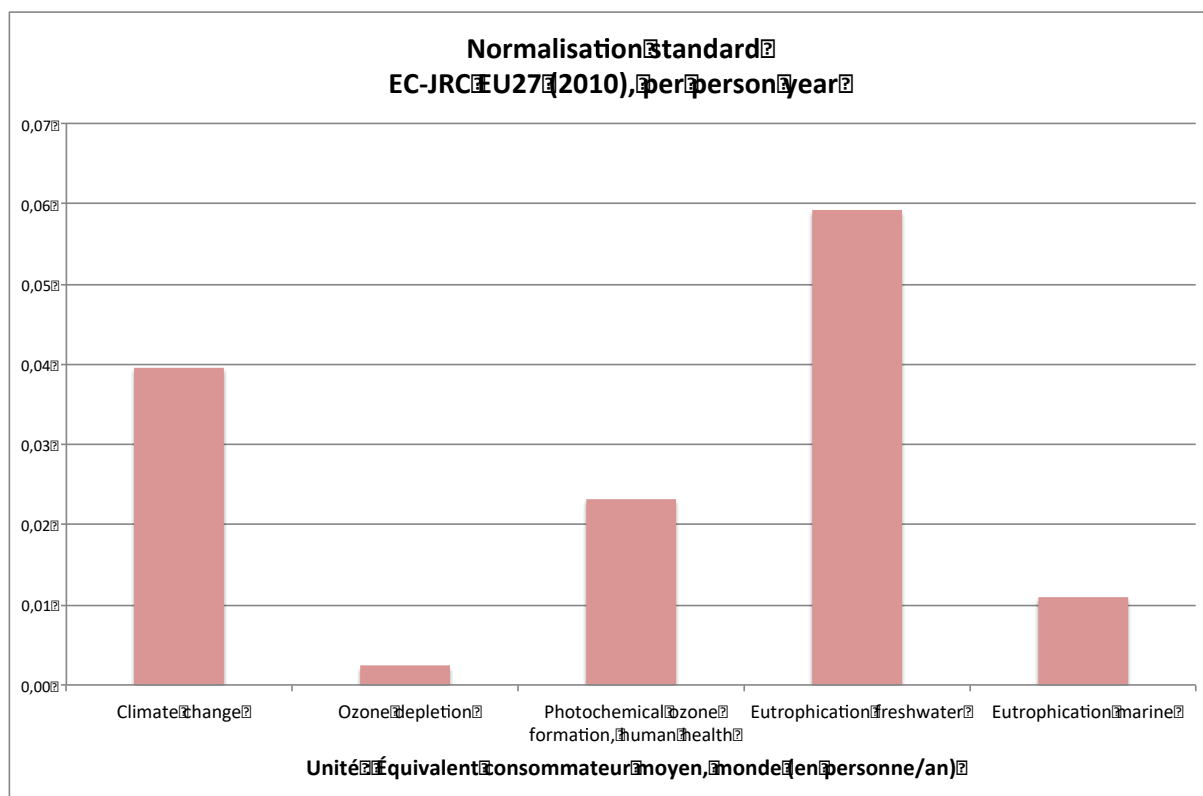


Figure 22 : ACV d'un panneau photovoltaïque, résultats normalisés, Global, données JRC 2016 (sans l'indicateur écotoxicité en eau douce), pour 1 m² de panneau, single-Si wafer, en sortie d'usine

Les études de cas présentées avec la normalisation relative aux Limites Planétaires ont été réalisées en s'appuyant sur les facteurs de normalisation proposés par Bjoern et Hauschild. Ce choix est justifié par le haut niveau d'élaboration et de documentation des facteurs publiés par ces auteurs. Cependant, il faut bien comprendre que l'application des limites planétaires ne se réduit pas à l'utilisation des facteurs de normalisation proposés par ces auteurs, et que d'autres choix sont ou seront possibles dans les prochaines années, voire dans les prochains mois.

Il est également important de noter que Bjoern et Hauschild assument dans leurs publications des choix qui ne sont pas systématiquement alignés avec les niveaux de dépassement des limites planétaires proposés par Steffen et al. Ainsi Bjoern et Hauschild donnent une valeur de 15 pour la catégorie « Formation d'ozone photochimique », traduisant un grand dépassement, alors que dans la publication de référence de Steffen et al sur les Limites Planétaires, la catégorie correspondante serait « Atmospheric Aerosol Loading », pour laquelle aucun seuil n'est affiché, donc a fortiori pas de dépassement.

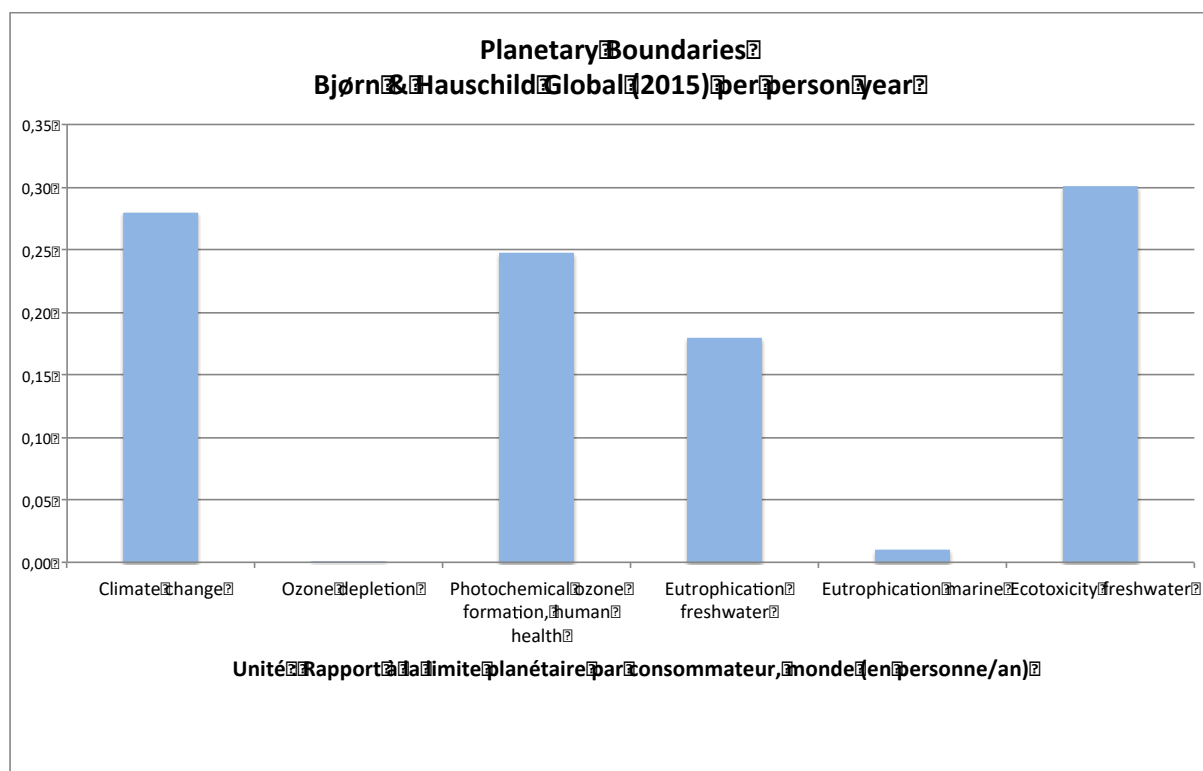


Figure 23 : ACV d'un panneau photovoltaïque, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global, pour 1 m² de panneau, single-Si wafer, en sortie d'usine

Ainsi, à partir des résultats d'ACV normalisés ci-dessus et de l'analyse de matérialité présentée dans la première partie du rapport, il est possible de hiérarchiser les enjeux environnementaux selon chacune des méthodes. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Note : Les enjeux relatifs aux ressources et à la santé humaine ne sont pas pris en compte dans la normalisation par Bjoern et Hauschild.

Tableau 6 : Comparaison du Top 5 enjeux pour le panneau solaire, selon la méthode de hiérarchisation

Méthode 1 : Normalisation référence globale	Méthode 2 : Normalisation Limites Planétaires	Méthode 3 : Matérialité
1 : Eutrophisation eau douce	1 : Changement climatique	1 : Changement d'occupation des sols
2 : Changement climatique	1 : Formation d'ozone	2 : Epuisement des ressources non-énergétiques
2 : Création d'ozone photochimique	1 : Eutrophisation eau douce	3 : Changement climatique
3 : Eutrophisation marine	2 : Eutrophisation marine	4 : Epuisement des ressources énergétiques
4 : Destruction couche d'ozone	3 : Destruction couche d'ozone	5 : Epuisement des ressources non-énergétiques

Sans recul sur les récents développements méthodologiques, il est encore difficile d'interpréter un tel résultat et donc de savoir dans quelle mesure les limites planétaires peuvent modifier la hiérarchie des enjeux. On peut néanmoins constater les points suivants :

- Un effet intéressant de hiérarchisation qui met en avant deux enjeux dépassés d'après Bjorn (climat, formation d'ozone) et deux autres enjeux (eutrophisation et écotoxicité eau douce) qui ne sont pas complètement cohérents avec les Limites Planétaires « originales » de Rockström (Rockström, Steffen, Noone, Persson, Chapin Iii, et al., 2009)

- Les autres études de littérature, avec la même méthode, semblent hiérarchiser dans le même ordre les mêmes enjeux
- Un besoin de travaux supplémentaires pour renforcer, améliorer et stabiliser ces facteurs de pondération.

➤ **Illustration sur les véhicules électriques (voitures personnelles)**

De la même manière que pour le panneau photovoltaïque, les résultats fournis par Renault ont été normalisés pour les véhicules électriques. Les figures suivantes présentent respectivement les résultats d'ACV normalisés par rapport à l'impact global et les résultats d'ACV normalisés à partir des facteurs proposés par Bjoern et Hauschild.

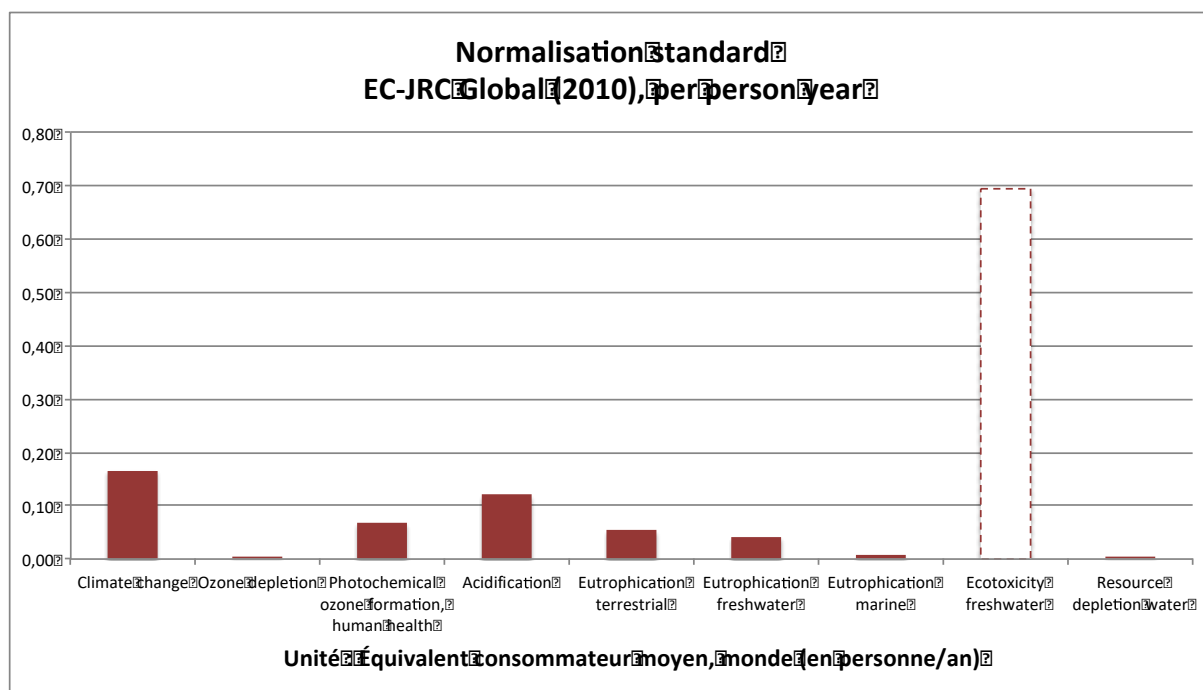


Figure 24 : ACV d'un véhicule électrique, résultats normalisés, Global, données JRC 2016, pour 15 000 km parcourus dans un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage)

Les indicateurs représentés en pointillés ont des facteurs de normalisation moins robustes que les autres. Sur cette figure, les résultats sont « écrasés » par l'indicateur d'écotoxicité aquatique. La figure ci-dessous représente les mêmes indicateurs sans celui-ci.

Note : Le calcul des indicateurs d'impacts s'appuie sur des valeurs fournies par les chercheurs, il s'agit d'une modélisation, et comme toute modélisation, elle comporte une part d'incertitude. Pour certaines catégories d'impact, comme le changement climatique, les travaux de recherche sont très importants et les résultats sont convergents, de sorte que cette incertitude est limitée, alors que pour d'autres catégories, cette incertitude reste très élevée. C'est particulièrement le cas pour toutes les catégories d'impact relatives à la toxicité et à l'écotoxicité, en raison de la complexité et de la multiplicité des phénomènes en jeu, ainsi que des interactions entre phénomènes et du caractère très local de tous ces impacts. C'est pourquoi nous recommandons d'interpréter de façon différenciée les résultats des ACV selon la fiabilité des catégories d'impact. Sur les graphes, les histogrammes représentant les indicateurs d'impact les moins fiables apparaissent en pointillés.

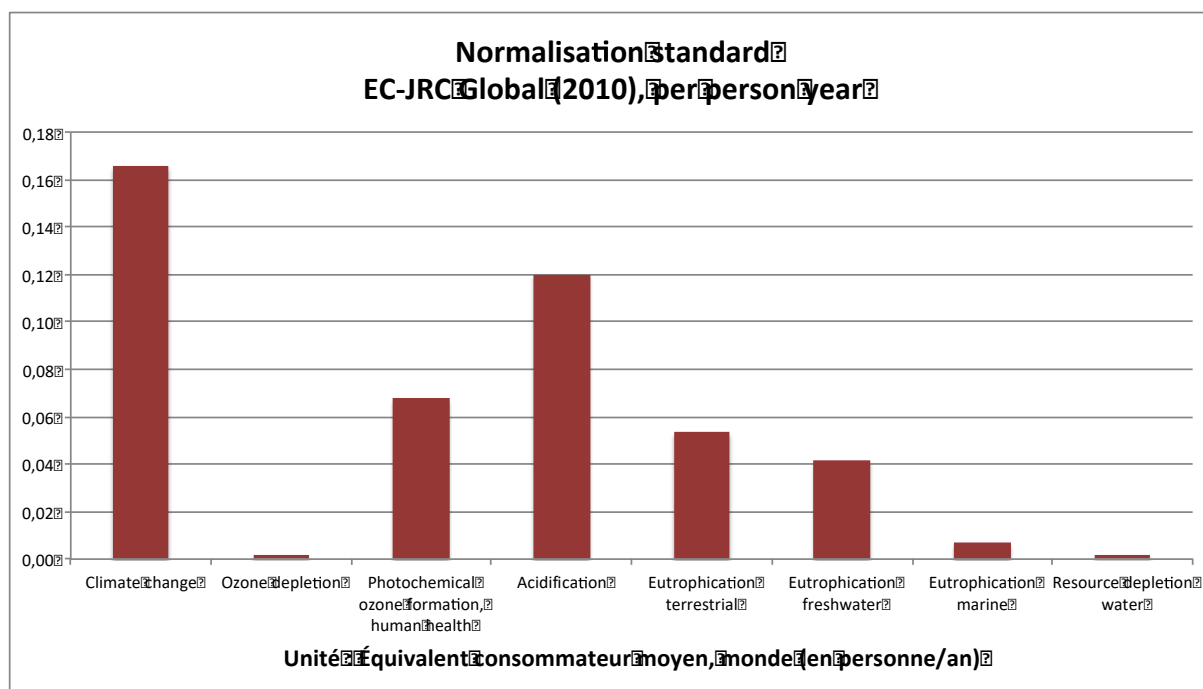


Figure 25 : ACV d'un véhicule électrique, résultats normalisés, Global, données JRC 2016 (sans l'indicateur d'écotoxicité en eau douce), pour 15 000 km parcourus dans un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage)

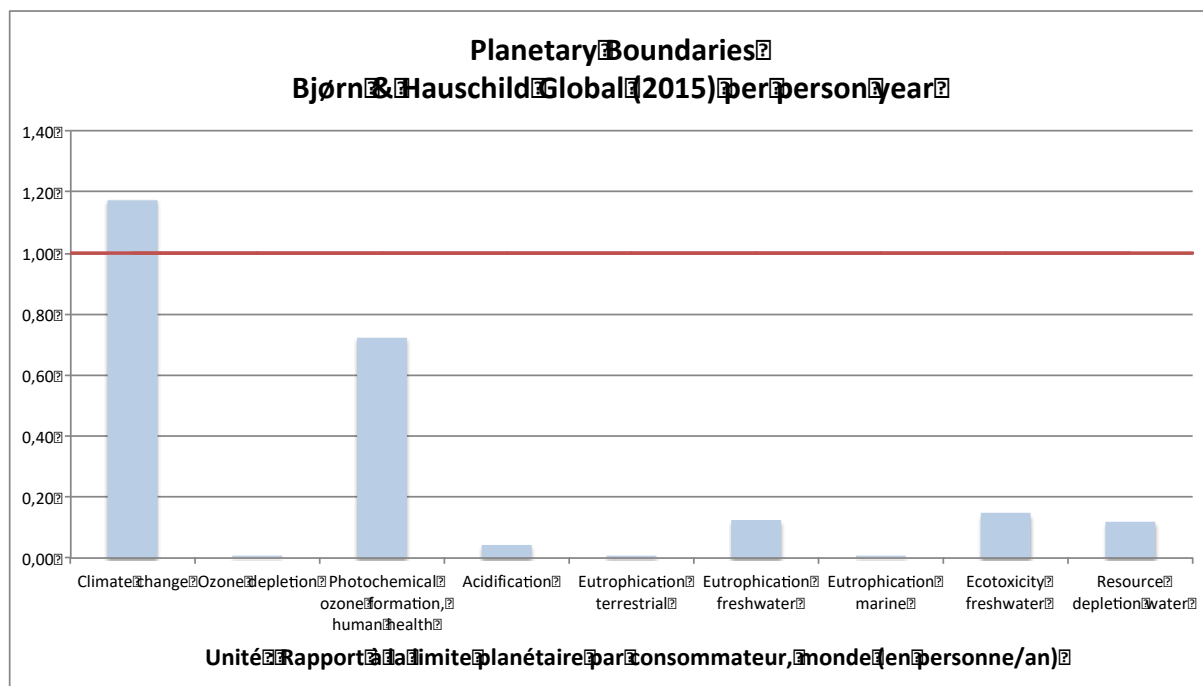


Figure 26 : ACV d'un véhicule électrique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global, pour 15 000 km parcourus dans un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage)

A noter, pour cette figure et les suivantes, la ligne rouge représente le seuil à ne pas dépasser dans le cadre des limites planétaires.

Ainsi, à partir des résultats d'ACV normalisés ci-dessus, il est possible de hiérarchiser les enjeux environnementaux selon chacune des méthodes. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. L'indicateur écotoxicité eau douce a un facteur de normalisation moins robuste que les autres, il est donc ignoré, comme pour le panneau photovoltaïque.

Tableau 7 : Comparaison du Top 5 enjeux pour le véhicule électrique, selon la méthode de hiérarchisation

Méthode 1 : Normalisation référence globale	Méthode 2 : Normalisation Limites Planétaires
1 : Changement climatique	1 : Changement climatique
2 : Acidification	2 : Formation d'ozone photochimique
3 : Formation d'ozone photochimique	3 : Eutrophisation eau douce
3 : Eutrophisation terrestre	3 : Épuisement des ressources en eau
3 : Eutrophisation eau douce	4 : Acidification

De la même manière, sans recul sur les récents développements méthodologiques, il est encore difficile d'interpréter un tel résultat et donc de savoir dans quelle mesure les limites planétaires peuvent modifier la hiérarchie des enjeux. On peut néanmoins constater les points suivants :

- Le même effet intéressant de hiérarchisation qui écrase l'enjeu d'écotoxicité eau douce avec la normalisation par les Limites Planétaires.
- Logiquement, et comme pour le panneau PV, une hiérarchisation qui met en avant deux enjeux dépassés d'après Bjoern (changement climatique, formation d'ozone photochimique).
- Comme pour l'exemple du panneau photovoltaïque, des travaux supplémentaires sont nécessaires pour renforcer, améliorer et stabiliser ces facteurs de pondération.

➤ Illustration sur les véhicules thermiques (voitures personnelles)

De la même manière que pour le véhicule électrique, les résultats normalisés ont aussi été calculés pour le véhicule thermique. Les données ont été fournies par Renault et correspondent à une Renault Clio. La méthode des impacts évités est considérée pour prendre en compte les impacts de fin de vie.

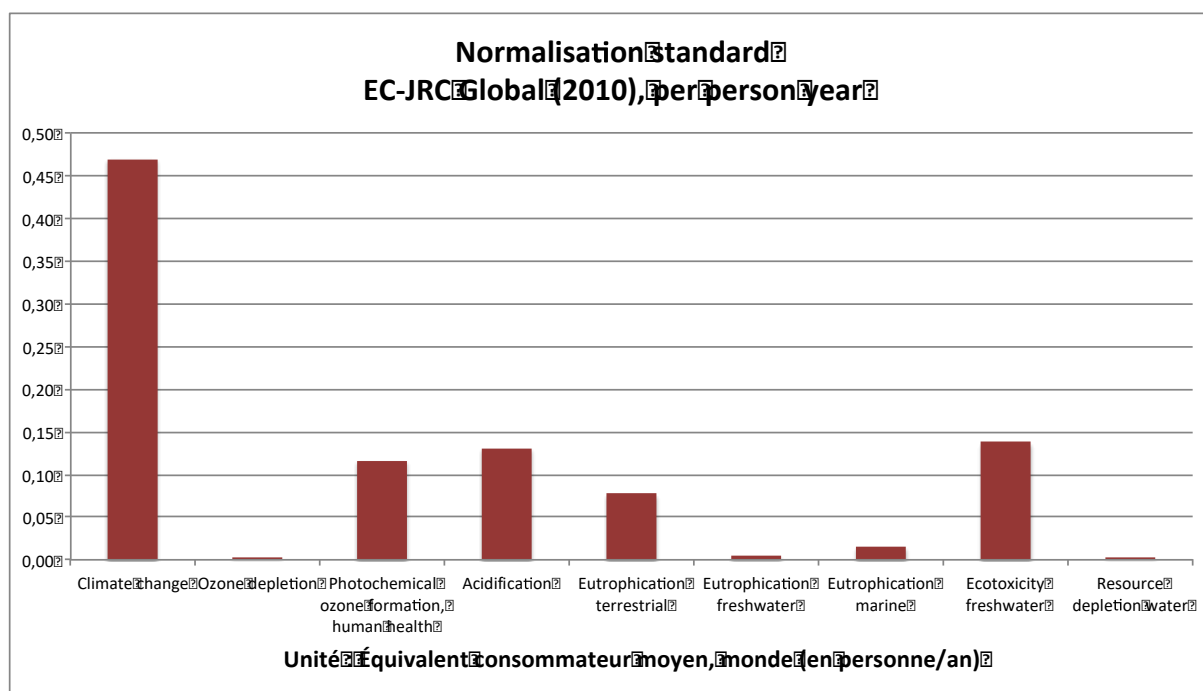


Figure 27 : ACV d'un véhicule thermique, résultats normalisés, Global, données JRC 2016, pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio (soit un an d'usage)

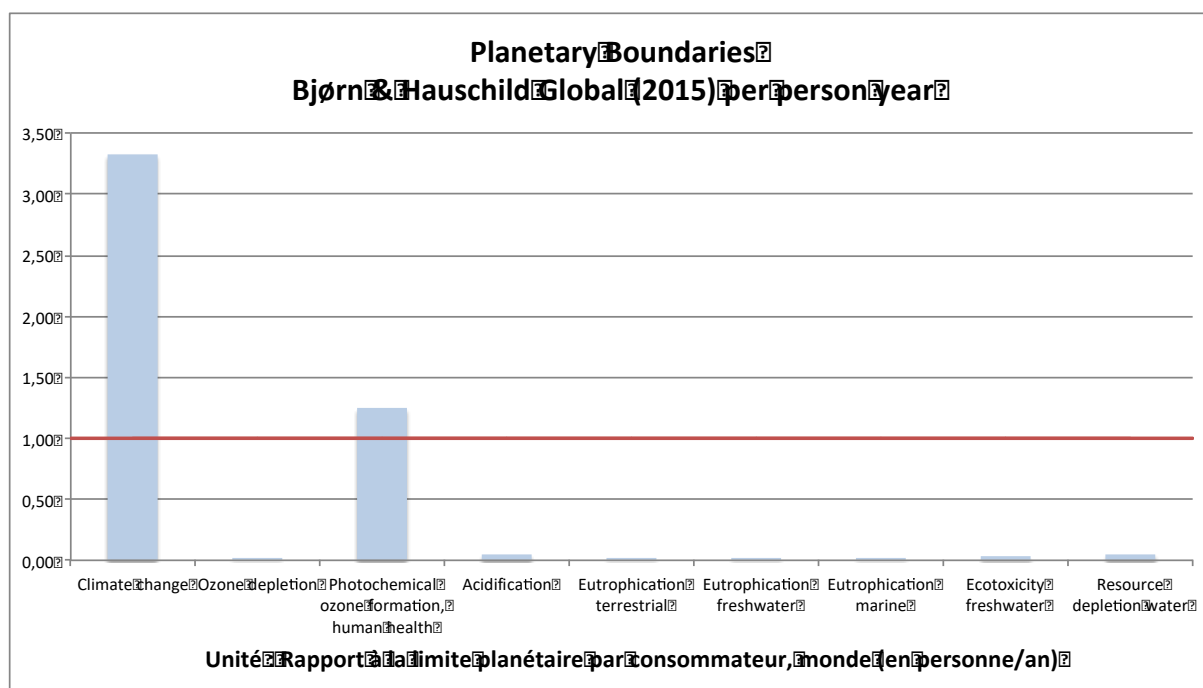


Figure 28 : ACV d'un véhicule thermique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global, pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio (soit un an d'usage)

Sur cette figure, la plupart des catégories sont écrasées par Changement climatique et Formation d'ozone photochimique. Les résultats sont donc présentés dans le graphe suivant sans ces deux catégories.

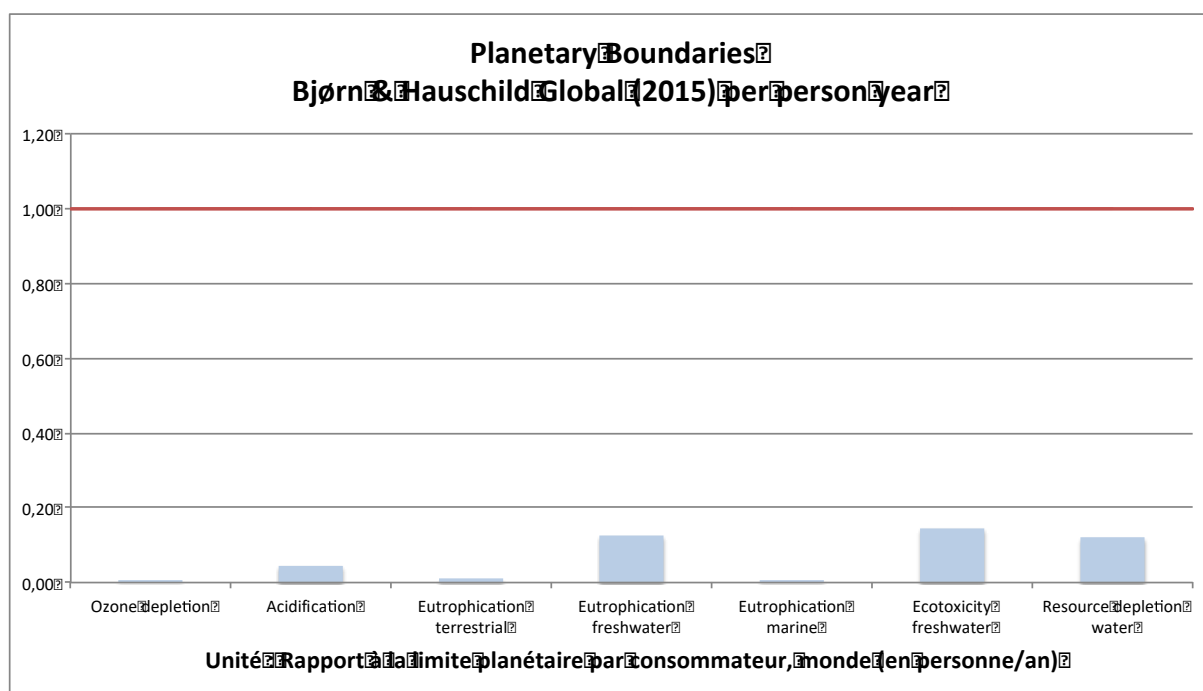


Figure 29 : ACV d'un véhicule thermique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global (sans les indicateurs Changement climatique et Formation d'ozone photochimique), pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio (soit un an d'usage)

A partir des résultats d'ACV ci-dessus, il est possible de hiérarchiser les enjeux environnementaux selon les différentes méthodes.

Tableau 8 : Comparaison du Top 5 enjeux pour le véhicule thermique, selon la méthode de hiérarchisation

Méthode 1 : Normalisation référence globale	Méthode 2 : Normalisation Limites Planétaires
1 : Changement climatique	1 : Changement climatique
2 : Formation d'ozone photochimique	2 : Formation d'ozone photochimique
2 : Acidification	3 : Acidification
2 : Eutrophisation terrestre	3 : Épuisement des ressources en eau
3 : Eutrophisation marine	4 : Eutrophisation eau douce

Pour le cas du véhicule thermique, la hiérarchisation des catégories d'impact semble être proche entre la normalisation standard et les limites planétaires. Néanmoins, des différences subsistent, notamment dans le poids relatif des catégories.

➤ Comparaison entre les véhicules thermiques et électriques (voitures personnelles)

Les graphes suivants présentent les résultats normalisés, comparés entre véhicule thermique et véhicule électrique. Les données de résultats d'ACV caractérisés ont été fournies par Renault. Le véhicule thermique modélisé correspond à une Renault Clio, le véhicule électrique correspond à une Renault ZOE. La méthode des impacts évités a été retenue pour compter les impacts de la fin de vie.

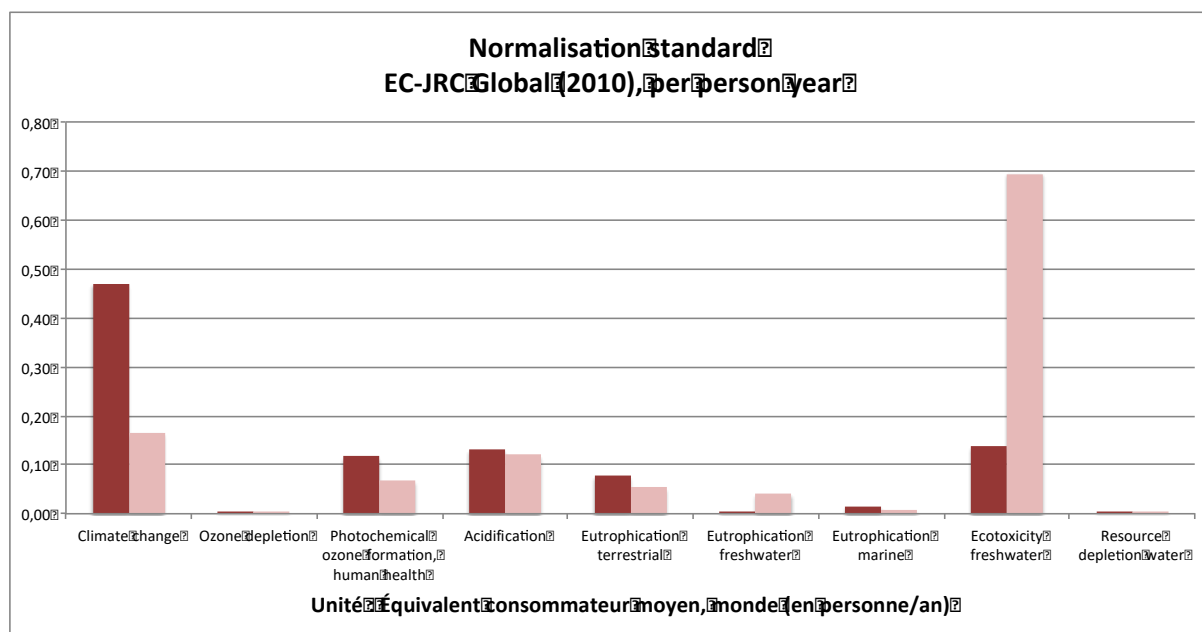


Figure 30 : ACV comparée d'un véhicule thermique et d'un véhicule électrique, résultats normalisés, Global, données JRC 2016, pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio ou un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage)

Par la normalisation standard, on remarque que le véhicule électrique présente un avantage sur la plupart des indicateurs, hormis Écotoxicité en eau douce et Eutrophisation en eau douce. Les impacts sur la catégorie « Acidification » sont par ailleurs comparables, l'écart n'étant pas significatif.

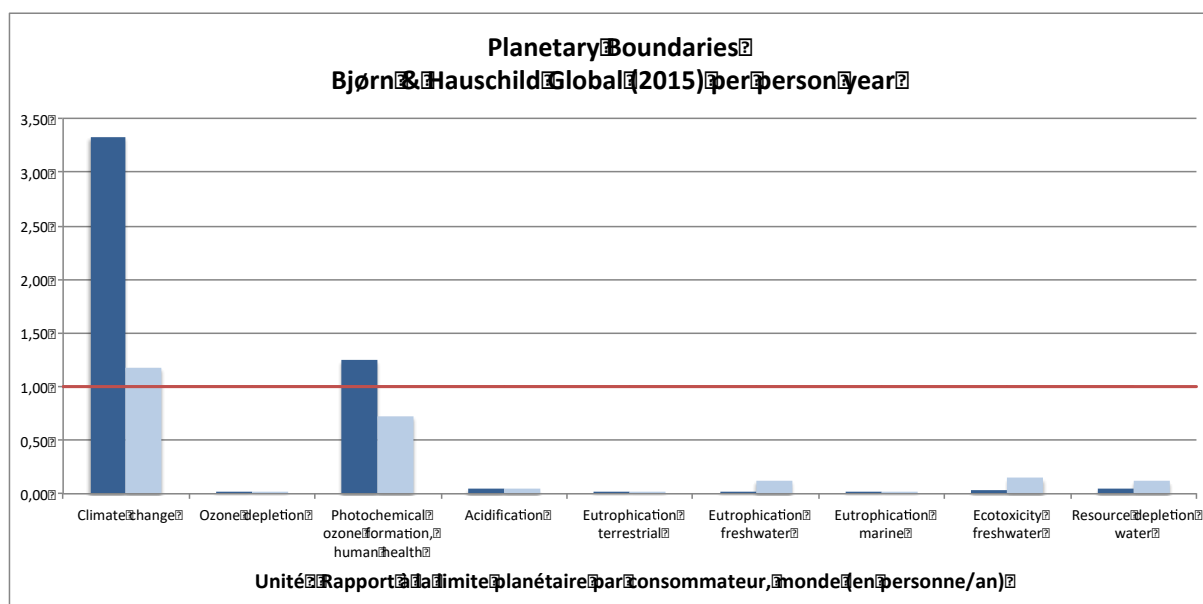


Figure 31 : ACV comparée d'un véhicule thermique et d'un véhicule électrique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio ou un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage), la ligne rouge représente le seuil à ne pas dépasser dans le cadre des limites planétaires

Ici, les catégories Changement climatique et Formation d'ozone photochimique écrasent les autres catégories. Nous présentons les résultats sur le graphe suivant en écartant ces deux catégories, pour une meilleure lisibilité.

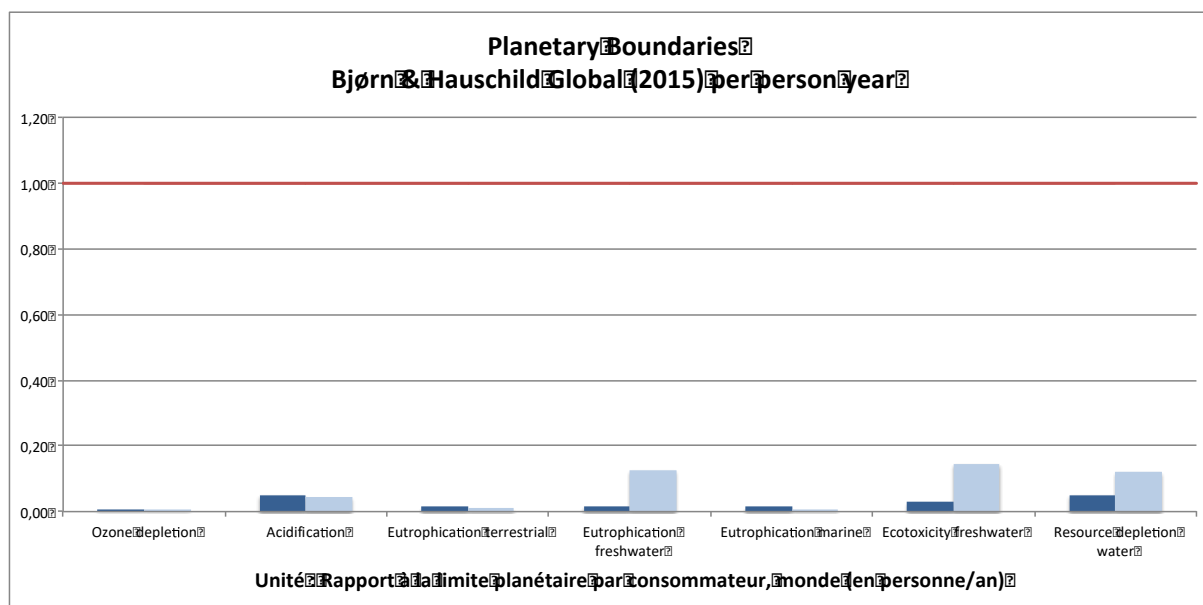


Figure 32 : ACV comparée d'un véhicule thermique et d'un véhicule électrique, résultats normalisés par les capacités planétaires, Global (sans les indicateurs Changement climatique et Formation d'ozone photochimique) pour 15 000 km parcourus dans un VT du type Renault Clio ou un VE du type Renault ZOE (soit un an d'usage), la ligne rouge représente le seuil à ne pas dépasser dans le cadre des limites planétaires

En comparant les deux méthodes de normalisation, la principale différence concerne l'écotoxicité, qui domine le premier graphe, et qui est quasiment effacée sur le second. Les experts en ACV considèrent que les facteurs de normalisation pour les catégories relatives à la toxicité et à l'écotoxicité ne sont pas fiables, ce qui pourrait expliquer cette différence. Si nous faisons abstraction de cet indicateur, l'effet de la normalisation selon les limites planétaires par Bjørn et Hauschild

consiste essentiellement à mettre en valeur les catégories « Changement climatique » et « Formation d'ozone photochimique ». Le changement de méthode de normalisation, en l'état actuel des connaissances, n'inverserait donc pas la hiérarchie des bilans environnementaux des VE et VT, le VE affichant un bénéfice sur ces deux indicateurs.

Bjoern et Hauschild proposent 11 facteurs de normalisation correspondant à 11 catégories d'impact, calculés selon des méthodes documentées. Or, dans les logiciels d'ACV disponibles et communément utilisés, seules quelques-unes de ces méthodes sont disponibles. Par exemple, dans le logiciel GaBi version 7.3.3.153, seules 7 méthodes ont été retrouvées, correspondant aux catégories d'impact changement climatique, appauvrissement de la couche d'ozone, formation d'ozone photochimique, eutrophisation en eau douce, eutrophisation marine, écotoxicité en eau douce, et consommation d'eau.

Les modèles sous-jacents ne sont pas cohérents pour les indicateurs consommation d'eau, acidification terrestre, eutrophisation terrestre, et usage des sols (érosion et biodiversité). Concernant l'acidification terrestre et l'eutrophisation terrestre, dans l'ILCD Handbook, l'utilisation du modèle Accumulated Exceedance est recommandé – s'appuyant sur les publications de Seppälä et al, 2006, et Posch et al, 2008 – or, Bjorn et Hauschild s'appuient uniquement sur le modèle OT de Posch et al, 2008. Pour l'usage des sols, l'ILCD Handbook recommande l'utilisation du modèle SOM (Soil Organic Matter) de Milà i Canals et al, 2007b, mais Bjorn et Hauschild distinguent deux catégories d'impacts concernant l'utilisation des sols : l'érosion des sols et la perte de biodiversité. Pour la première, ils s'appuient sur le modèle de Saad et al, 2013 ; pour la deuxième, ils utilisent directement les données issues de l'inventaire de cycle de vie. Enfin, pour la consommation d'eau, le guide ILCD recommande l'utilisation de la méthode Swiss Ecoscarcity (Frischknecht et al, 2008), or Bjorn et Hauschild utilisent la quantité d'eau bleue consommée.

En revanche, le JRC a publié le rapport technique « Global environmental impacts and planetary boundaries in LCA » (Sala et al., 2016) dans lequel il est décrit la manière dont le JRC appréhende les limites planétaires et exploite les facteurs de normalisation publiés par Bjoern et Hauschild. Six méthodes étaient « naturellement » compatibles, celles correspondant aux catégories changement climatique, appauvrissement de la couche d'ozone, formation d'ozone photochimique, eutrophisation en eau douce, eutrophisation marine, et écotoxicité en eau douce. Le JRC a ensuite échangé avec Bjoern et Hauschild pour rendre compatibles quatre facteurs de normalisation des limites planétaires (niveau global) avec les catégories d'impact retenues par l'ILCD, à savoir l'acidification, l'eutrophisation terrestre, l'usage des sols, et l'épuisement des ressources en eau.

Il est donc possible d'extraire des résultats d'EICV selon les méthodes de calculs recommandées par l'ILCD et de les utiliser pour calculer des résultats normalisés à l'aide des facteurs de normalisation « limites planétaires » fournis par le JRC. Il est important de noter que les résultats selon la normalisation « conventionnelle ou standard » (du JRC) ou selon la normalisation par les limites planétaires s'expriment tous en "équivalent personne par an". En effet, dans les deux cas les facteurs de normalisation sont calculés à partir d'une quantité de substance (kg eq CO2 par exemple) relative au niveau mondial, divisée par la population mondiale. Cependant, dans le cas de la normalisation standard, la quantité considérée est une évaluation des émissions totales sur un an (émissions réelles, c'est une grandeur qui pourrait être mesurée) alors que dans le cas de la normalisation selon les limites planétaires, il s'agit d'un seuil supposé acceptable pour maintenir l'équilibre de la planète – c'est donc une grandeur virtuelle, calculée.

Ainsi, dans le premier cas, la quantité de substance utilisée comme référence est évaluée à partir des émissions ou des consommations de ressources provoquées par l'ensemble de la population mondiale en s'appuyant sur des relevés effectués au niveau planétaire et des modèles de calcul appropriés. Cela donne alors une quantité brute, supposée réelle de substance émise ou consommée (4,81.10+13 kg eq CO2 pour l'année 2010 de référence). Dans le cas de la normalisation selon les limites planétaires, la quantité de substance utilisée comme référence dépend d'un seuil calculé à partir des données scientifiques disponibles décrivant les capacités de la planète Terre (les quantités

différent selon la catégorie d'impact considérée et la variable de contrôle). Cela donne alors une valeur limite (définie par Bjoern et Hauschild à $6,79 \cdot 10^{12}$ kg eq CO₂ pour le changement climatique). Ces valeurs sont divisées par la population mondiale de référence (UNDESA 2011) de 6 895 889 018 personnes (donnant respectivement 6 980 kg eq CO₂ / personne / an pour la normalisation standard et 985 kg eq CO₂ / personne / an pour les limites planétaires).

Cette description permet de comprendre que les résultats normalisés selon la méthode standard du JRC et la méthode des limites planétaires ne sont pas comparables. Les valeurs de références étant différentes, les facteurs de normalisation (NF) le sont aussi en fonction de la méthode. Par exemple, le ratio entre le NF de la normalisation standard et celui de la normalisation limites planétaires pour le changement climatique est de 7,08. Ce ratio en lui-même exprime que nous avons dépassé de plus de 7 fois la limite planétaire correspondant au changement climatique (voir le tableau ci-dessous). Lorsque l'on calcule l'impact environnemental d'un produit, normalisé selon la méthode standard, on sait à combien de fois l'impact de cycle de vie de ce produit équivaut par rapport à la consommation annuelle d'un humain moyen. Lorsque l'on calcule l'impact environnemental d'un produit, normalisé selon les limites planétaires, on sait combien de fois l'impact de cycle de vie de ce produit est inférieur ou supérieur par rapport à la limite annuelle moyenne attribuée à un humain.

Dans les deux cas, et pour donner plus de sens à l'interprétation, il semble plus pertinent de calculer des résultats normalisés à partir d'une unité fonctionnelle (UF) correspondant à l'utilisation du produit pour une personne et pendant un an. Si l'on prend pour exemple les résultats normalisés selon les limites planétaires du véhicule électrique, avec l'UF initiale (correspondant à 150 000 km parcourus, soit 10 ans d'utilisation), la limite pour le changement climatique est dépassée de près de 12 fois (pour une personne pour un an). En ramenant ce résultat à un an d'utilisation, la limite n'est dépassée "que" de 1,2 fois. Cela permet notamment de comprendre que des efforts doivent encore être fournis dans l'élaboration de l'offre de ce service, car seulement à cause de celui-ci, une personne dépassera le quota d'émissions de GES qui lui est alloué, sans compter que l'ensemble de l'impact d'une personne devrait être pris en compte et dans l'idéal être inférieur aux seuils obtenus pour chaque limite planétaire.

Ici, si le taux d'occupation de la voiture est de 1,2 personnes, alors il faudrait multiplier la limite par 1,2. Pour appliquer la méthode du « panier moyen » proposée plus bas en section 4.4., il faudrait en outre diviser la limite par la fraction que représente les trajets en voiture dans les émissions de CO₂ d'une personne moyenne. L'exercice montre ses limites, car ce « panier moyen » est très variable selon les pays, et une valeur moyenne n'a, peut-être, pas de sens. Il serait alors pertinent de considérer une limite par personne commune à toute l'humanité, et de décliner ensuite cette limite par type de produit selon les pays et les marchés.

Tableau 9 : Part de l'impact environnemental par personne selon la méthode EC-JRC par rapport aux limites planétaires, calculées pour chaque catégorie d'impact pour lesquelles un chiffre déterminant la limite planétaire est disponible (d'après le rapport technique « Global environmental impacts and planetary boundaries in LCA » du JRC)

ILCD impact category	Ratio Global NF to PB (per person)
Climate Change	7.08E+00
Ozone Depletion	2.49E-01
Photochemical Ozone Formation	1.07E+01
Acidification	3.84E-01
Eutrophication Terrestre	1.99E-01
Eutrophication Freshwater	3.04E+00
Eutrophication Marine	9.75E-01
Land Use	7.27E+00
Freshwater Ecotoxicity	2.10E-01
Water Depletion (country-based)	1.62E+00
Water Depletion (OECD average)	7.03E+01



L'utilisation des Limites planétaires comme outil de normalisation ou pondération en ACV est une pratique récente, qui nécessite la disponibilité de facteurs de normalisation/pondération robustes. Des entreprises pionnières se lancent dans ce type de démarche, ce qui permet à toute la communauté ACV de progresser sur l'applicabilité du concept. L'Oréal est une des premières à adopter une telle démarche.

L'Oréal, leader mondial des cosmétiques, a une politique ambitieuse de développement durable, à travers « Sharing Beauty With All ». Ce programme formalise les engagements et objectifs chiffrés du Groupe à horizon 2020 sur l'ensemble de sa chaîne de valeur. Au cœur de son ambition d'Innovation durable figure l'objectif qu'à horizon 2020, « 100% des produits présentent une amélioration de leur profil environnemental ou social », sur au moins l'un des critères suivants :

- La nouvelle formule réduit son l'empreinte environnementale, notamment son empreinte eau ;
- La nouvelle formule utilise des matières premières renouvelables, issues de ressources durables ou de la chimie verte ;
- Le profil environnemental du nouveau packaging est amélioré ;
- Le nouveau produit a un impact social positif.

En parallèle d'une démarche rigoureuse concernant les critères environnementaux de biodégradabilité, potentiel de bioaccumulation et écotoxicité, L'Oréal utilise également l'Analyse du cycle de vie. L'ACV permet à L'Oréal d'évaluer les principales empreintes environnementales (telles que l'empreinte eau ou l'empreinte carbone). Elle permet ainsi d'identifier les domaines spécifiques de progrès pour la réduction de ces impacts (ex. réduire la quantité d'eau nécessaire au rinçage des shampoings).

Le Groupe L'Oréal a par ailleurs développé un outil inédit d'évaluation de la performance environnementale et sociale de ses produits, intégrant pour la première fois des critères sociaux en plus d'indicateurs environnementaux, et délivrant ainsi un score unique (voir le graphique ci-dessous). Sur son volet environnemental, la méthodologie de cet outil, baptisé « SPOT » (pour « Sustainable Product Optimisation Tool ») s'appuie sur les Limites planétaires, comme méthode de pondération pour l'agrégation des impacts environnementaux, permettant d'aboutir à une empreinte traduite ensuite en score de performance environnementale*.



Ce projet est en cours de déploiement au sein des équipes du Groupe en charge de la conception des produits. L'Oréal a présenté la démarche méthodologique dans des conférences scientifiques telles que le SETAC Case study Symposium 2016 et le congrès SETAC Europe 2017.

*Les résultats présentés à droite sur la figure sont sans unité

3.4. Un impact sur les méthodologies de monétarisation ?

Les méthodologies actuelles de monétarisation reposent sur différentes approches pour évaluer le coût des impacts environnementaux. Ces approches de valorisation sont basées sur des scénarios d'impact environnemental ainsi que sur l'analyse incrémentale de la perte de valeur liée à une augmentation d'impact.

Les notions de « limite planétaire » et de « distance à la limite » pourraient théoriquement être intégrées dans les méthodologies de monétarisation. En effet, la limite représentant un seuil à partir duquel le système Terre bascule dans un autre état, le référentiel de coûts associés à ce basculement est potentiellement d'un autre ordre de grandeur que les référentiels de coûts usuellement utilisés.

Plus la variable d'état est proche de la limite, plus le coût de l'impact environnemental marginal devrait être important afin de prendre en compte ce phénomène.

A titre d'illustration, de la même manière que le prix du carbone peut grimper en flèche sur le marché des crédits carbone quand la demande excède l'offre, le prix de la tonne carbone devrait augmenter au fur et à mesure qu'on se rapproche de la limite planétaire.

De la même manière, les impacts environnementaux qui se rapprochent des limites planétaires pourraient voir leurs coefficients de valorisation surpondérée par rapport aux valeurs usuellement utilisées.

III. Intégration des enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise

Après avoir identifié et hiérarchisé les enjeux environnementaux, nous étudierons dans ce troisième chapitre les différents leviers d'intégration de ces enjeux environnementaux dans la stratégie de l'entreprise. Nous verrons aussi dans quelle mesure les outils de l'ACV et les concepts des Limites Planétaires peuvent aider à cette intégration.

1. Approche site et approche produit

Il existe deux manières complémentaires d'envisager l'activité d'une entreprise :

- L'ensemble de sites sur lesquels l'entreprise opère (usines, bureaux, ...)
- L'ensemble des produits et services commercialisés par l'entreprise

D'un point de vue environnemental, cette dualité site / produit se traduit par 2 approches différentes pour identifier les enjeux environnementaux et évaluer l'impact environnemental des entreprises : **l'approche site** et **l'approche produit**. Ces 2 approches permettent de manière différente d'intégrer les enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise.

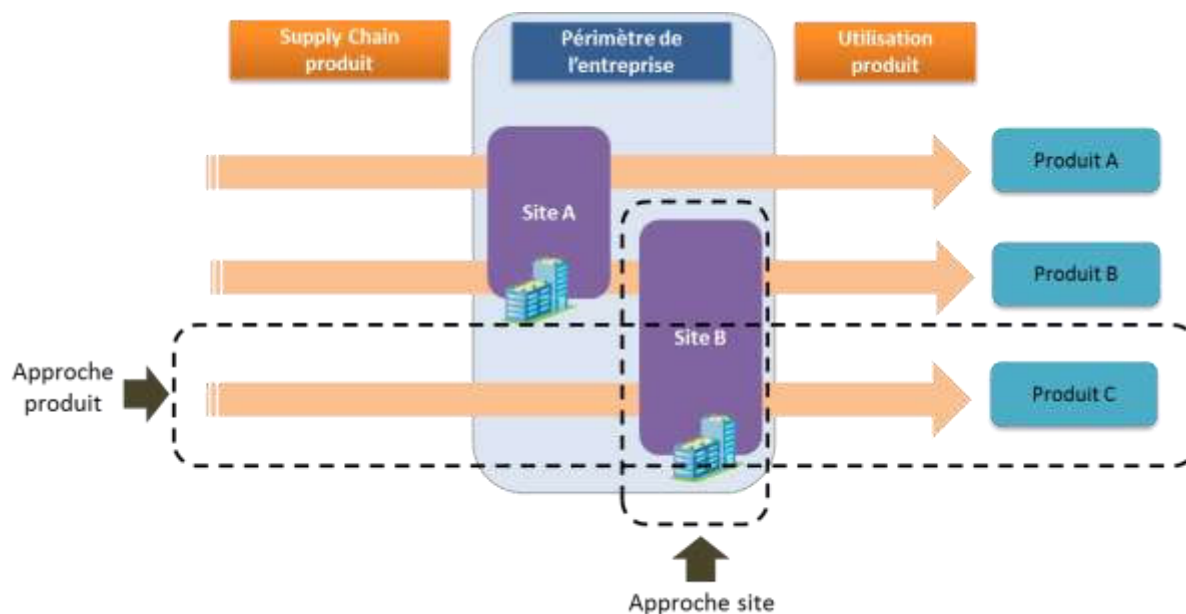


Figure 33 : Schéma approche site et approche produit, I Care & Consult

- **L'approche site** évalue les impacts environnementaux d'une activité sur le site d'opération et à proximité du site. Elle se concentre sur les impacts directs. La méthode d'évaluation environnementale de référence à l'échelle du site est l'étude d'impact qui vise l'exhaustivité en termes de couverture des enjeux environnementaux.

Cette approche est particulièrement pertinente pour évaluer :

- Les enjeux dont les spécificités locales sont clés (ex : biodiversité)
- Les impacts qui s'exercent sur les parties prenantes locales (riverains, employés)
- Les activités dont les impacts directs sont plus importants que les impacts indirects (ex : production d'électricité à partir d'énergie fossile)
- Les activités localisées sur un nombre « limité » de sites importants et hétérogènes (ce qui diminue l'intérêt d'une performance statistique moyenne)

Cette approche site est historiquement celle qui a été privilégiée par la réglementation environnementale. Elle constitue un critère important dans la décision stratégique d'implantation de nouveaux sites, tant en termes de possibilité ou coût de conformité aux réglementations environnementales locales qu'en termes d'acceptabilité par les parties prenantes locales.

- **L'approche produit** évalue les impacts environnementaux d'une activité sur l'ensemble du cycle de vie du produit. Elle évalue les impacts directs mais aussi les impacts indirects. La méthode d'évaluation environnementale de référence est l'analyse de cycle de vie qui vise aussi l'exhaustivité en termes de couverture des enjeux environnementaux.

Cette approche est particulièrement pertinente pour évaluer

- les enjeux dont les spécificités locales sont faibles (ex : changement climatique)
- les impacts qui s'exercent sur les parties prenantes globales (clients, société civile)
- les activités dont les impacts indirects sont aussi voire plus importants que les impacts directs (ex : constructeur automobile qui a un impact indirect aval prépondérant)
- les activités localisées sur un nombre « important » de sites ayant des caractéristiques similaires (existence de valeurs moyennes statistiques)

Cette approche produit, plus récente que l'approche site, constitue un critère potentiellement important dans la décision stratégique de conception et mise sur le marché de nouveaux produits, la performance environnementale étant devenue un des critères de positionnement stratégique du produit. Il est à noter que la nouvelle version de la norme ISO 14001 prévoit la prise en compte de la perspective cycle de vie des produits lors d'une certification site, ce qui fait le lien entre les deux approches.

2. Cadre de l'analyse stratégique des enjeux environnementaux

Le retour d'expérience de l'analyse stratégique des enjeux environnementaux permet de faire ressortir 6 principaux facteurs dont l'analyse permet de guider l'entreprise dans l'intégration des enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise

- 3 déterminants du positionnement de l'entreprise
- 3 facteurs de compétitivité environnementale de l'entreprise.

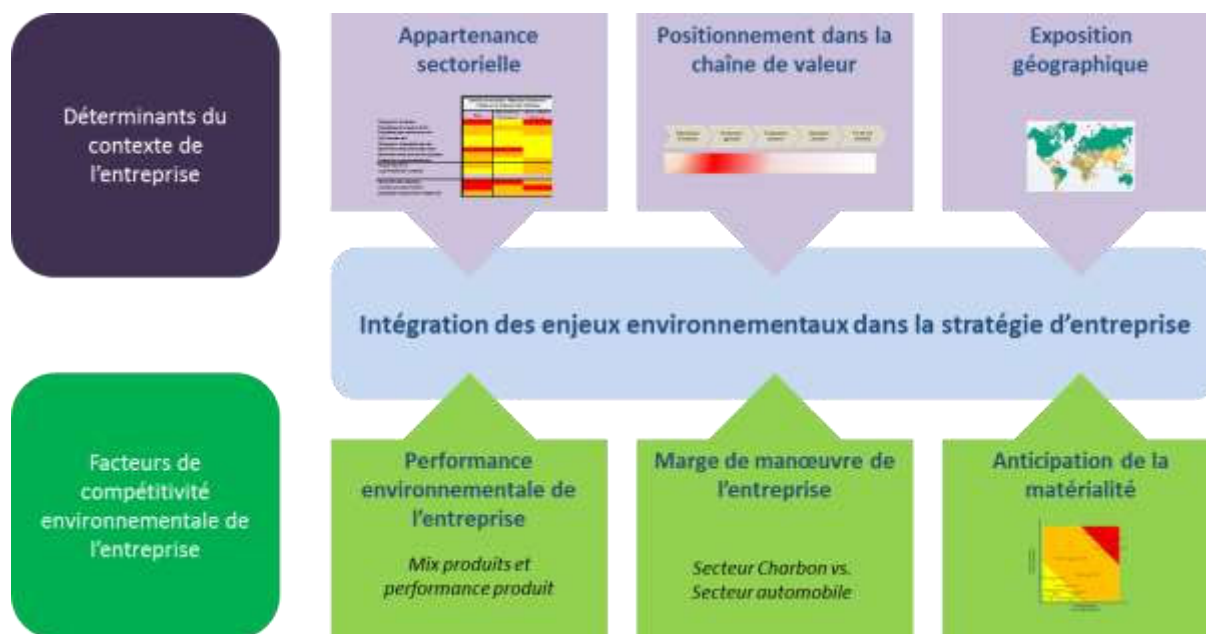


Figure 34 : Cadre d'analyse de l'intégration stratégique des enjeux environnementaux (I Care & Consult, 2017)

➤ **Le déterminant de l'appartenance sectorielle**

Les enjeux environnementaux ont la particularité, plus que les autres enjeux du développement durable, d'être très fortement reliés à la nature même de l'activité de l'entreprise, dans le sens où l'impact environnemental est principalement lié aux flux de matière.

Dans ce sens, il est clair que les enjeux environnementaux des entreprises qui produisent les mêmes produits sont proches. Ainsi, pour une entreprise, la prise de connaissance des enjeux environnementaux effectuée au niveau sectoriel constitue une étape indispensable dans l'analyse de ses propres enjeux.

Cette analyse menée au niveau sectoriel présente néanmoins 2 principales difficultés :

- **La granularité sectorielle retenue** : au sein d'un même secteur, les enjeux environnementaux peuvent être très différents suivant les catégories de produit ou les voies technologiques retenues. A titre d'illustration, en ce qui concerne le secteur de la production d'électricité, les enjeux environnementaux sont très différents entre la production d'électricité à partir de charbon, la production d'électricité d'origine nucléaire ou encore la production d'électricité d'origine éolienne. Si l'analyse des enjeux au niveau du sous-secteur éolien sera représentative de l'activité de production d'électricité d'origine éolienne, l'analyse des enjeux au niveau du secteur de la production d'électricité ne pourra être que la moyenne d'enjeux très différents.

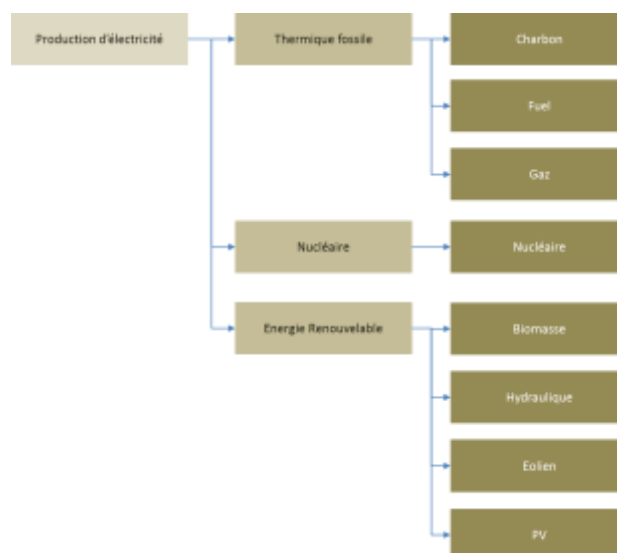


Figure 35 : Granularité sectorielle pour le secteur de la production d'électricité

- **L'effet moyennant géographique** : une analyse sectorielle peut s'envisager à différentes mailles géographiques (nationale, continentale, mondiale). Ces différentes mailles envisagées ne représentent pas forcément la répartition géographique de l'entreprise (cf. déterminant pays).

Dans ce cadre, l'analyse sectorielle réalisée notamment par les fédérations professionnelles et les plateformes sectorielles, est un cadre de référence utile pour l'entreprise, qui permet :

- De servir de « check-list » des enjeux environnementaux sur lesquels l'entreprise est attendue par les parties prenantes (régulateur, clients, ONG, investisseurs) ;
- De servir de « benchmark » de performance environnementale auquel l'entreprise pourra être comparé ou se comparer (exemples : Eco-Profiles environnementaux de PlasticsEurope, Profil environnementaux de l'association européenne de l'aluminium, PEP des associations professionnelles comme Uniclimate, etc.)

➤ **Le déterminant « position au sein de la chaîne de valeur »**

Pour chaque enjeu environnemental et pour chaque chaîne de valeur, il existe généralement une étape de la filière qui concentre l'intensité de l'impact environnemental. A titre d'exemple, en ce qui

concerne la chaîne de valeur Mobilité et les technologies thermiques classiques, l'impact GES est concentré sur la phase d'utilisation, et donc principalement en aval des entreprises de la filière.



Figure 36 : localisation de l'impact GES de la filière Mobilité thermique

En ce qui concerne la filière alimentaire et les impacts sur la biodiversité, les impacts sont situés principalement sur la phase de production agricole, c'est-à-dire principalement en amont des principales entreprises de la filière.



Figure 37 : localisation de l'impact biodiversité de la filière agro-alimentaire

Ce positionnement par rapport à l'impact environnemental clé est structurant dans l'intégration des enjeux environnementaux :

- Si l'entreprise est localisée **sur la phase d'impact environnemental clé** (impact direct), l'entreprise se retrouve avec une matérialité maximale, notamment sous l'effet de la matérialité réglementaire et des parties prenantes. Dans ce cas, sa performance environnementale directe pourra être un facteur clé de compétitivité au sein de son secteur.
- Si l'entreprise se retrouve en **aval de la phase d'impact environnemental clé**, dans quelle mesure doit-elle intégrer et « endosser » l'impact de ses fournisseurs dans sa stratégie ?
 - o Dans une logique de responsabilité, les parties prenantes peuvent estimer que l'entreprise a un devoir de vigilance sur les pratiques de ses fournisseurs, et les entreprises établissent de fait de plus en plus systématiquement une cartographie des risques environnementaux et sociaux de leur supply chain
 - o Cette intégration est d'autant plus pertinente que l'impact est situé au rang N-1 par rapport à l'entreprise, permettant ainsi le dialogue entre le fournisseur à fort impact et l'entreprise
 - o Le levier d'intégration de critères environnementaux dans les achats de produits et de services est un levier pour réduire l'impact environnemental en amont
- Si l'entreprise se retrouve en **amont de la phase d'impact environnemental clé**, dans quelle mesure doit-elle intégrer et « endosser » l'impact de ses produits lors de leur utilisation en aval ?
 - o Si l'impact est principalement lié à la conception du produit, comme c'est le cas de la phase utilisation des produits consommateurs d'énergie
 - o Si l'impact est principalement lié à la raison d'être ou à la fonction du produit, comme c'est le cas de la phase combustion des combustibles fossiles
 - o Dans d'autres cas, les produits peuvent ne pas avoir de lien direct avec l'impact, ou au contraire avoir un rôle de réduction de cet impact : c'est par exemple le cas des systèmes de dépollution des véhicules : dans ce cas, on parlera d'analyse systémique qui permet d'attribuer au produit en amont une réduction de l'impact en aval (dans le cas des GES, on parlera des émissions évitées).

➤ Le déterminant géographique

L'exposition géographique de l'entreprise joue un rôle très important dans l'intégration stratégique des enjeux environnementaux, et ce, pour 2 raisons :

- L'impact environnemental peut dépendre de la géographie dans lequel l'activité est localisée
 - o La vulnérabilité de la cible sur lequel s'exerce l'impact est un facteur clé de cet impact. C'est le cas notamment des enjeux de biodiversité à travers la localisation des « hotspots » biodiversité (zones riches en biodiversité et particulièrement vulnérables) ou encore des enjeux de santé humaine (densité de population et vulnérabilité des populations)
 - o Les conditions d'utilisation des produits qui sont différentes d'une zone à l'autre : c'est par exemple le cas des produits dont la phase d'utilisation repose sur l'électricité (ex : véhicule électrique). Le contenu carbone de l'électricité variant fortement d'un pays à l'autre, l'impact sur le changement climatique de ce produit sera fortement dépendant du pays dans lequel le produit est vendu
- **La matérialité des enjeux environnementaux est très fortement dépendante des différents pays** : chacun des facteurs de matérialité étant significativement influencé par le pays dans lequel s'exerce l'activité
 - o Matérialité réglementation : c'est logiquement le facteur qui est le plus à même d'évoluer entre les pays à forte réglementation environnementale et les pays à faible réglementation environnementale.
 - o Matérialité coût : que ce soit à travers la réglementation, la fiscalité ou d'autres éléments comme les prix de marché locaux de l'énergie ou des déchets, la matérialité coût des enjeux environnementaux peut fortement varier.
 - o Matérialité client : la sensibilité des clients aux enjeux environnementaux est un paramètre culturel qui varie fortement d'un pays à l'autre.
 - o Matérialité réputation : ce dernier facteur de matérialité est celui qui est le plus global et qui varie le moins suivant les pays dans la mesure où certaines des parties prenantes concernées sont globales (ONG, ...).

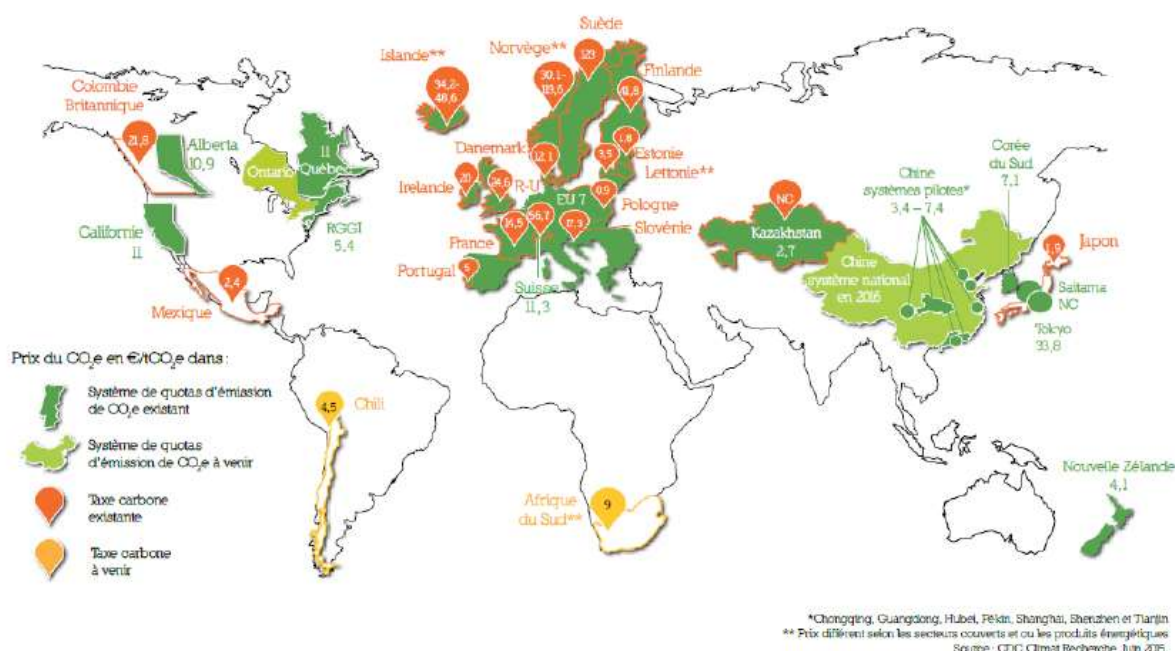


Figure 38 : Analyse géographique du prix du carbone, source I4CE

A noter que cette exposition géographique doit être appréhendée sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'activité, à travers trois niveaux :

- L'exposition géographique directe, c'est-à-dire la localisation des actifs de l'entreprise, notamment dans le cadre de la matérialité interne (réglementation, coûts).

- L'exposition géographique aval, c'est-à-dire la répartition géographique des ventes de l'entreprise, qui est importante pour l'impact de la phase d'utilisation et la matérialité client
- L'exposition géographique amont, c'est-à-dire la localisation de la supply chain de l'entreprise, qui est importante notamment pour identifier les points de la supply chain particulièrement sensibles d'un point de vue environnemental (ex : sourcing huile de palme en Indonésie).

A travers ce déterminant, l'emprise géographique spécifique de l'entreprise (notamment l'exposition aux pays à forte réglementation et préférences environnementale), est un facteur clé dans la construction de la stratégie environnementale.

Au-delà de ces 3 déterminants qui permettent la plupart du temps d'identifier les principaux enjeux environnementaux stratégiques pour l'entreprise, voici une rapide analyse de 3 facteurs qui peuvent permettre à l'entreprise d'améliorer sa compétitivité environnementale, c'est-à-dire de réduire les risques liés à ces enjeux environnementaux et/ou de saisir les opportunités.

➤ **Le facteur de la performance environnementale de l'entreprise**

Le mix produits, l'historique d'une entreprise ainsi que les actions de progrès environnemental déjà engagées sont autant de facteurs qui font que la performance environnementale de l'entreprise peut être très différente de ses concurrents.

- Si la performance environnementale de l'entreprise est supérieure à celle de ses concurrents, cela constitue une opportunité pour l'entreprise qui doit valoriser cet avantage relatif en communiquant aux parties prenantes, en essayant d'accélérer la matérialité des enjeux environnementaux concernés, et en en faisant un facteur de différenciation. Le maintien de cet avantage dans le temps grâce à des actions supplémentaires est un challenge qui permettra à l'entreprise de maintenir un avantage compétitif durable.
- Si la performance environnementale de l'entreprise est inférieure à celle de ses concurrents, cela constitue un risque dans un contexte de matérialité croissante des enjeux environnementaux : l'entreprise doit, si cela est possible, définir un plan de transformation environnementale afin de rejoindre la moyenne du secteur rapidement avant que la matérialité ne transforme cette sous-performance en handicap compétitif.

➤ **Le facteur de marge de manœuvre de l'entreprise**

La marge de manœuvre de l'entreprise concernant un enjeu environnemental est souvent fortement liée à celle de l'ensemble des entreprises du secteur. On peut distinguer ici 2 cas très différents :

- **Cas n°1** : Le secteur a des solutions technologiques pour réduire très fortement son impact sur un enjeu : c'est le cas par exemple des énergies renouvelables et du nucléaire pour le secteur de la production d'électricité et l'enjeu du changement climatique. Les solutions étant disponibles, sous la pression des parties prenantes, le secteur va entamer une transformation pour mettre en place ces solutions et la compétition entre acteurs se fera notamment sur la performance de transformation de l'entreprise. La performance environnementale étant susceptible d'évoluer fortement, une compétition intense sera aussi menée sur cette dimension.
- **Cas n°2** : le secteur n'a pas de solution technologique disponible pour réduire significativement son impact. Dans ce cas, l'attention des parties prenantes sera moindre même si l'impact environnemental reste important car il n'y a pas d'attente d'amélioration. Le risque à terme est celui de la recherche par les clients d'une solution de substitution qui rende moins indispensable une activité qui n'a pas de solution d'amélioration.

Si l'impact principal est en aval, il peut être intéressant pour l'activité d'identifier d'autres débouchés aval qui auraient un impact moindre. C'est par exemple le cas de l'exploitant de charbon qui doit chercher des usages différents de celui de la production d'électricité afin de faire face à la baisse de la demande pour production d'électricité. Si l'impact principal (« hérité ») est en amont, l'entreprise doit trouver des substituts qui la rendront moins dépendante d'une activité à fort impact et sans piste d'amélioration.

➤ Le facteur de l'anticipation de la matérialité

La confrontation de l'analyse de l'impact environnemental d'un produit et de sa matérialité est riche d'enseignements pour l'entreprise.

- Si l'impact environnemental est important et la matérialité faible, l'entreprise doit analyser le risque que la matérialité augmente (évolution de la réglementation, prise de conscience des parties prenantes, ...), et sur la base de cette analyse, établir une stratégie pour anticiper cette matérialité et/ou réduire l'impact.
- Si l'impact environnemental est faible et la matérialité importante, l'entreprise peut élaborer une stratégie pour travailler à une objectivation et plus grande équité vis-à-vis de l'impact environnemental de l'entreprise, afin d'éventuellement rapprocher la matérialité de l'impact environnemental.

3. Intérêt et rôle de l'ACV dans l'intégration stratégique des enjeux environnementaux

Après avoir parcouru dans la première section les questions clés d'intégration des enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise, cette deuxième section détaille l'apport de l'Analyse de Cycle de Vie par rapport à cette problématique. Dans le cadre de la réflexion des facteurs d'intégration des enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise, l'ACV apporte un certain nombre de solutions, comme synthétisé à la Figure 39.



Figure 39 : Récapitulatif de l'intégration des enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise

En effet, l'ACV permet :

- De fixer des points de repère au niveau sectoriel avec des ACV « moyennes de secteur » réalisées par les fédérations professionnelles ;
- De comprendre à quelle étape de la chaîne de valeur ont lieu les impacts les plus importants ;
- De positionner la performance des produits de l'entreprise par rapport aux autres produits du marché mais aussi d'évaluer la performance environnementale de l'entreprise grâce à l'ACV organisationnelle ;
- D'initier des actions d'éco-conception pour utiliser les marges de manœuvre de l'entreprise ;
- D'anticiper la matérialité en détectant des impacts environnementaux significatifs non encore matériels.

Les paragraphes ci-dessous reviennent sur certains de ces apports.

➤ **L'ACV sectorielle comme point de repère**

Avec le développement de la méthodologie ACV et des bases de données dans les années 2000-2010, les fédérations/associations professionnelles se sont penchées sur cette question de l'impact des produits mis sur le marché par leurs adhérents. Dans le but de fournir des données d'inventaire fiables aux praticiens ACV et d'éviter la concurrence entre les fabricants, les fédérations ont établi les impacts moyens des matières premières, notamment en Europe, et les ont mis à disposition des bases de données ACV (PlasticsEurope, European Aluminium, etc.). Il est donc possible pour un fabricant de se comparer à une moyenne du marché, même si les résultats d'une telle comparaison ne sont pas diffusés publiquement. Dans la lignée de ces initiatives, des démarches similaires ont été lancées dans le secteur du bâtiment, en France notamment, où certains syndicats ont établi des déclarations environnementales collectives pour certains types de produit (exemple d'Uniclimate pour le chauffe-eau solaire individuel).

➤ **L'ACV comme outil de mesure de l'avantage comparatif environnemental**

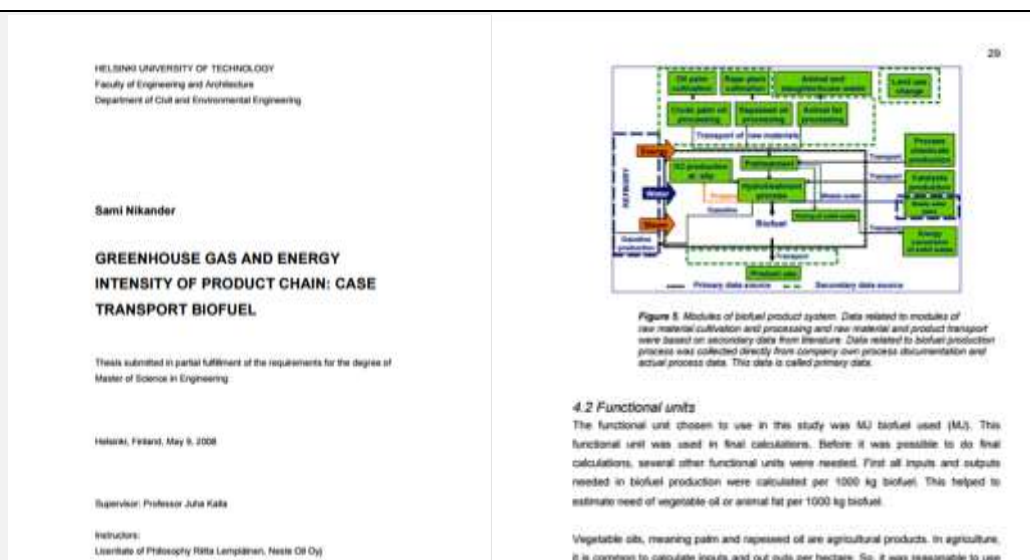
Au-delà de la comparaison avec une moyenne sectorielle, la méthode ACV est avant tout une méthode comparative qui permet de comparer les impacts environnementaux d'un produit par rapport à un autre produit remplissant la même fonction, c'est-à-dire ayant la même unité fonctionnelle. L'ACV comparative peut ainsi être un moyen de prouver la meilleure performance environnementale du produit de l'entreprise par rapport aux autres solutions disponibles, à condition toutefois de pouvoir analyser et interpréter les différences d'impacts (dans un sens ou dans l'autre) sur les enjeux environnementaux clés de ce produit. L'ACV devient alors un élément clé pour répondre aux politiques d'achats verts de ses clients.



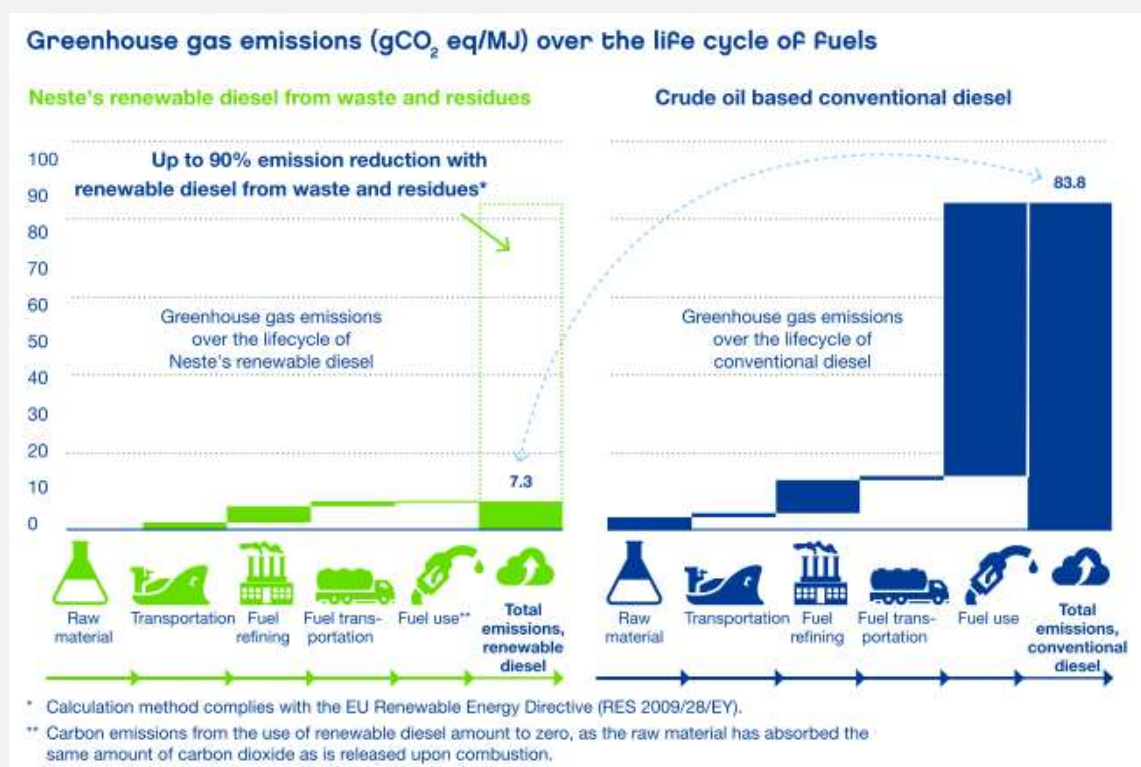
Neste, compagnie pétrolière nationale de Finlande, est chargée du raffinage et de la commercialisation de produits pétroliers dans le pays. Elle est détenue à 50,1 % par l'État finlandais et opère dans 14 pays. Née en 1948, elle produit et vend des dérivés de pétrole, essentiellement du carburant pour différentes applications (aviation, marine, chauffage), des lubrifiants et des solvants. Elle possède également des activités de production d'agrocarburants, notamment à partir d'huile de palme.

Dans le cadre d'une de ses études, Neste s'est attaché à déterminer l'impact environnemental du cycle de vie d'agrocarburants à partir de plusieurs sources agricoles et de le comparer à l'impact d'un carburant fossile. L'étude se concentre sur l'impact sur le changement climatique et l'intensité énergétique, afin de répondre aux exigences de la Directive « Energies Renouvelables » (Directive 2009/28/CE relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables). Neste pousse la transparence jusqu'à mettre en ligne le rapport détaillé de l'ACV (https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/case_study_of_nexbt_l_ghg_and_energy_intensity.pdf),

....



... mais fait aussi l'effort de clarifier et simplifier le discours vis-à-vis des clients, et ce sur les pages principales du site internet.



Le graphique présenté par Neste illustre clairement les réductions de l'impact sur le changement climatique du fait de l'utilisation de biocarburants.

➤ L'ACV pour les organisations

Sous l'impulsion du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, les acteurs de l'ACV travaillent à l'élaboration des nouveaux cadres méthodologiques d'analyse multicritères afin d'explorer en détail le potentiel et l'applicabilité de l'analyse du cycle de vie, notamment aux organisations. L'ACV est donc un cadre méthodologique évolutif, transposable à différentes échelles d'analyse (ACV organisation, ACV d'un quartier, ACV territoire) ou thématiques (ACV sociale).

En ce qui concerne l'ACV organisationnelle (ACV-O), elle utilise une perspective de cycle de vie pour compiler et évaluer les flux entrants, sortants et les impacts environnementaux potentiels des activités associées à une organisation et à la fourniture de son portefeuille de produits. Cette approche essaye de répondre à plusieurs objectifs, que ce soit l'identification des enjeux environnementaux importants

sur l'ensemble de la chaîne de valeur, le suivi de la performance ou encore l'aide à la décision dans un contexte de stratégie d'entreprise. L'ACV-O peut s'appliquer à toutes les organisations, publiques et privées, dans tous les secteurs économiques, et partout dans le monde. On peut imaginer que cette approche sera transposable à l'échelle d'un secteur d'activité dans le futur. Le cadre méthodologique de l'ACV-O est actuellement testé au niveau européen avec l'initiative PEF/OEF. Elle fait par ailleurs l'objet de la norme ISO 14072.

Ainsi l'ACV permet à l'entreprise d'orienter son offre, en s'appuyant sur les connaissances acquises par l'ACV de produit, et d'orienter sa stratégie globale, en s'appuyant sur l'ACV organisationnelle.

➤ L'ACV comme point de départ d'une stratégie d'éco-conception

L'éco-conception est définie comme « **l'intégration de l'environnement dès la conception d'un produit/service et tout au long de son cycle de vie** ». A ce titre, l'analyse de cycle de vie est l'outil de diagnostic logique qui permet d'initier une démarche d'éco-conception sur un produit.

Au niveau de l'entreprise, l'intégration de l'éco-conception dans les processus de l'entreprise, de la Recherche et Développement à la Communication, à travers un véritable programme Eco-conception, est de plus en plus recherchée : déployer une démarche d'éco-conception permet d'améliorer la performance environnementale de l'entreprise à travers sa dimension produit. Dans le cadre de tels programmes, l'ACV est souvent systématisée au sein de l'entreprise en étant rendue obligatoire dans le cadre de la conception et mise sur le marché de nouveaux produits.



3M est une entreprise américaine spécialisée dans différents domaines d'activités, que ce soit pour le grand public (avec ses produits de papeterie comme Post-It ou ses produits d'entretien comme Scotch-Brite) ou pour les professionnels (marché électrique/électronique avec ses câbles et ses accessoires de raccordement, marché de la santé, de l'industrie, etc.).

3M fait partie de ces entreprises dont la problématique environnementale a été, très tôt, intégrée aux activités. Dès les années 1970, 3M a adopté une politique environnementale basée sur la prévention de la pollution, comme c'était principalement le cas dans ces années-là. Par la suite, la protection de l'environnement a évolué et consiste désormais à développer des produits ayant un impact réduit tout au long de leur cycle de vie, en utilisant des processus de fabrication permettant la réduction de rejets polluants et visant à économiser les ressources naturelles. Ainsi, 3M a réduit, notamment, l'utilisation de matières premières, la consommation d'énergie, et donc les coûts sur le cycle de vie des produits. Ces éléments ont permis à 3M de se différencier de la concurrence, de développer des solutions à haute valeur ajoutée, de s'implanter sur de nouveaux segments, d'augmenter leurs parts de marché et de conquérir de nouveaux clients.



Les engagements de 3M concernant la réduction des impacts environnementaux sur le cycle de vie des produits et l'éco-conception sont inscrits au cœur d'une politique environnementale du groupe intitulée « Corporate Life Cycle Management Policy » (en vigueur depuis 2001). A travers ce document, 3M s'engage à ce que l'environnement soit pris en compte dès la phase de conception, et sur l'ensemble des étapes du cycle de vie du

produit. Ainsi, il est expliqué que tous les produits doivent subir une « revue du cycle de vie » (*Life Cycle Management review*) avant leur commercialisation, ce qui positionne l'ACV comme véritable point de départ de leur stratégie d'éco-conception.

Source : 3M Sustainability Report 2017

4. Intérêt et rôle des Limites Planétaires dans l'intégration stratégique des enjeux environnementaux

Après avoir identifié les apports des Limites Planétaires au cadre d'intégration stratégique des enjeux environnementaux, nous analyserons l'état d'avancement de la mise en œuvre pour les différentes limites planétaires et verrons comment la mise en œuvre sur la limite climat est beaucoup plus opérationnelle grâce aux nombreux travaux et outils disponibles, avant d'analyser des exemples plus expérimentaux d'application des autres limites.

4.1. De nouveaux éléments pour l'intégration dans la stratégie

Comme le montre la Figure 40, le concept de Limites Planétaires permet d'aider à l'intégration des enjeux environnementaux dans la stratégie, tant en termes de diagnostic que d'objectifs d'amélioration.

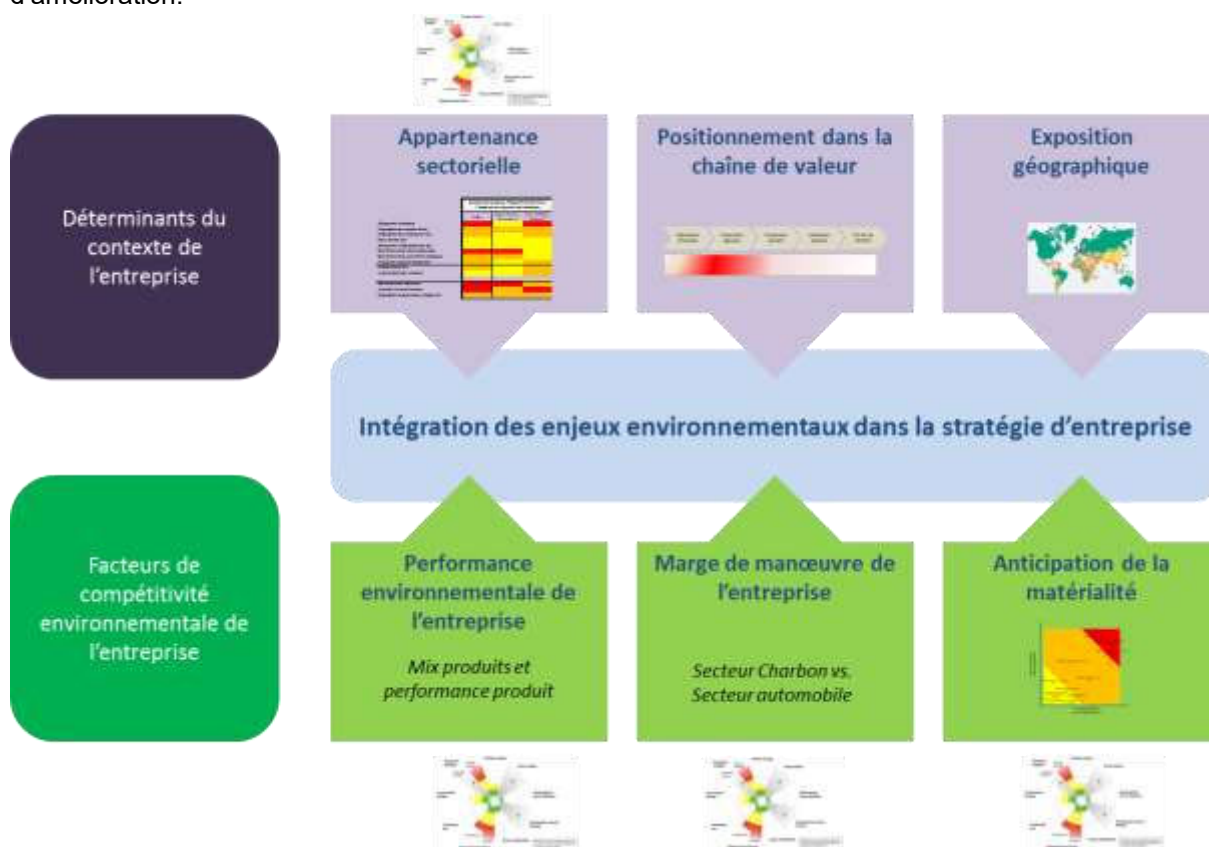


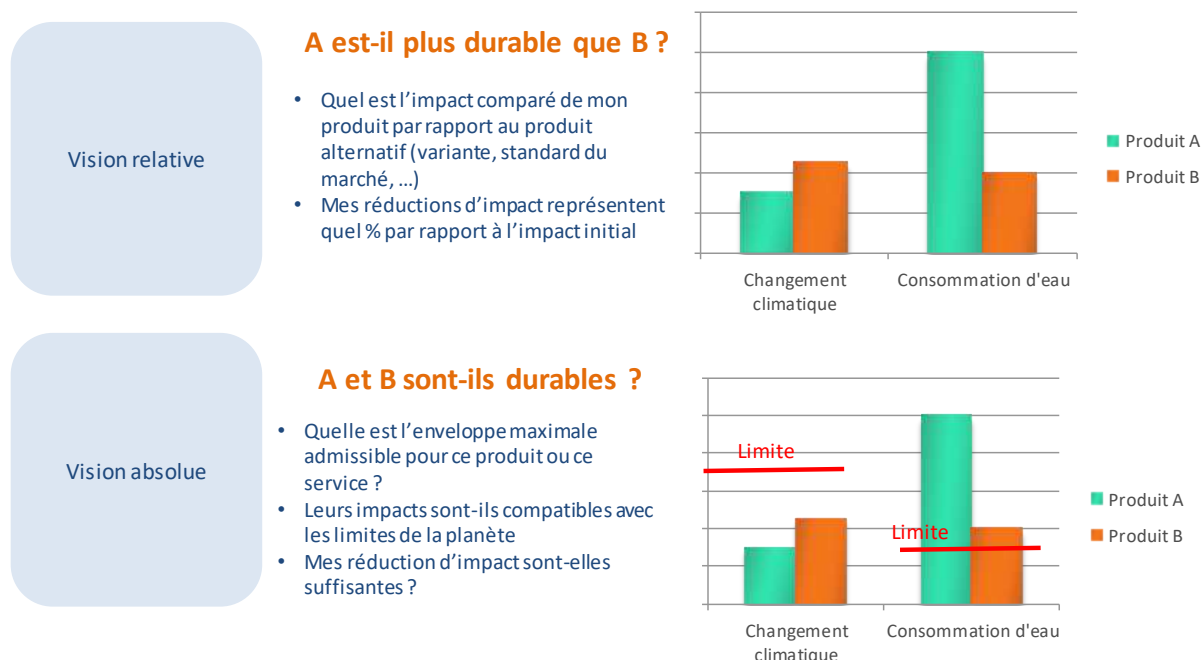
Figure 40 : Prise en compte des enjeux environnementaux dans la stratégie d'entreprise

Le concept des limites planétaires permet notamment :

- De définir des nouveaux enjeux prioritaires au niveau d'un secteur
- D'aborder la performance environnementale sous un angle absolu plutôt que relatif
- D'utiliser la marge de manœuvre de l'entreprise pour définir une trajectoire de réduction alignée avec les limites planétaires
- D'identifier les enjeux qui pourraient devenir matériels car reconnus comme prioritaires par les Limites Planétaires

4.2. Un changement stratégique de perspective : passage d'une vision relative à une vision absolue

Une limite classique dans l'interprétation des résultats d'ACV réside dans la difficulté à hiérarchiser les résultats multicritères, chaque axe étant indépendant des autres. Les limites planétaires proposent une base de normalisation partagée et cohérente pour les différents axes. Ainsi, la lecture des résultats d'ACV pourrait être facilitée.



4.3. Application stratégique du concept de Limites Planétaires et mise en œuvre opérationnelle

Comme indiqué à la Figure 42, pour chaque limite planétaire, on peut distinguer trois principales étapes dans la mise en œuvre opérationnelle du concept :

- **L'évaluation de la limite de la planète** : c'est ce que les travaux initiaux sur les Limites Planétaires ont établi, en fixant des valeurs limites à chaque variable de contrôle.
- **L'évaluation des limites de l'impact des activités humaines** : passer des limites de la planète aux limites de l'impact des activités humaines suppose de pouvoir d'une part modéliser la contribution d'un flux annuel à la variable de contrôle (il s'agit souvent d'une variable d'état, et non de flux), et d'autre part de savoir soustraire la contribution « naturelle », pour en déduire les émissions humaines admissibles par an. Cette modélisation permet ainsi de définir une Capacité Planétaire, c'est-à-dire l'émission maximale à ne pas dépasser pour ne pas franchir la Limite Planétaire. Cette Capacité Planétaire peut faire l'objet d'une **trajectoire temporelle** qui permet de mieux rendre compte d'une transition possible et optimale entre l'impact actuel de l'activité humaine et l'impact souhaité pour être compatible avec cette Limite Planétaire.
- **L'évaluation du partage de responsabilité** : allouer la réduction globale de l'ensemble des acteurs à chaque secteur ou à chaque produit n'est pas un processus purement scientifique. Il repose à la fois sur une modélisation technico-économique de chaque secteur, une modélisation macro-économique de la transition, mais aussi sur des considérations de gouvernance et d'équité (cf. Section 3.4) qui font de cette étape une étape de négociation entre les parties plutôt que d'une modélisation scientifique.

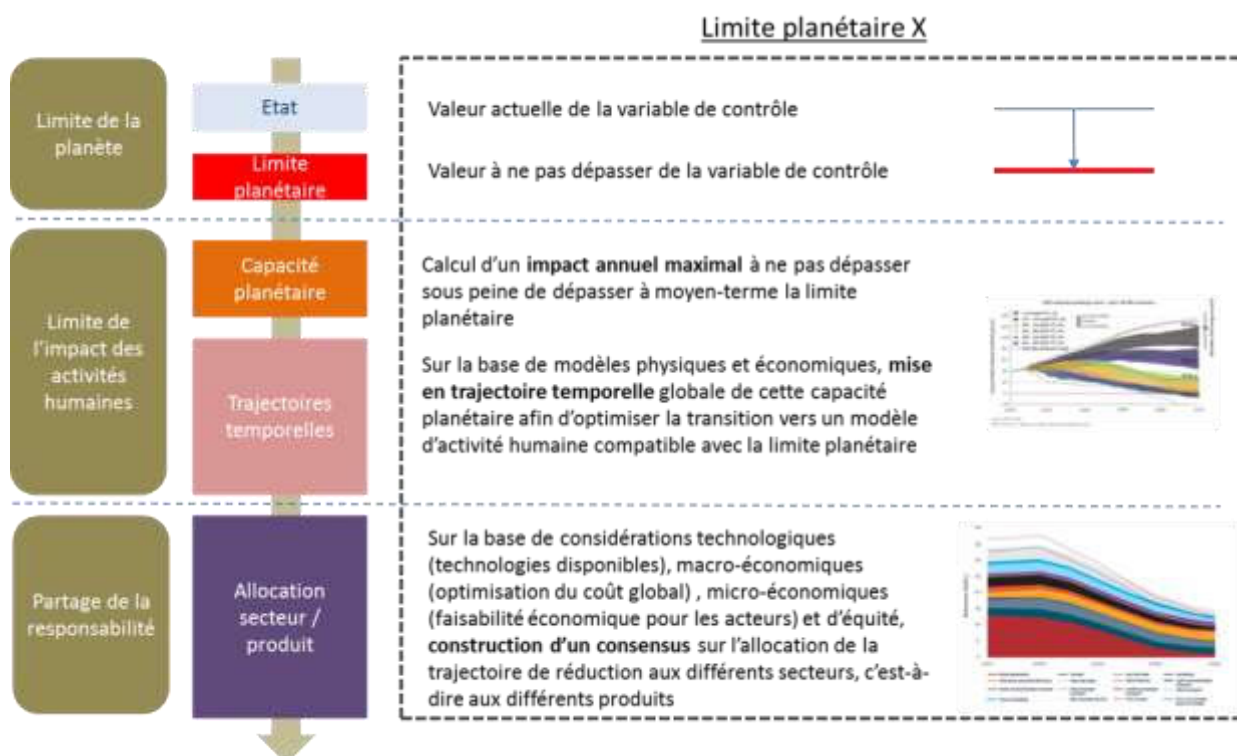


Figure 42 : Schéma général de mise en œuvre des Limites Planétaires (I Care & Consult, 2017)



Unilever, multinationale anglo-néerlandaise dans le secteur de l'agroalimentaire, est depuis longtemps sensibilisée aux enjeux environnementaux. La méthodologie basée sur l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est grandement utilisée dans l'entreprise, et régulièrement améliorée pour affiner les périmètres ou combler les manquements en données. Cependant, il devient de plus en plus important pour compléter cette analyse de développer une approche plus prédictive, et qui prendrait en compte la disponibilité limitée de nombre de ressources et les limites absolues de la planète en termes de durabilité. L'approche « Limites Planétaires » est considérée comme une des approches les plus pertinentes pour répondre à ces enjeux. On trouve une correspondance entre certaines limites planétaires et le Unilever's Sustainable Living Plan (USLP), comme l'objectif d'une déforestation zéro, correspondant à la limite de modifications des usages des sols, ou l'engagement d'améliorer l'eau, l'hygiène et l'assainissement (WaSH), en lien avec la limite sur l'utilisation d'eau douce.

Un des enjeux de l'utilisation des Limites Planétaires comme approche méthodologique est de transformer le concept en outils opérationnels. Fin 2014, l'Unilever's Safety and Environmental Assurance Centre (SEAC) et le Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, ont organisé un séminaire sur le sujet. Le résultat principal de ce séminaire est une « roadmap » présentant comment opérationnaliser le concept de Limites Planétaires et mettant en avant comment des outils d'aide à la décision permettraient de mettre en pratique le concept et de le diffuser. Une publication fin 2016/début 2017 dans la revue Sustainability détaille les propositions issues de cette réflexion: « The Challenges of Applying Planetary Boundaries as a Basis for Strategic Decision-Making in Companies with Global Supply Chains ».

Trois défis ont été identifiés quant à l'opérationnalisation de l'approche des Limites Planétaires :

- Identifier les seuils à différentes échelles géographiques
- Allouer des parts équitables aux différentes parties de la chaîne de valeur
- Coordonner l'implémentation des mesures par l'intermédiaire d'organismes internationaux

Ce travail préliminaire est nécessaire pour permettre aux Limites Planétaires d'être utiles dans les processus de décisions des entreprises.

4.4. Revue de l'état d'avancement de la mise en œuvre pour les différentes limites planétaires

L'état d'avancement de la mise en œuvre des limites planétaires est très hétérogène. Alors qu'il est très avancé pour la limite Changement Climatique, il reste très limité pour le plus grand nombre de limites planétaires, comme l'indique la Figure 43. Dans les paragraphes suivants, nous proposons une analyse de l'état d'avancement des limites planétaires pour l'étape 2 qui est une étape cruciale et qui couvre deux principales sous-étapes : l'établissement des capacités planétaires et la définition de trajectoires temporelles de réduction.

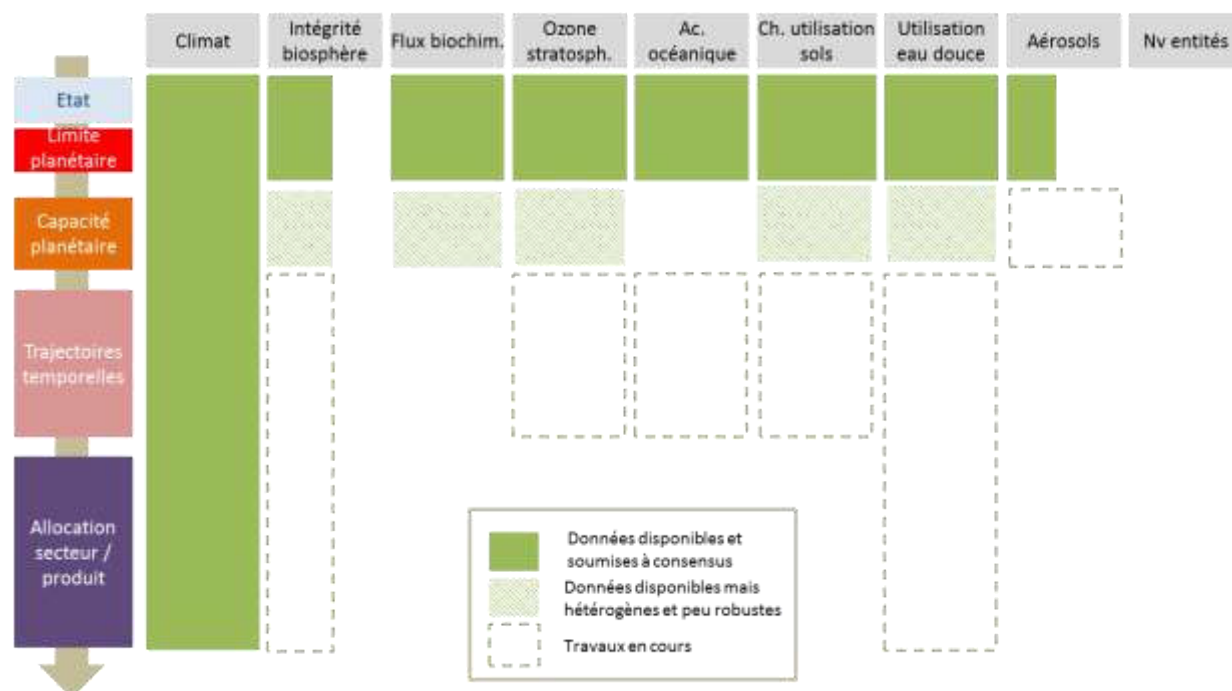


Figure 43 : Représentation schématique de l'état d'avancement et de mise en œuvre des Limites Planétaires (I Care & Consult, 2017)

➤ Capacités Planétaires

Pour la plupart des limites planétaires, les travaux récents ont permis de convertir les limites planétaires en « capacités planétaires » (carrying capacities). Les résultats obtenus sont cependant assez différents d'un auteur à l'autre (cf. Tableau 10). Cette traduction de limites planétaires en termes de capacités planétaires a notamment été proposée par Bjoern et Hauschild en 2015. Ces capacités sont chacune ramenées en équivalent par personne en divisant la valeur de la capacité par le nombre d'habitants. Pour illustrer cette approche, nous proposons de détailler l'établissement de la Capacité planétaire pour 3 limites et de montrer certaines problématiques transverses à la définition et à l'utilisation de ces capacités planétaires.

Changement climatique

La capacité globale est obtenue:

- En appliquant la méthode de Shine et al. (2005) de l' « Absolute Global Temperature change Potential for a sustained emission change » (AGTP_s – le changement potentiel global absolu de température pour un changement durable d'émission) pour les gaz autres que le dioxyde de carbone (non CO₂) ;
- En utilisant le modèle GEOCARB de Berner et Kothavala (2001 ; UC 2014) pour le dioxyde de carbone (CO₂). Le calcul est mené sur 1,95 million d'années.

La même valeur s'applique au niveau global et européen :

- Capacité : 985 kg CO₂-eq/personne/an pour la cible de 2°C ;
- Capacité : 522 kg CO₂-eq/personne/an pour le forçage radiatif de 1 W/m².

Appauvrissement des ressources en eau

Le seuil global a été choisi selon Gerten (Gerten et al., 2013), dont les travaux affinent la précision de cette Limite Planétaire. Pour le seuil européen, un calcul plus complexe a été fait en se basant sur l'accessibilité de la ressource en eau bleue et en retirant la fraction réservée aux écosystèmes terrestres (selon Gerten et al. 2013). Les capacités ont été obtenues en divisant directement ces seuils par les populations mondiales et européennes respectivement, pour obtenir 306 m³/personne/an à l'échelle globale et 490 m³/personne/an à l'échelle européenne.

Appauvrissement de la couche d'ozone

Bjoern et Hauschild retiennent non pas la valeur de seuil de 5% de réduction de la couche d'ozone par rapport à 1964-1980, mais une valeur de 7,5%, de façon en partie arbitraire. Une régression linéaire est utilisée pour traduire la variation d'épaisseur de la couche d'ozone en variation de l'EESC (Equivalent Effective Stratospheric Chlorine), elle donne moins 1,51 ppt. Le modèle de Daniels et Velders (Velders & Daniel, 2014) est ensuite utilisé pour calculer les émissions permanentes de CFC-11-eq menant à cette réduction de l'EESC à l'équilibre, on obtient 78 g CFC-11-eq/personne/an. Cette valeur est valable à l'échelle globale et européenne.

Limites planétaires et impacts locaux

Tout comme l'ACV, le concept de Limites Planétaires est particulièrement pertinent pour les impacts globaux. Sa déclinaison sur des impacts locaux est plus délicate. Par exemple, la publication de Steffen et al. montre que la planète est encore loin de la limite sur la dimension « consommation d'eau ». Pour autant, il est bien connu que de grandes zones du globe sont soumises à un stress hydrique sévère. La consommation d'eau est un indicateur qui s'évalue correctement à une échelle locale, celle d'un bassin versant, voire à une échelle encore moindre. Le fait que certaines zones soient soumises à un stress hydrique est masqué par le fait que d'autres bénéficient d'un surplus d'eau douce disponible. Il est donc clair qu'une valeur limite globale pour un impact local n'a pas vraiment de sens. C'est bien à l'échelle locale que de tels seuils doivent être définis pour évaluer la situation locale. Un indicateur global pertinent pourrait résulter de l'agrégation des indicateurs locaux – mais se pose alors la question du mode d'agrégation. Une pondération par la population concernée pourrait-elle faire sens ? Parmi les Limites planétaires identifiées par Steffen et al, au moins cinq concernent des impacts localisés : aérosols, flux N et P, eau douce, occupation des sols

Synthèse

Dans le Tableau 10 ci-dessous, trois sources bibliographiques différentes sont comparées. Le tableau met en évidence des différences sensibles dans les estimations des capacités planétaires. Les calculs de Sandin concernent un horizon proche – 2050, et ne sont pas ramenés à un calcul par tête. Les calculs de Doka s'appuient sur une hypothèse de 10 milliards de personnes dans le monde, alors que ceux de Bjørn et Hauschild sur une population de près de 7 milliards. Nous avons recalculé les indicateurs pour lesquels une base cohérente pouvait être facilement établie, et n'affichons pas de valeur dans les cas contraires.

Le Tableau 10 montre les importants écarts entre les évaluations des « carrying capacities » par les différents chercheurs. Pour le changement climatique par exemple, les valeurs vont de 0 à 1150 kg/personne/an, en passant par une valeur intermédiaire. Ces énormes écarts témoignent du manque de maturité du sujet et du besoin de travaux de recherche complémentaires pour consolider et fiabiliser ces résultats avant de pouvoir les utiliser de façon opérationnelle. L'analyse des publications semble indiquer que les travaux de Bjørn et Hauschild sont plus approfondis que ceux de Doka mais celui-ci fournit systématiquement une valeur pour chaque limite planétaire (la justification du calcul restant simple voire simpliste).

Les principaux chercheurs impliqués dans ces travaux communiquent de façon régulière pour avancer dans ce sens. C'est le « LCAbsolute network », animé par Anders Bjoern, dont l'objectif est de rassembler et comparer les différentes méthodes et approches pour les faire progresser. Mi-2017, force est de constater que ce sujet de recherche émergent est encore très peu mature, ce qui est

logique, et que la convergence des méthodes et des valeurs de normalisation n'est pas encore d'actualité. Une présentation du réseau LCAbsolute est intégrée en Annexe 3

Tableau 10 : Comparaison des Capacités Planétaires proposées par trois sources pour une application en ACV

Planetary Boundaries	Parameters	Bjørn and Hauschild Global (2015) per capita per year	Doka (2016) per capita per year	Sandin et. Al (2015) per capita per year*
Climate change	≤ 350 ppm CO ₂ in atmosphere and ≤ 1 W/m ² warming power surplus	679,65 kg CO ₂ -eq 360,18 kg CO ₂ -eq	1150.75 kg CO ₂ -eq	0 kg CO ₂ -eq
Loss of biosphere integrity (previously: biodiversity loss)	≤ 10 extinctions per million species.yr (E/MSY)	N/A	0.0000195 E/MSY	Calculation was not possible
Change to biochemical flows – Nitrogen and Phosphorus	≤ 62 Mt N /yr fixation ≤ 11 Mt P /yr emitted to ocean ≤ 6.2 Mt P mined + applied to erodible soils	8,57 kg N eq	6.2 kg N eq 1.1 kg P eq	≤ 6,15 kg N eq ≤ 0,968 kg P eq emitted to ocean ≤ 0,616 kg P eq mined to erodible soils
Loss of stratospheric ozone (previously: stratospheric ozone depletion)	≥ 276 Dobson Units stratospheric ozone concentration	0,05382 kg CFC-11-eq	0.04094 kg CFC-11-eq	N/A
Ocean acidification	>80% of pre-industrial level	N/A	N/A	N/A
Freshwater abstraction (previously: global freshwater use)	≤ 4000 km ³ / yr blue water use	68 500 L**	400 000 L or 4x10 ⁻⁷ km ³	400 000 L
Land use change (previously: change in land use)	≥ 75% original forest cover (global average)	Non-ILCD compliant (not the same units)	8510 m ² non-forest land occupation	0 m ² increase in non-forest land occupation
Atmospheric aerosol loading	Particulate concentration in the atmosphere, measured as Aerosol Optical Depth. Regionally determined for South Asia.	N/A	Various particle generating emissions (SO ₂ , NH ₃ , NO ₂ , NMVOC, PM) derived from 2.22·10 ⁻¹² AOD.yr	N/A
Release of novel entities (previously: chemical pollution)	Multiple boundaries, yet to be determined	N/A	N/A	N/A

**Pour Sandin et al (2015) les valeurs sont définies pour rester dans le terrain de jeu planétaire à l'horizon 2050. Pour les limites largement dépassées, le changement climatique par exemple, le chiffre 0 signifie que pour retrouver un niveau de CO₂ à 350 ppm, il ne faut plus produire du tout d'émission nette de GES dans l'atmosphère comparativement aux niveaux actuels décrits dans Steffen et al. Des émissions peuvent toutefois être possibles si elles sont compensées par ailleurs. Il en est de même pour le changement d'usage des sols.*

*** Ces valeurs ont été recalculées par le JRC pour assurer la conformité des méthodes et résultats de calcul avec ILCD. La méthode de calcul n'est toutefois pas clairement explicitée.*

➤ Allocation juste d'un seuil planétaire à un produit

Pour une application des limites planétaires dans la méthodologie d'ACV de façon « absolue », il faut décliner la « carrying capacity » pour la ramener au secteur, puis au produit – ou à l'entreprise. Mais quelles clés de répartition utiliser pour cela ?

Une première voie consiste à ramener la capacité à une personne, selon différentes méthodes : équi-répartition, méthode historique (fondée sur les niveaux actuels de consommation et/ou d'émission), méthode éthique (fondée sur le fait d'offrir l'opportunité aux pays les moins avancés de rattraper leur retard), etc. Les experts des Limites Planétaires militent pour une équi-répartition entre les individus. Une fois définie cette allocation individuelle, le passage au produit pourrait se faire via le panier moyen de biens et services auquel l'individu a accès – avec tous les soucis que peut poser la définition d'un panier moyen, en termes de variabilité géographique, de variabilité de préférences, etc.

Une autre méthode consiste à répartir les capacités par secteur. C'est ce qui a été fait pour le changement climatique dans le cadre de Science Based Targets, et qui est également proposé par le JRC dans son document de décembre 2016. Là encore, le consensus n'est pas évident à construire, et le travail ne s'arrête pas à l'allocation sectorielle, encore faut-il décliner l'allocation jusqu'au produit, sur une base de valeur, de volume, de qualité...

➤ Trajectoires de réduction d'impact

Il n'existe pas encore de façon systématique pour chaque limite planétaire de publications sur les trajectoires de réduction d'impact. Des projets sont en cours pour aider les gouvernements à mettre en place des politiques durables basées sur les limites planétaires, dont

- Le projet européen DYNAMIX (<http://dynamix-project.eu/>) composé de neuf instituts de recherche européens, ainsi que
- Des travaux de recherche menés par 3 entités européennes décrites sur le site du réseau de recherche sur les limites planétaires (<http://www.pb-net.org/research/pathways>).

En revanche, des rapports ou articles publient des trajectoires relatives à certaines limites planétaires, sans toutefois y faire explicitement référence. Nous avons mené une recherche sur internet et avons repéré les travaux suivants, qui pourraient servir de base à une application du concept des limites planétaires en ACV, en définissant une capacité sectorielle associée à un calendrier :

- Pour le **changement climatique**, les travaux du GIEC et de l'AIE font référence (voir section 4.5).
- Pour la **perte de l'intégrité de la biosphère**, un rapport rédigé par Kok (Kok et al., 2014) est disponible. Ce rapport propose des scénarios et les efforts que doivent fournir différents secteurs pour limiter au minimum l'impact sur la biodiversité.

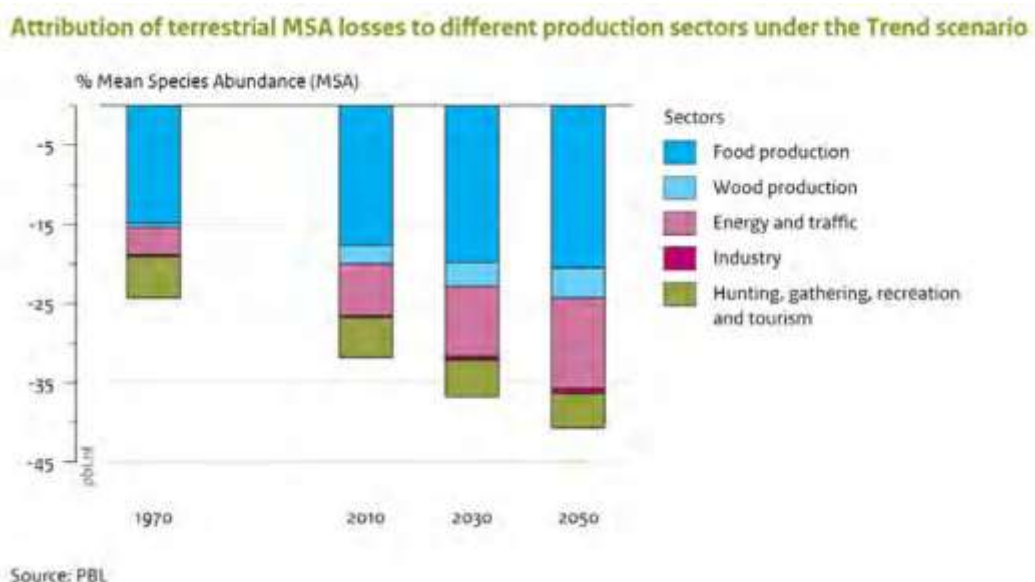


Figure 44 : Limitation de l'impact sur la biodiversité par secteur

- Pour ***l'appauvrissement de la couche d'ozone***, un rapport existe sur l'inventaire et les scénarios sur les émissions du protoxyde d'azote (N_2O – nitrous oxide) qui est le contributeur le plus important à l'impact sur la couche d'ozone depuis l'application du protocole de Montréal. Il est aussi le troisième gaz à effet de serre et affecte le changement climatique. Cet impact sur la couche d'ozone est divisé par secteurs et des scénarios allant jusqu'à 2050 sont définis par Davidson et Kanter (Davidson & Kanter, 2014).
- Pour ***l'acidification océanique***, un article scientifique sur le marché des mollusques aux États-Unis a été publié par Moore (Moore, 2015) et donne des trajectoires liées à la concentration de CO_2 dans l'air et la température à la surface des océans sur l'acidification océanique et la répercussion sur la production de mollusques et le niveau de saturation en aragonite avec 3 scénarios.
- Pour ***l'usage des sols***, un article publié par Popp (Popp et al., 2017) définit des scénarios socio-économiques pour l'agriculture en distinguant la production de nourriture par l'élevage et par l'agriculture, mais aussi la production de biocarburants et prend en compte les lignes politiques, certaines habitudes de consommation et le commerce international. L'article suit l'évolution de ces variables jusqu'à l'horizon 2100.
- Pour ***l'utilisation d'eau douce***, il existe plusieurs sources définissant des scénarios d'usage de l'eau sur plusieurs horizons. Citons notamment le rapport de Tramberend (Tramberend et al., 2015), qui distingue les eaux industrielles (fabrication et énergie), les eaux domestiques, et les eaux agricoles et la distribution mondiale de l'eau par pays. La définition complète des scénarios socio-économiques se trouve dans l'article de Wada (Wada et al., 2016). Un dernier article de Fricko (Fricko et al., 2016) se concentre sur la cible des $2^\circ C$ et le secteur de l'énergie et sa consommation en eau avec des scénarios jusqu'à l'horizon 2100.

4.5. Limite Climat : une « suite » d'outils qui foisonnent pour rendre opérationnel le concept pour les entreprises

La limite Planétaire Climat a une place à part dans la réflexion générale sur les limites planétaires. En effet, inscrite à l'agenda international depuis plus de vingt ans et du fait de son caractère global, elle a fait émerger des outils et des méthodes plus avancées que pour les autres limites planétaires. Ce qui est à noter, c'est la façon dont aujourd'hui les différentes initiatives se « chaînent » (GIEC/AIE/SDA/ACT) pour proposer aux acteurs une suite d'outils cohérents pour définir et évaluer des trajectoires compatibles avec la limite Planétaire Climat, comme le montre la Figure 45 ci-dessous.

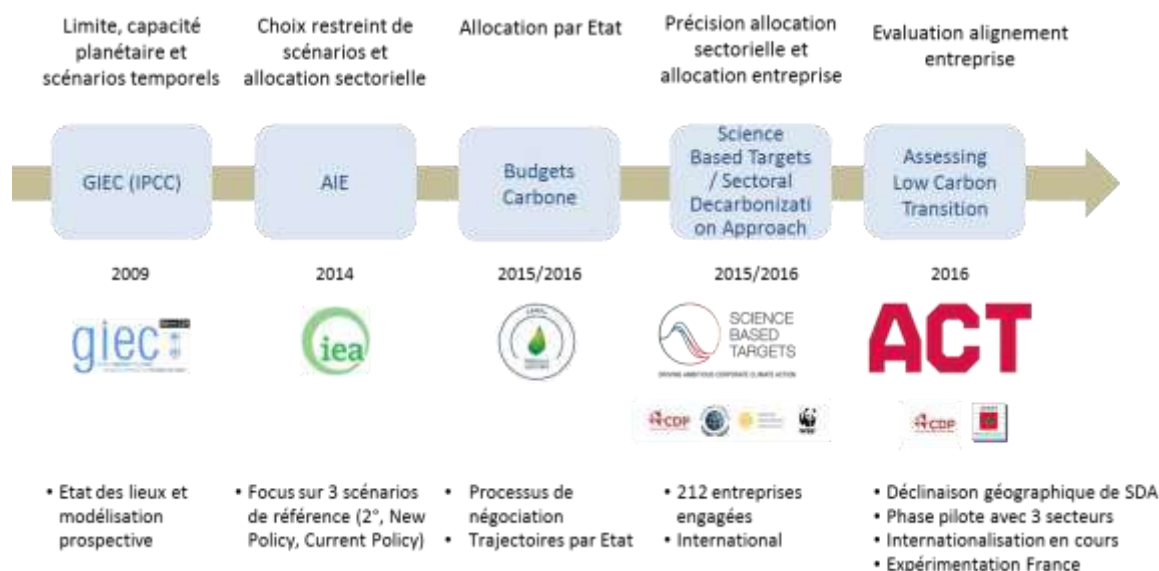


Figure 45 : « Suite d'outils » sur la limite Climat (source I Care & Consult, 2017)

➤ Constat du GIEC et premiers éléments sur la Limite Climat

Sans que l'on parle explicitement de « limite planétaire », le traitement de la thématique du changement climatique par les politiques publiques suit le cadre d'analyse proposé pour la mise en œuvre des Limites Planétaires. Les Etats et les Entreprises appliquent ainsi les Limites Planétaires comme Monsieur Jourdain faisait de la prose : sans le savoir.

En 2009, lors de la quinzième *Conference of Parties* (COP15), les pays du monde entier (196 pays) s'accordent sur l'objectif de limiter à 2°C le réchauffement par rapport à 1850. (équivalent de la Limite Planétaire). Au-delà de ce seuil, les changements climatiques auront des conséquences irréversibles sur l'environnement.

Le lien direct entre concentration atmosphérique en gaz à effet de serre (GES) et augmentation de la température moyenne à la surface de la terre, permet de déterminer le budget carbone à ne pas dépasser (équivalent de la Capacité Planétaire), pour tenir ces engagements. Le GIEC indique que pour avoir une probabilité de 50% de rester sous les 2°C d'ici à 2100, les émissions cumulées de CO₂ entre 1870 et 2100 ne doivent pas dépasser 3000 GtCO₂. Or entre 1870 et 2011, les émissions ont été de 1700 GtCO₂. Le budget restant en 2011 est donc de 1300 GtCO₂, soit l'équivalent d'environ 30 années d'émissions au rythme de 2014. Enfin, pour avoir une probabilité de 66% de rester sous les 2°C, le budget restant serait de 1000 GtCO₂.

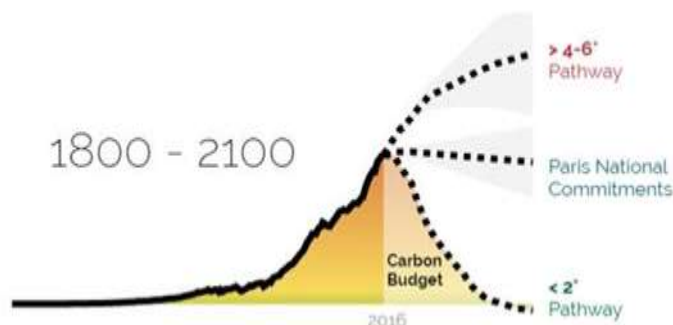


Figure 46 : Schéma de principe du Budget Carbone (Science Based Targets, 2017)

Pour décliner le budget carbone aux acteurs économiques, l'Union Européenne a mis en place en 2005 un système communautaire d'échange de quota d'émission (SCEQE) ou European Union

Emission Trading Scheme (EU ETS). Celui-ci cible plus de 10 000 installations des secteurs énergétiques et industriels⁸, en allouant à chaque entreprise un quota de CO₂ à ne pas dépasser : c'est ainsi la première allocation sectorielle de la Capacité Planétaire Climat, mais limitée au secteur industriel et au périmètre européen.

➤ **COP21 et Accord de Paris : des trajectoires de réduction par pays**

En 2015, la COP21 a réuni à Paris l'ensemble des parties prenantes et a débouché sur l'accord de Paris : celui-ci fixe l'objectif ambitieux de « *contenir le réchauffement bien en dessous de 2° C par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre les efforts pour limiter la hausse des températures à 1,5°C* ».

Contrairement aux mécanismes de Kyoto, les objectifs par pays sont cette fois ci déterminés avec une approche « bottom-up » (et non « top-down »), chacun des pays se fixant sa propre trajectoire de réduction (Intended Nationally Determined Contributions= INDCs), et s'engageant à réviser ces trajectoires tous les 5 ans. Ce mécanisme est en ligne avec le principe des responsabilités communes mais différenciées de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) et fait écho aux questionnements d'allocation de la trajectoire globale de réduction qui est celui qui est au cœur de la mise en œuvre des Limites Planétaires.

Si cette approche a permis d'arriver à l'accord, il reste que ces engagements ne « bouclent pas » avec l'objectif global. En prenant en compte les contributions volontaires déposées par les 162 parties sur le total des 190 parties de l'accord, elles sont, comme le montre la Figure 47, nettement insuffisantes pour contenir le réchauffement à un maximum de 2 °C, et a fortiori de 1,5 °C. Le PNUE a calculé que si les Etats atteignent tous les objectifs inscrits dans leurs INDC, le réchauffement sera de 2,9°C à 3,4°C.

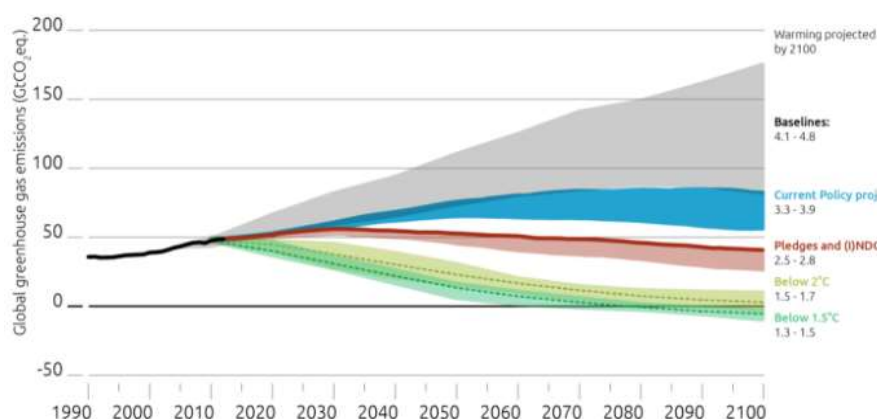


Figure 47 : Analyse des INDC par le PNUE

➤ **Systématisation de la démarche : l'exemple de la Stratégie Nationale Bas Carbone**

En 2015, la France a adopté la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC). Elle donne les orientations stratégiques pour mettre en œuvre, par secteur d'activité (transport, logement, industrie, agriculture, énergie, déchets), la transition vers une économie bas-carbone. Elle décline des budgets carbone indicatifs pluriannuels et par secteur (pour 6 macro-secteurs).

Pour cela, la SNBC s'est basée un exercice de prospective Energie – Climat – Air réalisé par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, appelé scénario AMS2. Ce scénario comprend toutes les mesures effectivement adoptées ou exécutées avant le 1^{er} janvier 2014, ainsi que celle de la loi TECV et propose une combinaison de différents leviers sectoriels (mesures, technologies, comportements) permettant d'être en phase avec les objectifs énergétiques et de

⁸ Couvrant près de la moitié des émissions globales de CO₂ de l'UE, soit de l'ordre de 2 GtCO₂/a

réduction des émissions de GES de la France aux horizons 2025, 2030 et 2050. La SNBC sera pilotée dans le temps grâce à l'adoption successive de Budgets carbone qui permettront d'adapter les allocations sectorielles au cours du temps, notamment pour tenir compte des évolutions technologiques et économiques.

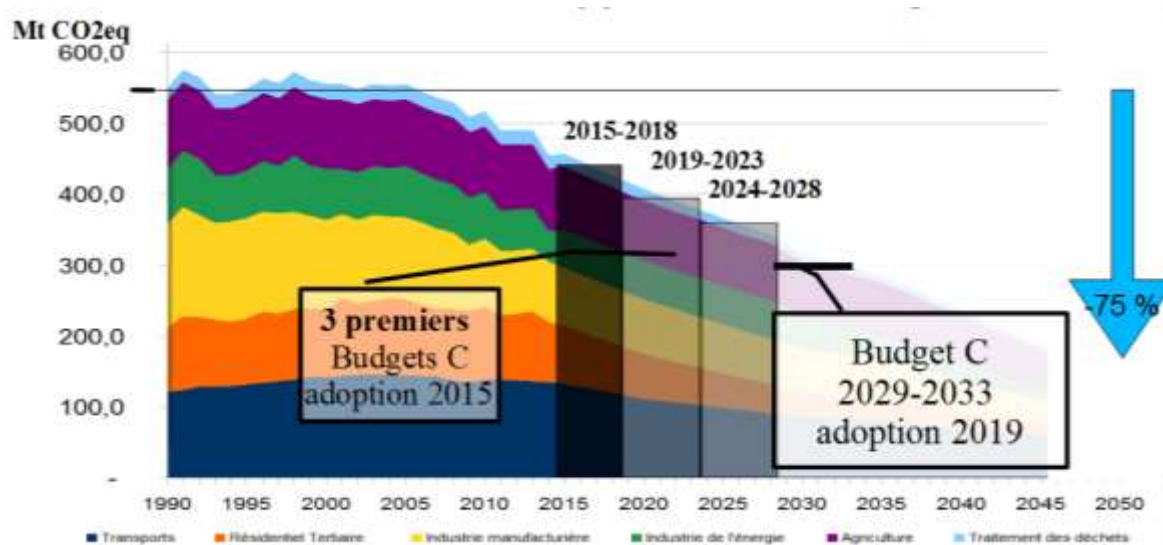


Figure 48 : Répartition sectorielle des émissions de GES dans le cadre de la SNBC

➤ Le rôle de l'AIE dans l'établissement de scénarios 2°C

L'Agence Internationale de l'Energie (AIE), notamment du fait de son expérience et expertise dans la modélisation de scénarios énergétiques, a été en pointe depuis 2014 dans l'établissement de scénarios de trajectoire de réduction des émissions de GES au niveau international.

A partir d'un ensemble de données (dont les projections fournies par les Etats), l'AIE a établi 3 scénarios de référence :

- **Current Policies** Scenario : scénario qui considère uniquement les politiques actuelles et assume qu'elles restent inchangées à l'avenir.
- **New Policies** Scenario : considéré comme le scénario de référence par l'AIE, il prend en compte les engagements et les politiques globales annoncés par les pays, notamment en matière de réduction de GES, même si les mesures permettant d'y arriver n'ont pas encore été indiquées.
- **450 Scenario** : ce scénario indique les orientations énergétiques qui permettent de limiter la hausse de la température à 2° avec une concentration maximale de 450 PPM. Sur cette base, l'AIE a développé un scénario « 2°C » dit 2DS⁹, qui est construit de façon à ce que la probabilité de rester en deçà de cette limite soit de 50%. Cela correspond à un budget global d'émission de 1000 GtCO₂ entre 2015 et 2100. Ce scénario implique par ailleurs une diminution des émissions de 60% en 2050 par rapport à 2013. Le modèle utilisé permet ainsi de déterminer le mix technologique optimal en termes de coût (utilisation des coûts marginaux d'abattement) et qui est en adéquation avec le budget global fixé.

⁹ Le modèle utilisé est : Energy Technology Perspectives (ETP)-TIMES model (IEA 2014)

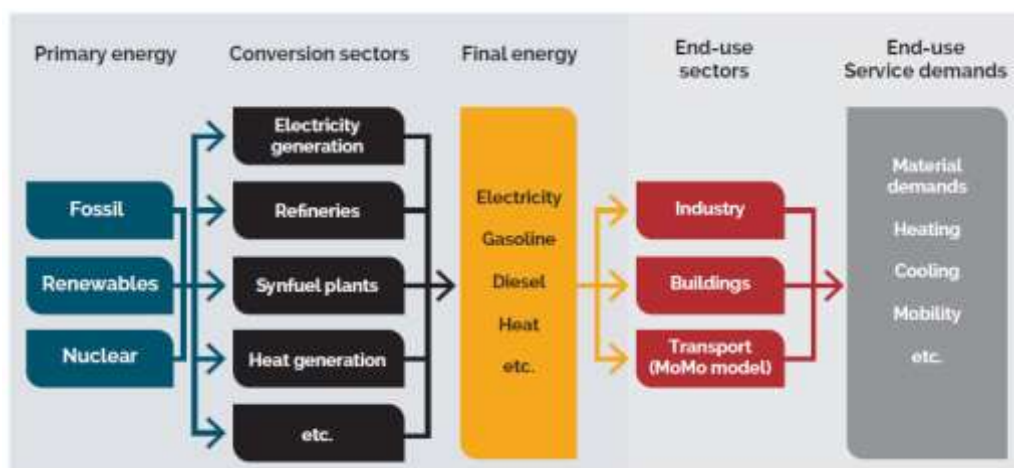


Figure 49 : Structure du modèle ETP – TIMES de l'AIE

Ainsi, à partir des estimations d'évolution d'activité et de consommation énergétique de chacun des secteurs modélisés (industrie, bâtiment, transport), l'AIE décline le budget carbone global en budgets sectoriel et sous sectoriel, en prenant notamment en compte les projections de développement économique par zone géographique.

➤ La Science Based Targets Initiative (SBTI) et la Sectoral Decarbonization Approach (SDA)

L'initiative **Science Based Targets** découle d'un partenariat entre plusieurs organismes : le CDP, UN Global Compact, le WRI et le WWF. L'initiative part du constat que si de nombreuses entreprises se sont fixées des objectifs de réduction, ceux-ci ne sont pas forcément en ligne avec l'ambition de la limite 2°C, comme le montre la Figure 50.

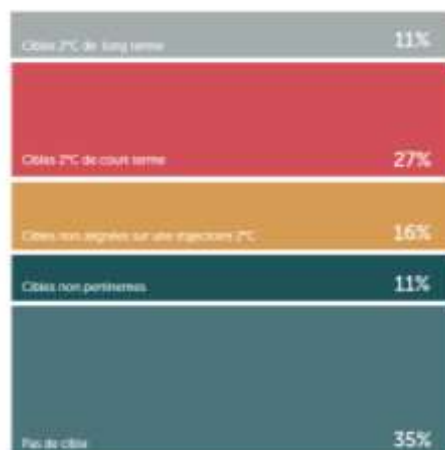


Figure 50 : Analyse des cibles de réduction d'un échantillon de 70 entreprises les plus émettrices au sein du CDP (Guide pratique SBTi, 2017)

La SBTi s'adresse ainsi aux entreprises et vise à les accompagner dans la démarche de quantification des réductions d'émissions de GES en ligne avec la limite 2°C. Plus précisément, la SBTi propose un processus d'engagement et de validation en 4 étapes, comme le montre le schéma décrit dans la Figure 51. A noter qu'au printemps 2017, environ 225 entreprises se sont engagées dans l'initiative (Etape 1), mais que seulement 47 entreprises ont des cibles validées (Etape 3). Le nombre d'entreprises engagées augmente cependant rapidement et a atteint le nombre de 273 en juin 2017.



Figure 51 : Processus d'engagement auprès de l'ISBT (Guide pratique de la SBTi, 2017)

Les critères pour obtenir la validation des cibles de réduction sont notamment les suivants :

- Fixer une cible sur le Scope 1 et 2 mais aussi fixer une cible sur le Scope 3 si celui-ci constitue plus de 40% des émissions totales de GES (tous scopes confondus)
- Fixer cette cible à un horizon moyen-terme en ligne avec les enjeux 2°C : entre 5 et 15 ans, c'est-à-dire environ sur la période 2020-2030
- Utiliser une méthode « scientifique » pour déterminer la cible (cf. plus bas)
- S'engager à publier annuellement ses émissions de GES

En ce qui concerne la méthodologie pour fixer « scientifiquement » la cible, L'ISBT a la particularité d'être flexible en proposant différentes méthodologies possibles correspondant à des philosophies différentes. Pour simplifier, L'ISBT donne le choix entre :

- Une approche **en valeur absolue** qui fixe un objectif de réduction sur les émissions de GES de l'entreprise, indépendamment de l'évolution de l'indice d'activité de celle-ci. Ainsi si l'activité augmente de manière significative, les efforts de réduction d'émissions de GES par unité d'activité seront d'autant plus importants.
- Une approche **en intensité** qui fixe un objectif de réduction en émissions de GES par unité d'activité, et qui permet donc à la fois une croissance de l'activité et un pilotage de l'efficacité GES de l'activité.

Comme le montre la figure suivante, l'ISBT recense 7 méthodes (3 avec l'approche valeur absolue et 4 avec l'approche intensité), qui adoptent des fondements techniques mais aussi économiques.

Approche	Méthode
Approche sectorielle	Sectorial Decarbonization Approach (SDA)
	3 % Solution
Approche économique	Carbon Stabilization Intensity target (CSI)
	CSO's Context-Based Metric
	Corporate Finance Approach to Climate Stabilizing Targets (C-FACT)
	Greenhouse gas Emissions per unit of Value Added (GEVA)
Approche absolue	Absolute Emission Contraction

Figure 52 : Méthodes recensées par l'ISBT (Guide Pratique SBTi, 2017)



Kering, groupe de luxe spécialisé dans l'habillement et les accessoires, a intégré le concept de Limites Planétaires à sa stratégie globale à horizon 2025, après de premiers objectifs de développement durable définis pour la période 2012-2016. Pour être en cohérence avec l'objectif d'une augmentation des températures inférieure à 2°C d'ici 2050, le groupe a défini ses ambitions à l'aide de l'Initiative Science Based Targets (ISBT) en utilisant la méthode des émissions absolues, et a pris l'engagement d'ici 2025 de permettre une :

- Réduction de 50% ses émissions de gaz à effet de serre liées à ses opérations (scope 1, 2 et 3 pour le transport et la distribution de marchandises, les vols commerciaux et l'énergie)
- Réduction de 40% de ses émissions de gaz à effet de serre pour ce qui est lié aux chaînes d'approvisionnement du groupe (une partie du scope 3).

L'approche méthodologique « Absolue » (Absolute Emissions Contraction) a été retenue par Kering pour établir sa cible de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. Cette méthode se base sur les recommandations du 5ème rapport du GIEC, rapport dont la préconisation est une fourchette allant de 41 à 72% de réduction entre 2010 et 2050. La cible pour Kering a ainsi été définie à partir de ce scénario de référence, en choisissant de manière ambitieuse la partie haute de cette fourchette. D'ici 2050, Kering devra donc avoir réduit ses émissions de 72% pour ses activités. Un objectif intermédiaire a été fixé pour 2025, détaillé dans le paragraphe précédent, en se basant sur les prévisions de croissance du secteur du luxe.

Source : Guide pratique pour la définition d'objectifs carbone alignés sur les connaissances scientifiques, SBT-Global Compact-Compta Durable, 2017

Parmi les méthodologies proposées par l'Initiative Science Based Targets, l'approche Sectoral Decarbonization Approach (CDP; WRI; WWF, 2015) est certainement la plus utilisée et la plus documentée à ce jour, permettant aux entreprises de comprendre comment elles peuvent se positionner par rapport à leur secteur d'activité en termes de budget carbone. La méthodologie SDA se base sur les budgets sectoriels de l'AIE, établis dans le cadre du scénario 2°C de l'*Energy Technology Perspectives* (IEA ETP 2DS), qu'elle explicite en termes d'hypothèses de volume et d'intensité GES, ce qui permet à chaque entreprise de se positionner par rapport à son secteur d'activité. Le principe peut être résumé dans le schéma ci-dessous.

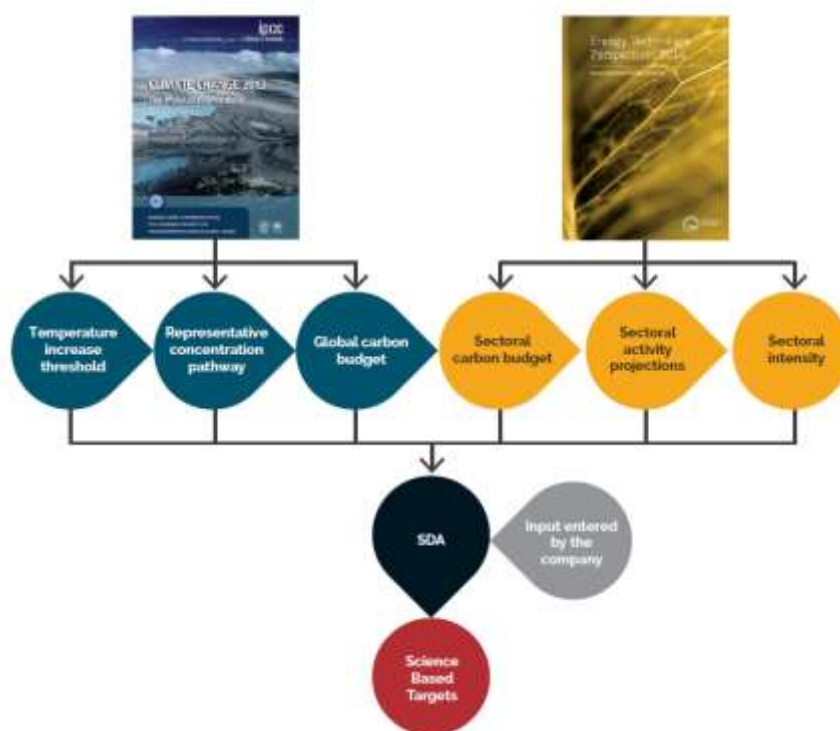


Figure 53 : Schéma d'utilisation de SDA (CDP; WRI; WWF, 2015)

La méthode SDA actuellement disponible considère 13 secteurs qui couvrent la plupart des émissions directes de GES au niveau international. Ces secteurs sont les suivants : Production d'électricité, Ciment, Acier, Aluminium, Chimie et Pétrochimie, Bois & Papier, Autre industrie, Transport routier de voyageurs, Transport routier de marchandises, Transport ferroviaire, Transport aérien, Autres transports, Exploitation de bâtiment.

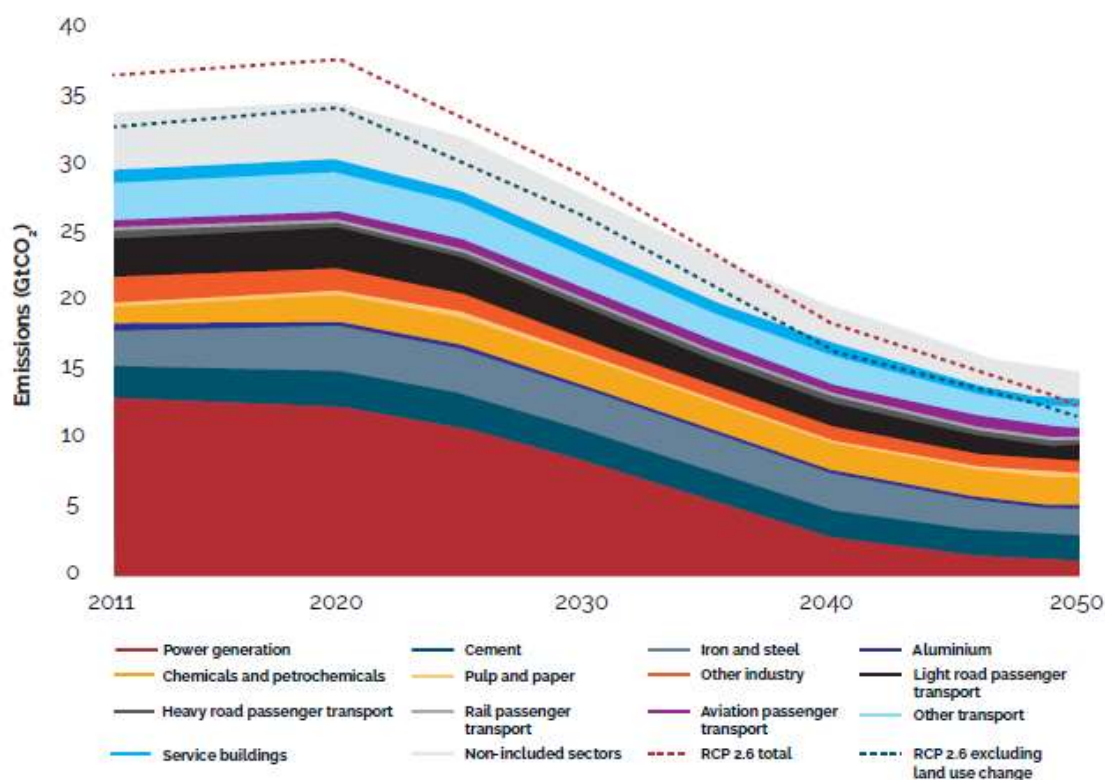


Figure 54 : Répartition sectorielle de la trajectoire 2°, source : SDA/AIE

Pour chaque secteur considéré, SDA propose 3 trajectoires sur une base 100, comme le montre le schéma ci-dessous pour le secteur de l'acier :

- Les émissions de GES du scope 1 en valeur absolue ;
- Un indice d'activité du secteur ;
- Les émissions de GES du scope 1 en intensité carbone.

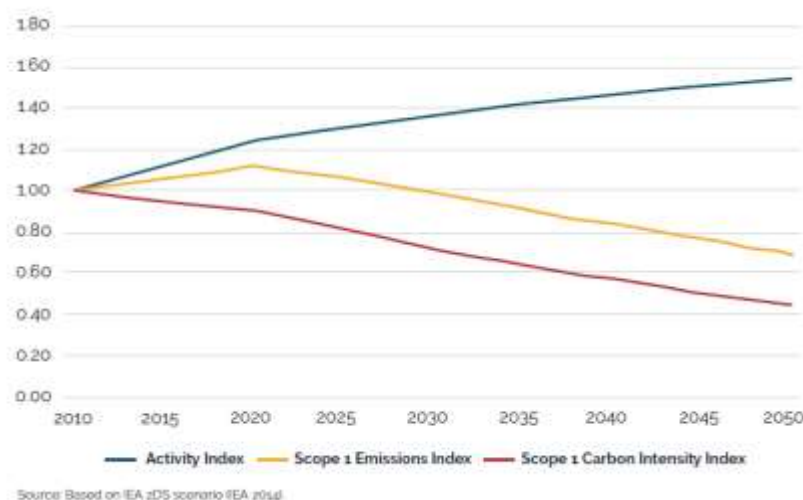


Figure 55 : Trajectoire 2°C pour le secteur de l'acier

Comme on le voit, la démarche SDA est additive (la somme des trajectoires carbone des secteurs est égale à la trajectoire carbone mondiale) et ne prend donc comme périmètre que les émissions de Scope 1. Néanmoins, la méthode SDA explique comment déterminer sa trajectoire carbone sur les scopes 1 et 2 en retraitant la trajectoire du secteur Power Generation.

Le SDA indique vouloir étendre dans ses prochaines versions son analyse aux quelques secteurs manquants ainsi qu'aux émissions du scope 3 des entreprises, même s'il reconnaît que l'exercice de « target setting » est beaucoup plus complexe.

Il est donc important de noter que la méthode SDA, dans son état actuel, n'est pas en ligne avec une approche cycle de vie, car uniquement focalisée sur les émissions directes de GES.



Thalys, consortium d'entreprises ferroviaires de transport de passagers entre la France, la Belgique, l'Allemagne et les Pays-Bas, s'est fixé comme objectif de devenir la « solution de transport la plus durable ». Le secteur des transports représente en effet près de 20% du total des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Consciente de l'importance des enjeux environnementaux aussi bien aux yeux de ses clients qu'en interne, l'entreprise a voulu crédibiliser son discours en alignant ses objectifs avec les connaissances du monde scientifique. Thalys s'est donc engagée dans l'Initiative Science Based Targets (ISBT) et a défini une cible de réduction de ses émissions de GES de l'ordre de 40% d'ici 2020, objectif approuvée par l'ISBT.

L'approche méthodologique utilisée par Thalys pour le calcul de son budget carbone est l'approche sectorielle. La méthode « Sectoral Decarbonization Approach » a été retenue pour définir le budget propre au secteur des transports, avec l'aide d'experts indépendants comme le WWF Belgique. Dans une approche sectorielle, les projections de croissance ainsi que le potentiel de décarbonisation du secteur permettent de définir le budget carbone du secteur. Les données physiques de l'entreprise sont ensuite confrontées à ce budget carbone pour comparer son intensité carbone à celle du secteur. La cible carbone identifiée est dite « en intensité », car Thalys a également choisi une métrique pertinente par rapport à son secteur d'activité : la réduction d'émissions est relative au nombre de passagers par kilomètre. In fine, Thalys a choisi de s'engager à réduire ses émissions de GES liées aux scopes 1, 2 et partiellement 3 par passager-kilomètre de 40% pour 2020, par rapport à l'année 2008.

En parallèle du calcul de cet objectif, un travail sur le plan d'actions à mettre en œuvre pour réduire les émissions de GES à hauteur de l'engagement a été initialisé. Ce plan d'action a été construit durant 8 mois en coopération avec les différents métiers de l'entreprise afin que les enjeux environnementaux soient véritablement intégrés à la stratégie globale de Thalys. L'ensemble du périmètre d'activité de Thalys a été étudié et quatre postes d'émissions principaux ont été identifiés ainsi que des actions proposées : le siège social, l'énergie des rames, la restauration à bord et la communication. Par exemple, les services de restauration ont été progressivement transformés, avec un choix d'approvisionnement plus local et issu de l'agriculture biologique, ou en proposant moins de viande rouge et plus de produits de saison. Sans coût supplémentaire, ces changements ont permis de réduire de moitié les émissions de GES liés aux activités de restauration entre 2008 et 2016. L'ensemble des prestataires et fournisseurs est également impliqués dans cette démarche, comme RailRest, le prestataire de services à bord, qui a contribué à cette réduction de moitié des émissions de GES pour la partie restauration service en Comfort 1.

Source : Guide pratique pour la définition d'objectifs carbone alignés sur les connaissances scientifiques, SBT-Global Compact-Compta Durable, 2017

➤ **Le projet « Assessing low Carbon Transition » (ACT)**

Dernier-né des initiatives sur les trajectoires 2°C, le projet expérimental Assessing low Carbon Transition (ACT), piloté par le Carbon Disclosure Project (CDP) et l'ADEME, a pour objectif d'évaluer l'alignement et le niveau de maturité des entreprises, secteur par secteur, dans la transition vers un monde bas carbone (scénario 2°). Son approche est basée sur les trajectoires SDA mais, au-delà de la trajectoire en tant que telle, ACT vise donner les moyens de pouvoir évaluer par un certain nombre de critères quantitatifs et qualitatifs si l'entreprise est vraiment alignée avec un objectif 2°C (au travers de sa stratégie climat, de son business model, de ses investissements).

Le projet ACT souhaite donner une notation à l'entreprise évaluée sur la crédibilité de sa stratégie et de ses engagements vis-à-vis de son intégration dans un monde bas carbone. Voici, dans les paragraphes qui suivent, quelques caractéristiques de la méthodologie ACT.

Les principes généraux qui s'appliquent :

- **Pertinence** : identification des informations / indicateurs les plus pertinents pour l'activité de l'entreprise et ses parties prenantes afin d'évaluer la transition vers une économie bas carbone
- **Vérifiabilité** : les informations nécessaires doivent être vérifiées ou vérifiables
- **Approche conservatrice** : lors d'utilisation d'hypothèses, celles-ci doivent avoir pour conséquence maximum une hausse de température de 2°C.
- **Cohérence** : les données de séries temporelles utilisées doivent être comparables dans le temps
- **Orientation long terme** : permet l'évaluation de la performance long terme de l'entreprise

La méthodologie d'évaluation ACT, **qui varie en fonction des secteurs d'activité**, s'articule autour de **4 piliers** toujours considérés **dans un axe temporel** (passé, présent, futur) :

- Les **objectifs** passés, actuels et futurs affichés de l'entreprise en termes d'émissions de GES, son engagement.
- La **performance métier** : qui s'analyse notamment à partir des investissements réalisés et futurs et de la stratégie d'entreprise (plan de transition)
- l'**influence** de l'entreprise sur la réduction d'émissions de GES
- le **business model** de l'entreprise et notamment le niveau d'intégration d'un monde bas carbone dans son business modèle actuel et futur.

Ces 4 piliers permettent d'alimenter 9 modules d'évaluation, comme le montre la Figure 56.

#	9 Modules	
1	OBJECTIFS	
2	PERFORMANCE DE L'ACTIVITÉ	INVESTISSEMENTS MATÉRIELS
3		INVESTISSEMENTS IMMATÉRIELS (R&D)
4		MANAGEMENT
5	PERFORMANCE DU PRODUIT VENDU	
6	INFLUENCE SUR LES PARTIES PRENANTES	PRISES DE POSITION ET ENGAGEMENT PUBLIC
7		FOURNISSEURS
8		CLIENTS
9	MODELE ECONOMIQUE	

Figure 56 : Les 9 modules d'évaluation ACT, CDP 2017

Les résultats de l'évaluation sont de 3 sortes, comme le résume la Figure 57 :

- Une évaluation sur la nature et la qualité des informations obtenues et analysées
- Une évaluation rédigée de la performance de l'entreprise qui combine l'analyse des KPI sectoriels ACT et l'analyse des sources d'information externes.
- Une notation chiffrée pour résumer en un chiffre la performance de l'entreprise. Cette notation est composée de 3 parties. Par exemple « **20A+** » :
 - o **20** : note allant de 1 à 20 sur la performance de l'entreprise, calculée à partir des données de l'entreprise sur ses futurs résultats
 - o **A** : note allant de A à E

- + : « + », « = » ou « - », qui correspond à la tendance estimée de la performance future de l'entreprise (en amélioration, stable ou en détérioration)

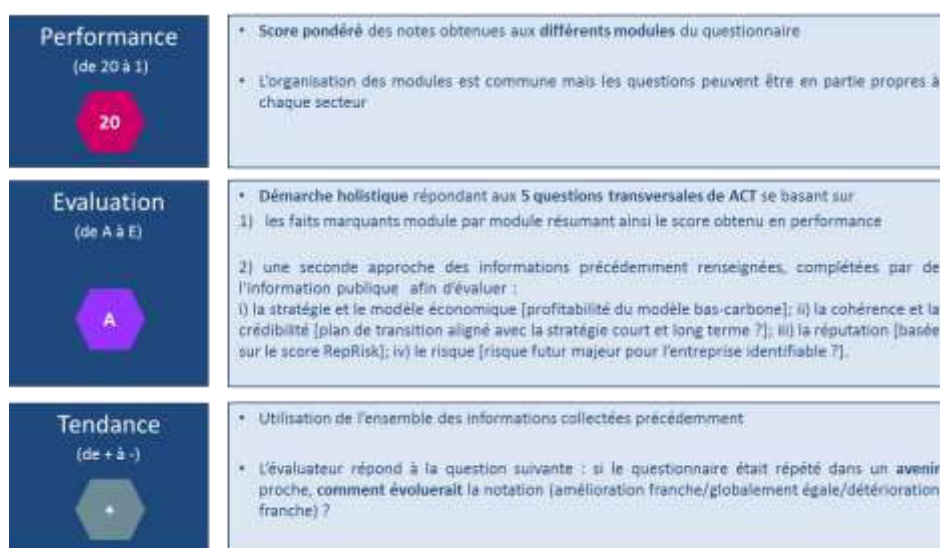


Figure 57 : Schéma explicatif des 3 scorings (I Care & Consult, 2017)

La méthodologie ACT a été testée auprès d'entreprises pilotes pour trois secteurs : **producteurs d'électricité, constructeurs automobiles et grande distribution**. A titre d'illustration, voici le résultat moyen et la plage de ces résultats obtenus sur les différentes entreprises pilotes qui ont testé le référentiel de production d'électricité.

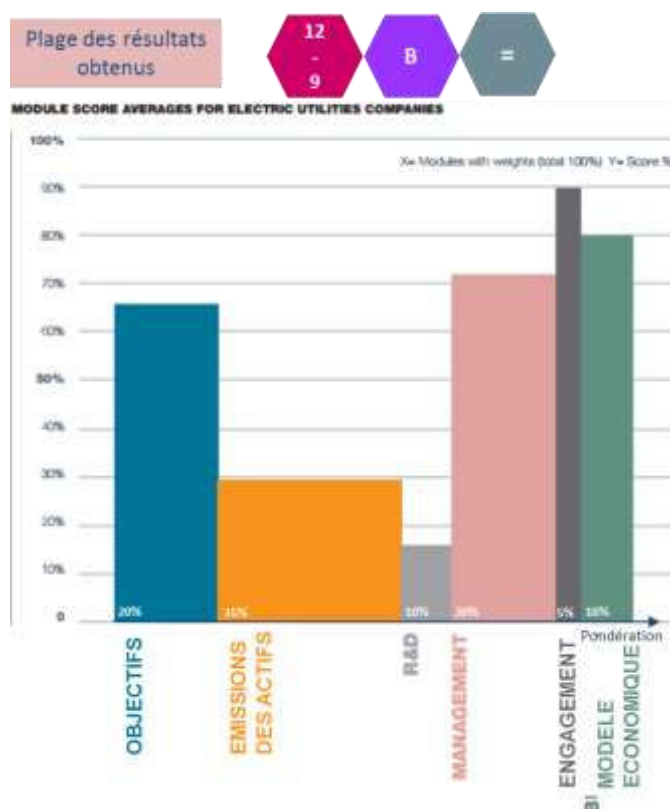


Figure 58 : Score moyen phase pilote secteur électricité, CDP 2017

On retiendra pour le secteur électricité le poids prépondérant (35% de la note globale) donné aux émissions des actifs possédés (base installée de centrales de productions) et la note plutôt faible obtenue sur ce module, ce qui explique le scoring global moyen obtenu par les entreprises pilotes (notes comprises entre 9 et 12).

Cette méthodologie est en cours d'extension à 3 nouveaux secteurs : les transports, le bâtiment et l'agro-alimentaire, à travers notamment une expérimentation menée auprès de 30 PME et ETI françaises. A ce stade de l'expérimentation, deux points peuvent être mentionnés :

- La volonté de construire un référentiel complet et directif entraîne nécessairement l'établissement d'un certain nombre d'hypothèses économiques et technologiques qui viennent compléter les hypothèses sur les trajectoires °2C. Ces hypothèses supplémentaires (ex : coût d'investissement dans la R&D, mix de technologies « solution ») introduisent cependant des biais dans l'analyse qui n'est plus seulement basée sur l'impact GES mais présuppose des moyens spécifiques. Le degré de précision visé par le référentiel et la potentielle « sur-détermination » résultante est ainsi un point d'attention pour son évolution.
- Pour chaque secteur, le référentiel porte sur les émissions de GES « principales », à savoir les émissions du Scope 1 pour la production d'électricité, les émissions du scope 3 aval pour les constructeurs automobiles, et les émissions du scope 3 amont pour la grande distribution. Si les 2 premiers référentiels pouvaient facilement se baser sur les trajectoires SDA correspondantes, la trajectoire actuellement retenue pour la grande distribution est par défaut celle du secteur « autre industrie ». On retombe sur la difficulté de définir des trajectoires pertinentes pour des produits complexes sur un scope 3 amont.

4.6. Mise en œuvre des autres limites : vers des applications volontaires et expérimentales

Comme mentionné précédemment, la mise en œuvre opérationnelle des Limites Planétaires est un processus long, nécessitant des instances de coordination pour assurer une cohérence et une homogénéité des démarches. Pour un impact global, comme le changement climatique, une coordination internationale s'est révélée possible à travers différentes instances (GIEC pour la définition de la limite climat, IEA pour les scénarios de réduction des émissions de carbone, COP pour les négociations sur le partage de la responsabilité entre Etats).

Comme analysé dans la section 4.4, l'application du concept de Limites Planétaires pour d'autres enjeux environnementaux que le climat ne semble donc pas encore être opérationnelle (Häyhä, Lucas, Vuuren, Cornell, & Hoff, 2016) : il n'existe pas en 2017 de consensus autour des autres enjeux, que ce soit au niveau de la définition de la variable de contrôle, de la capacité ou des instances de coordination.

Ceci ne signifie pas que des travaux ne sont pas en cours pour avancer sur les autres limites. Ainsi, un consortium de 31 chercheurs (Clift et al., 2017) a récemment publié un article sur les challenges à relever pour l'application des Limites Planétaires dans les stratégies d'entreprises et les politiques publiques. Ecrit en collaboration avec Unilever, l'article se concentre sur 4 Limites et explore les pistes de développement d'outils pratiques pour la mise en application de ces Limites. Au-delà de l'enjeu climat, Clift et al. (2017) présentent le chemin à parcourir (jusqu'à la coordination internationale) pour 3 autres enjeux : Utilisation d'eau douce, Intégrité de la biosphère et Substances chimiques/nouvelles entités. Ces Limites ont été choisies par les auteurs pour illustrer l'ensemble des problématiques que la thématique des Limites Planétaires soulève, à savoir la définition de métriques et de capacités robustes scientifiquement tout comme les problématiques de gouvernance, qui restent primordiales pour l'évaluation du partage de la responsabilité.

Tableau 11 : Comparaison de 4 Limites Planétaires (Clift et al., 2017)

Planetary Boundary	Biophysical Scales	Proposed Planetary Boundary	Current Operational Boundary	Existing Governance Organizations
Climate Change	Global	350 ppm CO ₂ -equivalents aggregated across GHG using IPCC's GWP100	1.5/2°C temperature rise interpreted as 450ppm CO ₂ e	Global organization: UNEP IPCC Operational: World Wildlife Fund (WWF); World Resources Institute (WRI); Science-Based Targets (SBT)

Freshwater use	Regional/ Local	4000 km ³ /year	No operational global boundary: River basin and local boundaries operational in some regions	UN-Water; Global Water Partnership; World Water Council; etc
Biosphere integrity	Regional/ Local	Genetic diversity: <10 E/MSY (10–100 E/MSY) but with an aspirational goal of ca. 1 E/MSY (E/MSY—extinctions per million species-years) Functional Diversity: Maintain Biodiversity Integrity Index (BII) at 90% (uncertainty range: 90%–30%) or above	No globally agreed boundary(ies) or indicator(s) to date	Global organization: Convention on Biological Diversity (CBD) and Aichi Biodiversity Targets; Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES); International Union for Conservation of Nature (IUCN)
Chemical pollution/ Novel entities	Local	To be defined	Single-chemical boundaries-operational per jurisdiction; Mixture-boundaries developed, not yet implemented Mandate for reaching non-toxic environment: policy mandate in e.g., Water Framework Directive	Global organization: Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM)

Les deux Limites qui se détachent, et qui pourraient à court/ moyen-terme devenir opérationnelles après le Climat, sont la consommation d'eau douce et l'intégrité de la biosphère. Cette tendance peut s'expliquer :

- D'une part, par le fait que des grandes entreprises ont identifié ces ressources comme primordiales pour leurs activités (Mars, Danone, Unilever, etc...). Ainsi, elles s'intéressent depuis déjà quelques années aux développements scientifiques autour des méthodes d'évaluation de ces impacts et appuient ces développements (support à l'initiative WULCA par exemple). D'ailleurs, des organismes d'évaluation, comme le CDP, ont lancé des initiatives de reporting autour de la problématique de l'eau et des forêts (en plus du carbone) ;
- D'autre part, au niveau institutionnel, les 17 Objectifs de Développement Durable de l'ONU ont mis en avant la nécessité de garantir un accès de tous à l'eau (Objectif 6), de préserver la vie aquatique (Objectif 14) et la vie terrestre (Objectif 15) à horizon 2030. Ainsi, pour accélérer le développement de Limites Planétaires opérationnelles, un projet international sur deux ans a récemment vu le jour afin de définir des capacités de consommation d'eau douce à l'échelle des bassins versants et des objectifs de réduction des consommations associés (Pacific Institute, CDP, The Nature Conservancy, World Resources Institute, & WWF International, 2017). Piloté par le CDP, le Global Compact, The Nature Conservancy, le WRI, le WWF et le Centre pour l'Eau de l'ONU, un appel à candidature pour participer au projet a été lancé en avril 2017, que ce soit au niveau du Comité Technique ou en tant que Pilote pour tester l'approche développée.
- Concernant l'intégrité de la biosphère, les initiatives internationales semblent moins avancées que sur l'eau. Au niveau institutionnel, la Convention sur la Diversité Biologique a récemment publié un document explicatif présentant en quoi la biodiversité joue un rôle essentiel dans l'atteinte des Objectifs Développement Durable de l'ONU et comment les objectifs d'Aichi sont

reliés aux 17 objectifs. Cependant, même si des plateformes collaboratives se développent (exemple de l'IPBES), l'évaluation de l'impact sur la biodiversité reste un exercice complexe et très hétérogène d'un pays à l'autre (Clift et al., 2017).

A défaut de capacités planétaires définies scientifiquement, certaines entreprises ont choisi de se définir des objectifs en lien avec des politiques publiques régionales, nationales ou locales, faisant l'hypothèse implicite que ces politiques publiques ont un lien avec les limites planétaires, ce qui n'est pas forcément toujours le cas. Ces démarches volontaires et expérimentales ont le mérite d'être fidèles à l'esprit des Limites Planétaires et de tester des raisonnements sur les indicateurs disponibles et sur l'attribution sectorielle qui peut être faite sur ces autres limites. A défaut de la robustesse des outils de la limite climat, ces retours d'expérience peuvent à notre sens alimenter dans une démarche « bottom-up » les réflexions globales « top-down » qui émergent pour fournir le bagage théorique à une suite d'outils pour chaque limite.

Eneco fait partie de ces entreprises pionnières qui expérimentent ces Limites Planétaires, comme le montre l'encart ci-dessous.



Eneco, entreprise néerlandaise de fourniture d'électricité et de gaz naturel, a commencé à intégrer le concept des Planetary Boundaries dans sa stratégie environnementale dès 2013, à travers l'initiative « One Planet Thinking » (Kerkhof, Boer, Meijer, Scheepmaker, & Blok, 2015). L'objectif d'Eneco est de formuler des objectifs environnementaux pour ces activités en fonction d'un seuil de viabilité pour la planète et pour ses habitants. L'ambition d'Eneco n'est donc pas d'afficher des objectifs de réduction de l'impact de ses activités de manière relative (-x% d'impact par rapport à 2007 par exemple), mais bien par rapport à une limite absolue, d'où la prise en compte des Planetary Boundaries dans leur stratégie d'entreprise.

Dans ce contexte, des limites planétaires quantifiées ont été définies pour trois indicateurs (changement climatique, émissions de particules fines et consommation d'énergie fossile) et guident la détermination d'objectifs chiffrés en termes de réduction d'impact environnemental par kWh produit par Eneco (impact direct). Les limites planétaires permettent donc d'établir des ambitions fortes de réduction de l'impact pour les trois problématiques ciblées.

En ce qui concerne le changement climatique, Eneco s'est fixé comme objectif de rester en deçà de la Capacité Planétaire, ce qui est déjà le cas en 2020 (Eneco 2012 < objectif 2020), un chemin important restant à atteindre pour l'objectif 2050.

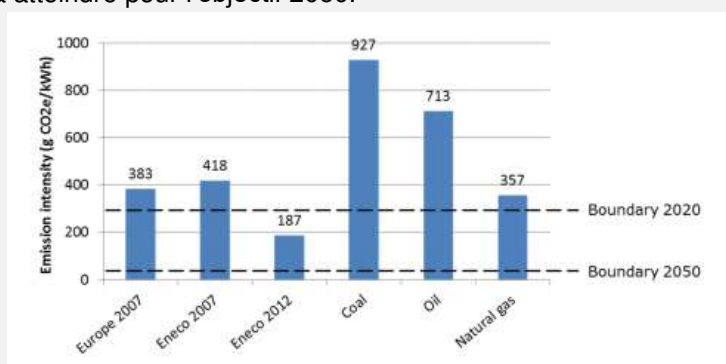


Figure 59 : Objectifs de réduction émissions de GES d'ENECO (Kerkhof et al., 2015)

En ce qui concerne les émissions de particules fines, et bien qu'il n'y ait pas de limite planétaire associée à la santé humaine, Eneco a été moteur pour définir des seuils et un objectif de réduction. En partant des concentrations moyennes en Europe en PM2.5 et PM10 et en les comparant aux recommandations de l'OMS, Eneco s'est rapidement rendu compte que l'Europe dépassait les seuils recommandés., Eneco a déterminé un objectif de réduction d'émissions de particules à

l'échelle de l'Europe (-50% pour toutes les activités pour respecter les recommandations de l'OMS) et l'a transposé à ses activités, c'est-à-dire au kWh produit (-50% d'émissions de particules par kWh par rapport à 2007). La figure ci-dessous présente l'évolution de l'impact d'Eneco pour cet indicateur.

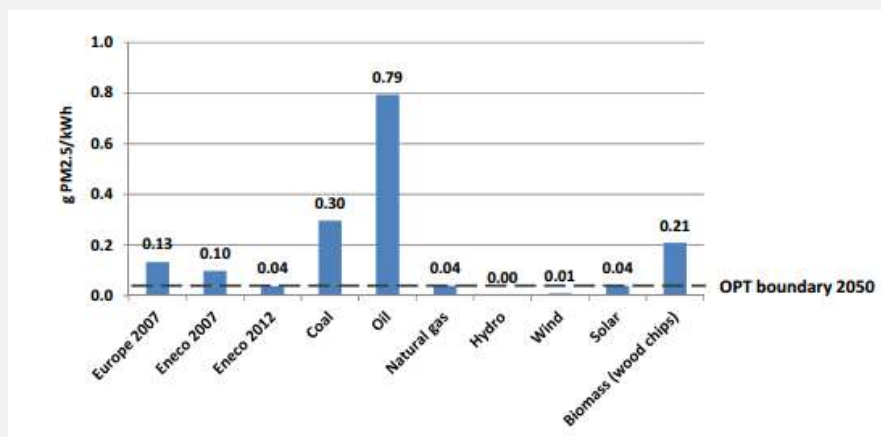


Figure 60 : Objectifs de réduction émissions de particules fines d'ENECO

L'objectif fixé à 2050 par ENECO à travers une Capacité planétaire « maison », est ici déjà atteint, ce qui montrerait qu'en ce qui concerne les 2 limites explicités (changement climatique et particules fines), dans un cas Eneco a déjà atteint en 2012 son objectif 2020, et dans l'autre cas, a déjà atteint en 2012 son objectif 2050. Eneco « profite » ainsi d'une évolution majeure de son parc entre 2007 et 2012 qui lui permet d'atteindre en 2012 des performances moyennes bien inférieures à son secteur. Eneco a indiqué vouloir, à travers l'initiative « One Planet Thinking », continuer à intégrer d'autres limites planétaires au fur et à mesure de leur développement.

4.7. Utilisation des Limites Planétaires pour les stratégies nationales

L'European Sustainable Development Network a publié fin 2013 un document sur l'utilisation des Limites planétaires pour la définition de cibles nationales. Quelques pays se sont saisis du concept des limites planétaires pour explorer la possibilité d'en déduire des cibles en termes de stratégie nationale. C'est notamment le cas de la Suisse et la Suède :

- En 2013, la Suède a fait réaliser une étude comparant les Limites planétaires à ses objectifs environnementaux révisés en 2010, SOEs (Swedish Environmental Objectives). Cette étude conclut à l'intérêt de poursuivre ce travail;
- En 2015, l'université de Genève a publié une étude sur « Environmental Limits and Swiss Footprints on the basis on Planetary Boundaries ».

Pour une application au niveau national se pose la question de la déclinaison des « carrying capacities » à un pays ou territoire. Cette répartition pourrait être basée sur une équi-répartition entre individus, puis une allocation en fonction de la démographie nationale, mais d'autres pistes sont envisageables.

Conclusion

Un retour sur l'évolution de la communication des entreprises ces dix dernières années montre indéniablement une nette progression de la place faite aux enjeux environnementaux dans leur stratégie, tout en constatant pour la plupart une prédominance de l'enjeu climat vis-à-vis des autres enjeux environnementaux.

Le concept et les outils d'Analyse de Cycle de Vie se sont révélés des outils indispensables dans cette évolution. Ils ont notamment permis d'articuler les enjeux entre eux (via les chaînes d'impact et la prévention des transferts de pollution), et surtout de dépasser une approche « site » en apportant une vue globale de l'impact de l'entreprise (de la supply chain à l'utilisation du produit), indispensable à l'évaluation de la matérialité des enjeux environnementaux pour celle-ci.

Cette couverture des enjeux par l'Analyse de Cycle de Vie n'est cependant pas complète, et sa capacité à les analyser avec la précision et la robustesse nécessaire est très variable suivant les enjeux. De nombreux travaux en cours devraient permettre d'améliorer ce point dans les années à venir. La question de la hiérarchisation des enjeux reste cependant un point de faiblesse des méthodes Analyse de Cycle de Vie.

D'apparition plus récente, les Limites Planétaires sont un nouveau cadre conceptuel prometteur qui pourrait apporter trois principaux progrès dans l'intégration stratégique des enjeux environnementaux

- Une hiérarchisation des enjeux (en fonction de la distance à la limite)
- Le passage d'une vision relative de l'impact à une vision absolue
- La possibilité de définir de manière objective (« science based ») des trajectoires de réduction d'impact

En ce qui concerne la hiérarchisation, de nombreux travaux sont en cours pour opérationnaliser le concept, notamment en construisant des ponts avec les méthodes ACV, mais ils ne sont pas début 2017 suffisamment avancés pour permettre une hiérarchisation opérationnelle et indiscutable des enjeux au niveau de l'entreprise. Ceci pourrait évoluer très rapidement dans les toutes prochaines années, ce qui pourrait amener les Limites Planétaires à constituer un socle plus pertinent pour la normalisation des impacts dans la pratique de l'ACV.

En ce qui concerne les trajectoires de réduction et la vision « absolue » des impacts, force est de constater l'important écart entre la suite opérationnelle d'outils développés pour la limite Climat et le travail restant à accomplir pour les autres limites. Pour la limite Climat, cette opérationnalisation n'a pu être réussie que grâce à la conjonction de progrès dans trois domaines : scientifique (GIEC), politique (COP21, ...), technique (IEA, ...) et business (initiatives multipartites telles que SBT, ...). Ce n'est qu'en suivant le même processus que l'opérationnalisation des autres limites pourra être aussi robuste que celle du climat. Les travaux engagés peuvent permettre d'envisager des progrès importants là-dessus dans les 5 ans à venir pour deux limites : l'eau et la biodiversité, cette dernière étant cependant moins mature.

Au-delà des travaux académiques, il est frappant de relever les nombreuses initiatives volontaires des entreprises qui se saisissent du concept des Limites Planétaires et expérimentent une déclinaison stratégique et opérationnelle sans s'arrêter aux défauts de robustesse constatés, tant le concept des Limites Planétaires se révèle attractif pour les entreprises en raison du « supplément de sens » qu'il apporte à l'analyse environnementale. Ces initiatives exploratoires « bottom-up » nous semblent complémentaires, des travaux académiques « top-down » et permettent de faire avancer les Limites Planétaires, dans la mesure où elles se confrontent directement aux problématiques des données et de l'utilisation des résultats pour définir une stratégie. Tous ces éléments font clairement des Limites Planétaires un champs d'innovation pour les années à venir.

Références

- Bijloo, M., & Kerkhof, A. (2015). Mineral depletion. ECOFYS Netherlands B.V. (c) by order of : Eneco.
- Björn, A., Diamond, M., Owsianiak, M., Verzat, B., & Hauschild, M. Z. (2015). Strengthening the Link between Life Cycle Assessment and Indicators for Absolute Sustainability To Support Development within Planetary Boundaries. *Environmental Science & Technology*, 49(11), 6370–6371. <http://doi.org/10.1021/acs.est.5b02106>
- Björn, A., & Hauschild, M. Z. (2015). Introducing carrying capacity-based normalisation in LCA: framework and development of references at midpoint level. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), 1005–1018. <http://doi.org/10.1007/s11367-015-0899-2>
- Björn, A., Margni, M., Roy, P. O., Bulle, C., & Hauschild, M. Z. (2016). A proposal to measure absolute environmental sustainability in life cycle assessment. *Ecological Indicators*, 63, 1–13. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.046>
- Cao, X. V. A. (2016). *Développements méthodologiques pour l'utilisation des terres en évaluation des impacts du cycle de vie: application aux polymères agro-sourcés*. Ecole Polytechnique de Montréal - Université de Montréal.
- CDP; WRI; WWF. (2015). Sectoral Decarbonization Approach (SDA): A method for setting corporate emission reduction targets in line with climate science, (May).
- Clift, R., Sim, S., King, H., Chenoweth, J. L., Christie, I., Clavreul, J., ... Murphy, R. (2017). The Challenges of Applying Planetary Boundaries as a Basis for Strategic Decision-Making in Companies with Global Supply Chains. *Sustainability*, 1–23. <http://doi.org/10.3390/su9020279>
- Davidson, E. A., & Kanter, D. (2014). Inventories and scenarios of nitrous oxide emissions. *Environmental Research Letters*, 9(10), 105012. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105012>
- EMEP. (2015). *Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components*.
- European Environment Agency. (2015a). *Air quality in Europe — 2015 report*. <http://doi.org/10.2800/62459>
- European Environment Agency. (2015b). *L'environnement en Europe - Etat et perspectives 2015 - Synthèse*. Copenhagen.
- Fricko, O., Parkinson, S., Johnson, N., Strubegger, M., van Vliet, M. T., & Riahi, K. (2016). Energy sector water use implications of a 2 °C climate policy. *Environmental Research Letters*, 11(3), 34011. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/034011>
- Gerten, D., Hoff, H., Rockström, J., Jägermeyr, J., Kummu, M., & Pastor, A. V. (2013). Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: role of environmental flow requirements. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 551–558. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.001>
- Global Reporting Initiative. (2014). G4 Sustainability Reporting Guidelines. *Global Reporting Initiative*, 1–97. Retrieved from <https://www.globalreporting.org/standards/g4/Pages/default.aspx>
- Häyhä, T., Lucas, P. L., Vuuren, D. P. Van, Cornell, S. E., & Hoff, H. (2016). From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space — How can the scales be bridged? *Global Environmental Change*, 40, 60–72. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.008>
- Houdini. (2015). Houdini Sportswear and Albaeco initiate first ever corporate Planetary Boundaries Assessment.
- Huijbregts, Marc; Steinmann, ZJN; Elshout, PMF; Stam, G; Verones, F; Vieira, MDM; Hollander, A; Zijp, M; van Zelm, R. (2016). *ReCiPe 2016 - A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization*.
- International Energy Agency. (2016). Energy and Air Pollution. *World Energy Outlook - Special Report*, 266. <http://doi.org/10.1021/ac00256a010>
- ISO. (2010). *Guidance on social responsibility*. Genève, Suisse. Retrieved from http://www.ifan.org/ifanportal/livelink/fetch/2000/2035/36282/394607/social_responsibility/docs/en/26k-User-Guide_edition 2010-10-29_.pdf
- ISO. (2014). *Management environnemental - Empreinte eau - Principes, exigences et lignes directrices*.
- Kerkhof, A., Boer, E. de, Meijer, G., Scheepmaker, J., & Blok, K. (2015). Towards companies that perform within the earth's regenerative capacity. *Eneco – ECOFYS, 2014*(Figure 1), 18. Retrieved from <http://www.ecofys.com/files/files/eneco-ecofys-2015-paper-one-planet-thinking.pdf>
- Kok, M., Alkemade, R., Bakkenes, M., Boelee, E., Christensen, V., van Eerd, M., ... PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. (2014). How sectors can contribute to sustainable use and conservation of biodiversity. *CBD Technical Series*, (79), 230. Retrieved from <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-79-en.pdf>

- L'Oréal. (2013). Sharing beauty with all. Retrieved from <http://www.loreal.fr/developpement-durable/sbwa>
- Ministère de l'Ecologie, du D. D. et de l'Energie. (2014). *L'environnement en France*.
- Moore, C. C. (2015). Welfare estimates of avoided ocean acidification in the U.S. mollusk market. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 40(1), 50–62.
- Nordhaus, T., Shellenberger, M., & Blomqvist, L. (2012). The Planetary Boundaries Hypothesis. A Review of the Evidence, (June), 1–43. Retrieved from www.thebreakthrough.org
- OCDE. (2016). *Panorama de l'environnement 2015 - Les indicateurs de l'OCDE*. http://doi.org/10.1787/health_glance-2013-fr
- OMS. (2014). 7 millions de décès prématurés sont liés à la pollution de l'air chaque année. Retrieved September 1, 2016, from <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/fr/>
- Pacific Institute, CDP, The Nature Conservancy, World Resources Institute, & WWF International. (2017). *Exploring the case for Corporate context-based water targets*.
- Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., ... Vuuren, D. P. van. (2017). Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 42, 331–345. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>
- Rockström, J., Steffen, W. L., Noone, K., Persson, Å., Chapin Iii, F. S., Rockstrom, J., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries : Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2), 32. <http://doi.org/10.1038/461472a>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475. <http://doi.org/10.1038/461472a>
- Ryberg, M. W., Owsianiak, M., Richardson, K., & Hauschild, M. Z. (2016). Challenges in implementing a Planetary Boundaries based Life-Cycle Impact Assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, 139, 450–459. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.074>
- Sala, S., Benini, L., Crenna, E., & Secchi, M. (2016). *Global environmental impacts and planetary boundaries in LCA*. <http://doi.org/10.2788/64552>
- Sandin, G., Peters, G. M., & Svanström, M. (2015). Using the planetary boundaries framework for setting impact-reduction targets in LCA contexts. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(12), 1684–1700. <http://doi.org/10.1007/s11367-015-0984-6>
- Science Based Targets. (2017). Science-based Target - Driving ambitious corporate climate action. Retrieved from <http://sciencebasedtargets.org/>
- Service de l'observation et des statistiques (SOeS). (2017). *Chiffres clés de l'environnement - Édition 2016*. Retrieved from <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/2669/488/chiffres-cles-lenvironnement-edition-2016.html>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... Sorlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855–1259855. <http://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Tramberend, S., Wiberg, D., Wada, Y., Flörke, M., Fischer, G., Satoh, Y., ... Hanasaki, N. (2015). Building Global Water Use Scenarios: IIASA Interim Report. *IIASA Interim Report*, (May), 1–55. Retrieved from <http://pure.iiasa.ac.at/11675/1/IR-15-014.pdf>
- Tuomisto, H. L., Hodge, I. D., Riordan, P., & MacDonald, D. W. (2012). Exploring a safe operating approach to weighting in life cycle impact assessment - A case study of organic, conventional and integrated farming systems. *Journal of Cleaner Production*, 37(July 2012), 147–153. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.06.025>
- UN World Water. (2015). *Water for a sustainable world*.
- UNEP. (2015). *United Nations Environment Programme - Annual report*. <http://doi.org/10.1093/iclqaj/24.3.577>
- Velders, G. J. M., & Daniel, J. S. (2014). Uncertainty analysis of projections of ozone-depleting substances: mixing ratios, EESC, ODPs, and GWPs. *Atmos. Chem. Phys.*, 14(6), 2757–2776. <http://doi.org/10.5194/acp-14-2757-2014>
- Veronesi, F., Hellweg, S., Azevedo, L. B., Chaudhary, A., Cosme, N., Fantke, P., ... Huijbregts, M. (2016). *LC-Impact - A spatially differentiated life cycle impact assessment approach (Version 0.5)*.
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., ... Wiberg, D. (2016). Modeling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, 9(1), 175–222. <http://doi.org/10.5194/gmd-9-175-2016>
- Weidema, B. P., & Brandão, M. (2015). Ethical perspectives on planetary boundaries and LCIA. *Presentation at the SETAC 2015*, (May), 3–4. Retrieved from <http://lca-net.com/p/1811>
- Whitmee, S., Haines, A., Beyrer, C., Boltz, F., Capon, A. G., De Souza Dias, B. F., ... Yach, D. (2015). Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: Report of the Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health. *The Lancet*, 386(10007), 1973–2028.

- [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60901-1](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60901-1)
- WHO Regional Office for Europe; JRC. (2011). *Burden of disease from environmental noise*.
- WHO Regional Office for Europe, & OECD. (2015). *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth*.
- WRI. (2016). How Mars and WRI developed Science-based sustainability targets for Climate, Land, Water. Retrieved July 1, 2017, from <http://www.wri.org/blog/2016/10/how-mars-and-wri-developed-science-based-sustainability-targets-climate-land-water>
- WWF International. (2016). *Rapport Planète Vivante 2016*.