

L'Éco-production, produire sans détruire

Si de nombreuses publications existent sur l'éco-conception, ce n'est pas le cas pour l'éco-production où les ressources sont rares. On notera en premier lieu que pour les deux domaines, il n'existe pas de solution type cependant les démarches vont dans le même sens de sobriété aussi bien sur le plan énergétique que sur les matières premières, les phases de production, les transports, les déchets, les démarches, l'utilisation, etc, et à terme sur le plan économique. Ainsi cette ressource ne peut être un exposé linéaire d'une méthode qui n'existe pas, mais se propose de développer des pistes et de donner des exemples de démarches à partir de cas concrets.

Éco-Produire, c'est intégrer l'aspect environnemental dans les phases d'industrialisation ou de production aux côtés des critères habituels, et prendre en compte, pour les réduire, tous ses impacts environnementaux sur l'ensemble de son cycle de production. C'est optimiser les techniques de production.

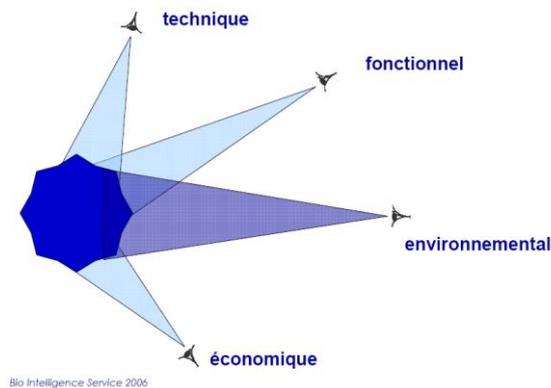


Figure 1 : Le contexte de l'éco-production, source Bio Intelligence Service 2006

Lors de la phase de production d'un élément, les critères liés à l'environnement peuvent être pris en compte, notamment au travers :

- Du choix des procédés d'obtention de bruts ;
- Du choix de la gamme de production ;
- Du choix des outils de coupe ;
- Du choix des lubrifiants ;
- Du choix de la source d'énergie des moyens de production ;
- Du recyclage des matériaux.

Cette ressource expose, dans le contexte du développement durable, l'impact environnemental de la production ainsi que le cycle de vie d'un produit ; des exemples d'éco-production sont développés puis les outils utilisés sont présentés.

1 – Contexte

Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs [Rapport Brundtland, 1987].

En 2017, l'industrie manufacturière participait à hauteur de 18% aux émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) et les transports à hauteur de 29%. Le secteur de l'industrie a diminué de 44% sa proportion entre 1990 (27%) et 2017 (Figure 2), notamment une baisse de 67% d'émission de GES pour la métallurgie des métaux non-ferreux. Il n'en reste pas moins que la France a émis 452 MteqCO₂ en 2017 ! Si globalement les émissions de GES ont baissé entre 1990 et 2017, il est à noter qu'elles sont reparties à la hausse depuis 2014 (+1,1% entre 2014 et 2015, +0,2% de 2015 à 2016 et +0,9% de 2016 à 2017) [13].

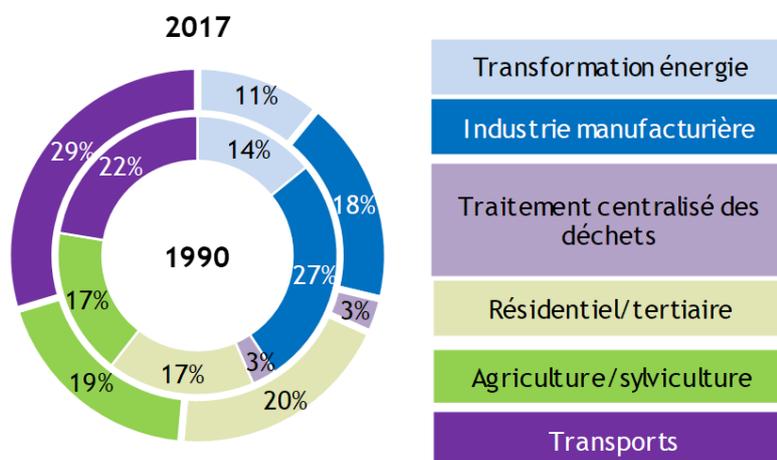


Figure 2 : Émissions GES en éqCO₂ en France réparties par secteurs pour les années 1990 et 2017, source [13]

En France, en 2016, un quart des entreprises de 20 salariés ou plus reconnaissent que leurs activités ont un impact fort ou très fort sur l'environnement sur au moins un des items : production de déchets, changement climatique, pollution de l'air et du sol, nuisances sonores, utilisation ou génération de substances toxiques ou dangereuses, utilisation et pollution des ressources en eau, perte de la biodiversité [1]. En particulier 14% des entreprises (de 20 salariés ou plus) estiment que leurs activités ont un impact jugé fort ou très fort sur la production des déchets.

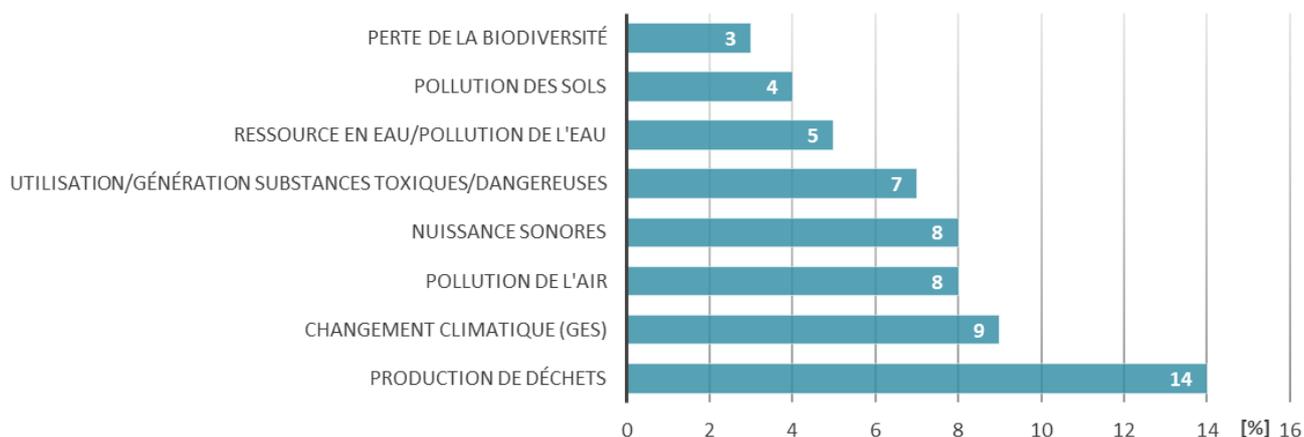


Figure 3 : Entreprises de 20 salariés et plus estimant que leur activité a un impact « fort » ou « très fort » sur les item cités, source [1]

Les démarches en faveur de l'environnement les plus généralement engagées concernent le processus de production. Lors de l'enquête en 2016, près de la moitié des entreprises (de 20 salariés ou plus) affirment un engagement dans une logique de gestion économe des ressources, matières premières ou eau. Un tiers d'entre elles annoncent une mise en œuvre de démarches d'amélioration de leur efficacité énergétique et/ou de réduction de leurs émissions de GES. La délivrance, par un tiers, d'une certification en matière d'environnement sur les procédés de production serait une phase importante de cette démarche, mais reste rare (environ 18% de ces entreprises en 2016).

En ce qui concerne la qualification des produits, un quart des entreprises (de 20 salariés et plus) affirment développer des écoproduits, biens ou services étudiés afin de générer des impacts moindres sur l'environnement au cours de leur cycle de vie, au regard de produits analogues non labellisés, tout en conservant leurs performances lors de leur utilisation.

Il est à noter que les comportements varient beaucoup selon la taille des entreprises. Les plus grandes semblent les plus sensibilisées à une utilisation plus efficace des ressources, énergie ou autres ; ce sont également elles qui sont plus nombreuses, en proportion, à recourir aux certifications ou labellisations que ce soit sur les procédés de production ou sur les produits. D'une façon générale, les entreprises comme les citoyens agissent différemment selon la prise de conscience de l'impact de leurs activités sur l'environnement ! (Figure 4) À taille et secteur d'activité donnés, les entreprises ayant reconnu lors de l'enquête le plus d'impacts sont aussi celles qui prennent le plus de mesures de protection de l'environnement [1].

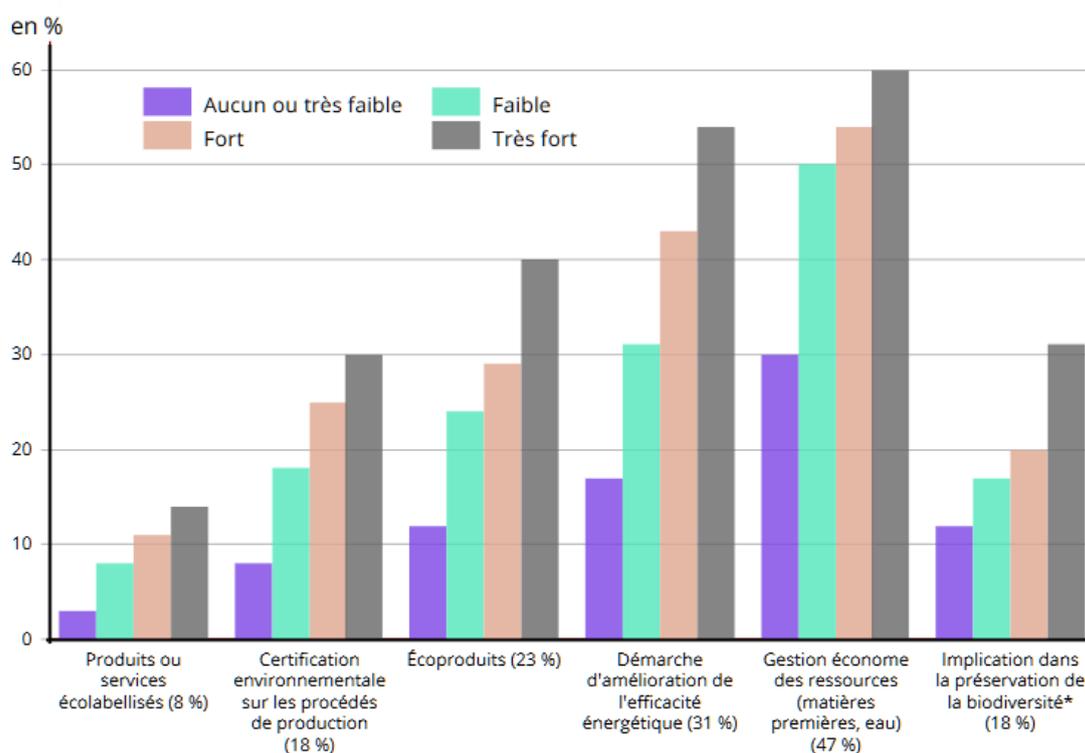


Figure 4 : Engagements des entreprises en faveur de l'environnement selon l'impact estimé de leurs activités sur l'environnement (*ne concerne que les entreprises de 50 salariés ou plus), source [1]

Une politique d'innovation consiste à répondre aux objectifs : Consommer moins, **produire mieux**, réduire l'empreinte de nos activités sur l'environnement.

De grands objectifs découlent de la loi du Grenelle 2 du 12 juillet 2010 :

- Amélioration énergétique des bâtiments ;
- Réduction des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre ;
- Préservation de la biodiversité ;
- Gestion durable des déchets ;
- Mise en place d'une gouvernance écologique.

Ce qui génère des Implications :

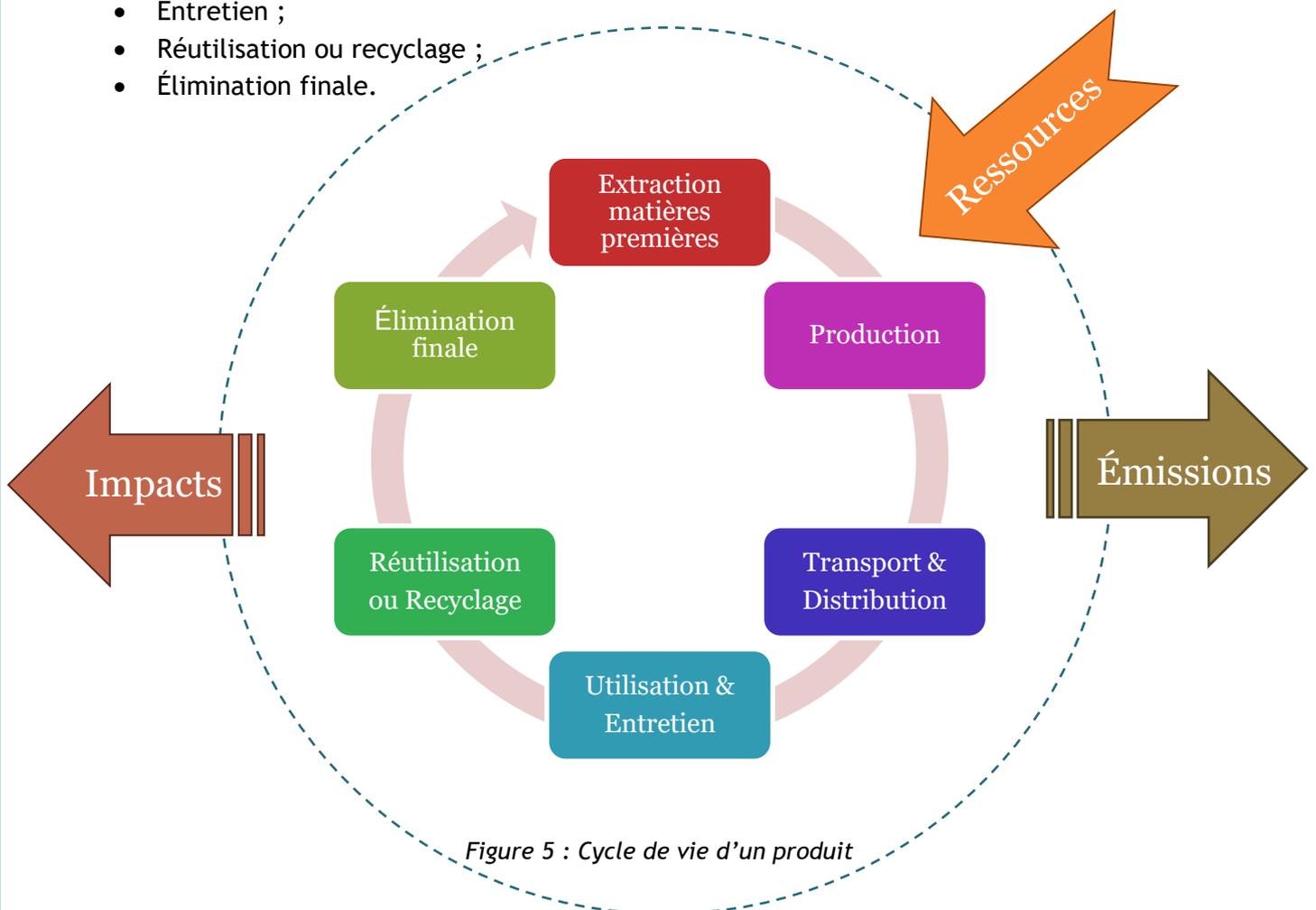
- Économiser préserver les ressources naturelles ;
- Limiter l'exposition des utilisateurs aux substances potentiellement nocives ;
- Limiter le rejet, dans l'environnement, de substances potentiellement nocives ;

- Favoriser la biodiversité ;
- Limiter les déchets suivant des critères identifiés.

2 – Cycle de vie d'un produit

Chaque produit suit un cycle de vie, qui, comme chez les êtres vivants, commence par la naissance, traverse la vie et va jusqu'à la mort. Typiquement, le cycle de vie d'un produit inclut toutes les activités impliquées dans les étapes suivantes :

- Extraction des matières premières ;
- **Production** ;
- Transport ;
- Distribution ;
- Utilisation ;
- Entretien ;
- Réutilisation ou recyclage ;
- Élimination finale.



À chaque étape de son cycle de vie, le produit consomme des ressources naturelles. Le début de sa vie, où se trouve la production, est l'objet de cette ressource :

- Obtention des matières premières liées à sa production par l'exploitation de ressources minérales, végétales ou animales ;
- Extraction ou fabrication des matières premières par des machines, fonctionnant avec de l'énergie, souvent de l'eau, des produits auxiliaires (substances chimiques), des espaces naturels ;
- Transport des matières premières vers la production par des moyens de transport (trains, camions, avions, bateaux, etc.), du carburant, des infrastructures de transport (routes, rails, ports, etc.) ;

- Transformation en produit fini par des machines et des outils, des produits auxiliaires, de l'énergie, de l'eau, etc. ;
- Transport vers le client ou magasin par des moyens de transport, du carburant, des infrastructures.

Ces étapes s'examinent pour chacun des composants du produit ou encore pour produire le camion assurant les transports ou le magasin assurant les ventes.

Les étapes du cycle de vie ne s'arrêtent pas à la vente du produit. À l'utilisation, le produit consomme des ressources naturelles lors de son fonctionnement et de son entretien :

- Énergies, eau, espaces ;
- Production de déchets, de coproduits (combinaison de composants), pollutions eau, sol, air ;
- Consommations de matières premières ou produits (carburants, huiles, pièces de rechange, etc.) donc extraction, fabrication, transports, etc.

En fin de vie, le produit peut être recyclé, souvent partiellement, ou devenir un déchet, il consomme donc à nouveau des ressources :

- Transport vers le ou les lieux de valorisation à l'aide de moyens de transport, carburant, infrastructures ;
- Dépose des constituants à l'aide de machines, (consommation d'énergie), d'eau, produits auxiliaires, espaces ;
- Incinération ou mise en décharge, traitement à l'aide de machines (consommation d'énergie), d'eau, produits auxiliaires, espaces ;

Production de déchets, de coproduits (combinaison de composants), pollutions eau, sol, air.

Chacune de ces étapes consomme de l'énergie et des ressources non renouvelables et génère un certain nombre d'impacts :

- Au niveau global : réchauffement planétaire, destruction de la couche d'ozone, ...
- Au niveau régional : acidification et eutrophisation des cours d'eau, brouillards, ...
- Au niveau local : impacts toxicologiques et éco-toxicologiques, ...

3 – L'éco-conception

Le principe du cycle de vie d'un produit est repris pour initier une check-list, ou liste de vérification, d'éco-conception (Tableau 1).

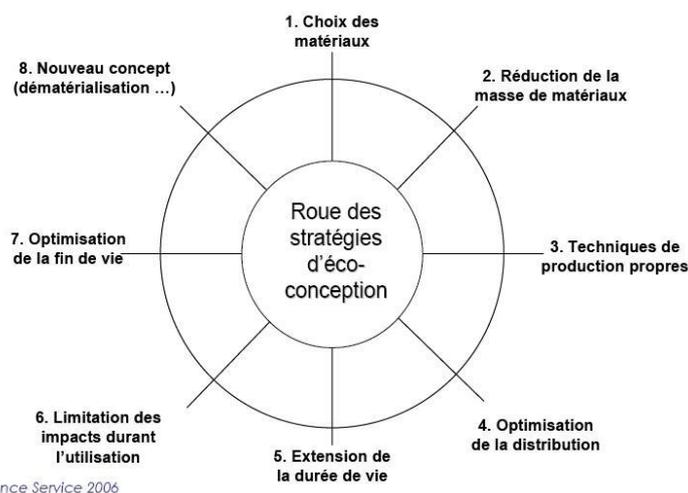


Figure 6 : Roues des stratégies d'éco-conception, source Bio Intelligence service 2006

1	Choix des matériaux	Moins toxiques, renouvelables, peu énergivores, recyclés, recyclables
2	Réduction de l'emploi de matériaux	Réduction de la masse, du volume ou du nombre de matériaux
3	<u>Techniques propres de production</u>	Moins d'étapes de production, moindre consommation d'énergie, moindre production de déchets
4	Optimisation du système de distribution	Moins d'emballages, ou emballages réutilisables, plus propres, moins nombreux, moins volumineux, modes de transport moins énergivores ou renouvelables
5	Phase d'utilisation	Moins de consommation énergétique, sources d'énergie plus propres, moins d'énergie non renouvelable
6	Durée de vie des produits	Durabilité et fiabilité, maintenance et réparation, structure modulaire, lien produit-consommateur (fonction)
7	Fin de vie	Réutilisation, désassemblage, « refabrication », recyclage, incinération
8	Optimisation des fonctions du produit	Dématérialisation, partage entre utilisateurs, nouvelles fonctions, optimisation fonctionnelle

Tableau 1 : Check list d'éco-conception

Le Système de Management Environnemental (SME) travaille pour minimiser les impacts environnementaux de la structure dont il dépend.

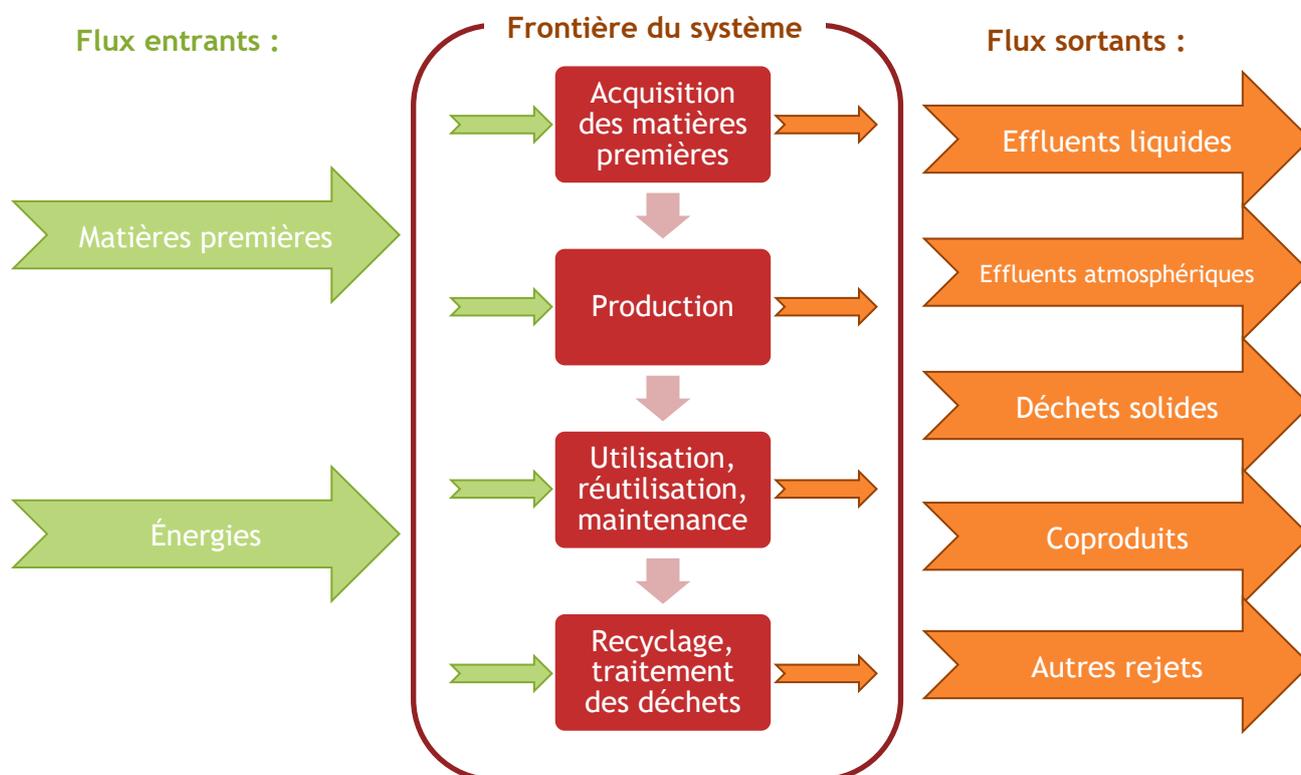


Figure 7 : Schéma des flux entrants et sortants d'un système

4 – L'éco-production

Même unitairement marginale, l'amélioration de la qualité écologique d'un produit est intéressante à mettre en œuvre. C'est la multiplication des petits pas qui permet de véritables avancées ! Il existe différents outils d'éco-conception mais il n'existe pas d'outil clef en main ! Et encore moins pour éco-produire ...

De par son aspect global « analyse d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie » la démarche ne peut se cantonner à l'intérieur d'un mécanisme, même si le déroulement d'un processus d'optimisation finit par nous y conduire. En relation étroite avec l'analyse fonctionnelle, la démarche d'éco-production, même si elle débute par une analyse de l'existant, va nous pousser à remettre en cause ce mécanisme.

Les premières démarches en éco-conception se situent dans les années 1990. En éco-production les premières démarches sont encore plus récentes. Il n'existe pas de méthode unique pour établir une démarche d'éco-conception ou d'éco-production ; il existe de nombreux modèles sur les caractérisations des impacts, et des polémiques subsistent à ce sujet. Certains outils sont encore à l'état de prototype et la plupart des publications et des outils sont en anglais.

L'éco-production, c'est donc également :

- Un état d'esprit ;
- Une prise de recul ;
- Une réalité incontournable ;
- Une discipline de pointe.

Faire l'industrialisation d'un produit c'est procéder à différents choix, celui du procédé d'obtention du brut, celui de la gamme de production, le choix de la machine-outil, des outils, des huiles de coupe, etc. Choisir le procédé d'obtention du brut ne consiste pas seulement à choisir le moyen (fonderie, sciage, etc.), il convient également de choisir la source d'énergie des moyens de production employés, de se pencher sur l'optimisation des cotes fabriquées, sur le recyclage des matériaux.

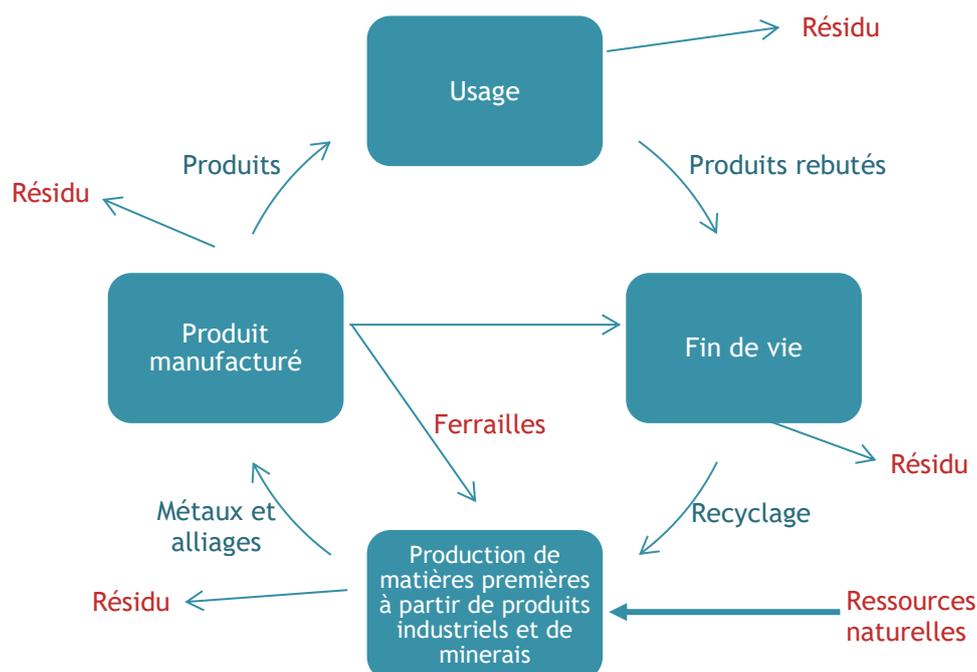


Figure 8 : La fonderie dans l'économie circulaire, source [2]

Dans la suite de cette ressource, des exemples d'éco-production sont présentés, de l'utilisation de matières recyclées, au changement de pratique dans les outillages.

4.1 - L'exemple du projet Bat Ring en fonderie

Le dépôt, par Eco'Ring et Fiday Gestion, d'un brevet sur la valorisation de piles alcalines et salines dans la production de fonte à graphite lamellaire en décembre 2013 signe le début du projet Bat Ring. Ce brevet acte deux avantages de la technologie développée : l'amélioration des conditions de valorisation des piles usagées, et la diminution des coûts d'achat des matières premières pour la production de fonte [15]. Le projet Bat Ring permet de remplacer des matières premières neuves et élaborées, par des déchets difficiles à recycler !

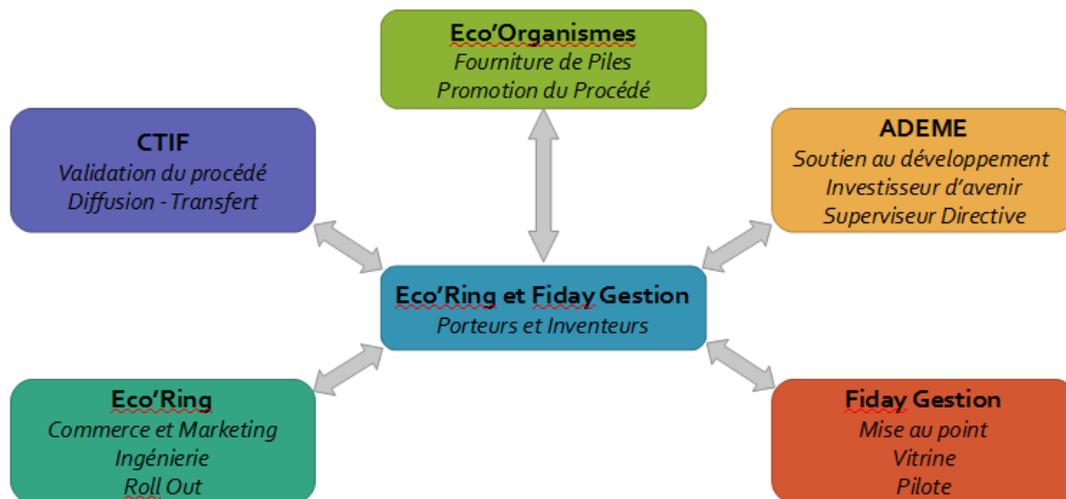


Figure 9 : Les principaux acteurs du procédé Bat Ring, source CTIF [16]

En Europe, le marché des piles alcalines et salines représente 160 000 tonnes par an et en France, près de 20 000 tonnes en 2018. En 2021 au moins 50% des piles devraient être collectés pour être conforme à la directive européenne, et, en France en 2018, nous n'en sommes qu'à 46,7% [17]. Des piles ont encore jetées dans la nature ou aux ordures alors que le décret de collecte sélective pour les particuliers date de 1999 !

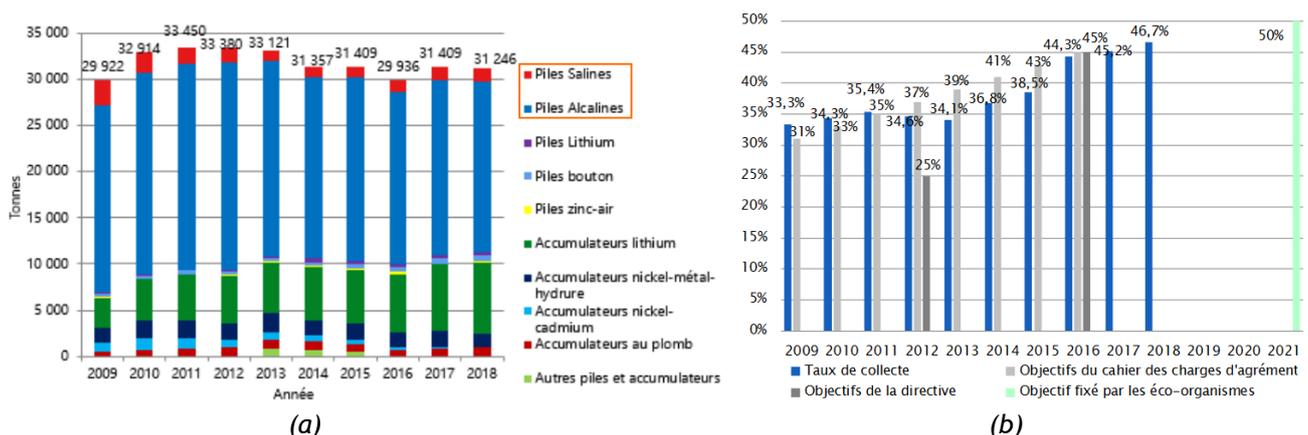


Figure 10 : Évolution entre 2009 et 2018 (a) des tonnages de piles et accumulateurs portables mis sur le marché, (b) du taux de collecte avec mise en perspective par rapport aux objectifs, source [17]

Le processus de valorisation, des piles alcalines et salines collectées, par le recyclage « classique » des piles s'avère relativement complexe et coûteux. Les métaux recyclés sont ensuite réutilisés pour la fabrication d'objets de la vie courante comme des gouttières en zinc, des pièces en acier inoxydable, des articles de quincaillerie, des tôles de voitures, des coques de navires ou encore de nouvelles batteries (nickel) ou des composés pour panneaux photovoltaïques (Cadmium).

Le brevet du projet Bat Ring permet de valoriser les piles alcalines et salines telles quelles dans les cubilots à vent chaud¹. Ainsi, Les piles sont seulement triées, chargées dans la trémie puis dans une benne et versées dans le cubilot, pour être transformées en fonte grise puis en tambours de freins. L'industrialisation n'a commencé qu'en 2016 après vérification des résultats et de l'absence de rejet dans l'atmosphère ainsi que de dégradations de l'environnement [18]. La valorisation des piles permet de remplacer des ajouts de manganèse, issus de matières neuves, par celui contenu dans les piles alcalines et salines. La valorisation des piles permet également de recycler le fer, le carbone, le cuivre, le nickel, l'étain et le zinc contenus dans les piles en substitution partielle à des enfournements de matières premières [15].

Précédemment, Fiday Gestion achetait 100 à 150 tonnes de manganèse pur par an, à près de 1.000 € la tonne, pour fabriquer les pièces de freins, en fonte grise, pour camions et remorques. Actuellement, le manganèse indispensable à la fonte grise ne lui coûte plus qu'environ 5 € la tonne avec l'utilisation de piles usagées [18].



Figure 11 : Recyclage des piles alcalines en tambours de frein, source [18]

4.2 - L'exemple du recyclage des carbures

Ne pas valoriser un déchet est un gâchis pour l'environnement, jeter les outils usés est donc à proscrire ! De plus il est économiquement intéressant de pouvoir revendre les outils usés et de recycler les outils. La réduction de l'impact sur l'environnement devient tout aussi importante que l'augmentation de la productivité. En outre, le recyclage est nécessaire, les ressources minières étant limitées, elles s'épuisent et seront nulles tôt au tard !

Sandvik Coromant garantit un recyclage du carbure usagé dans le respect de l'environnement, par des méthodes agréées, dans une usine certifiée ISO 14001/OHSAS 18001. La fabrication de nouveaux outils avec du carbure recyclé consommerait 70% d'énergie en moins qu'une fabrication à partir de minerais. L'utilisation du carbure recyclé permettrait l'émission de 40% de CO₂ en moins [19].

Les plaquettes et les outils en carbure usagés sont regroupés dans un container fourni par l'entreprise. La boîte de collecte pleine est récupérée et échangée contre des outils neufs. Sandvik Coromant se charge ensuite de recycler le carbure, la plupart des outils carbure monobloc sont faits avec du carbure recyclé qui provient des outils carbure usagés.

¹ Four vertical utilisé pour la production de fonte



Figure 12 : Recyclage du carbure, source Sandvik Coromant

4.3 - L'exemple des huiles de coupe

Utilisées pour leurs propriétés lubrifiantes et/ou pour leur qualité de refroidissement des pièces en métallurgie, les huiles de coupe sont utilisées pour faciliter l'usinage et l'amélioration de la durée de vie de l'outil utilisé. Ils permettent également de contribuer à la précision dimensionnelle de la pièce en refroidissant le copeau et la pièce usinée et en éloignant les copeaux de la zone de coupe contribuant ainsi à l'obtention d'un état de surface de qualité. Les huiles de coupe et leurs usages évoluent grandement ces vingt dernières années. Auparavant, seules les huiles entières étaient utilisées. Aujourd'hui, l'utilisation des huiles varie selon le type d'application, toutefois l'usage des huiles entières (huiles minérales ou synthétiques formulées à base pétrolière et enrichies en composants toxiques) décroît depuis 2001, contrairement à celui des fluides aqueux (contenant environ 50% d'huile végétale ou minérale souvent sous forme d'émulsions) en pleine expansion [12].

Les déchets d'huile de coupe sont des déchets dangereux. Les moyens pour minimiser les risques pour l'environnement sont de :

- Préférer des fluides non agressifs ;
- Réduire au maximum la consommation en huile à la source ;
- Employer la micro-pulvérisation dès que c'est possible ;
- Prolonger la durée de vie des huiles et gérer les huiles rationnellement.

D'autres solutions sont possibles comme :

- L'usinage à sec ;
- Des lubrifiants dits « verts », composés d'un maximum de matières premières d'origine végétales ;
- Des lubrifiants à base d'eau et de savon qui ne contiennent ni pétrole, ni chlore, ni soufre.

L'usinage à sec présente des avantages certains [10].

Sur le plan économique, l'usinage à sec permet de diminuer les temps de nettoyage sur les machines et les coûts liés aux huiles de coupe et aux produits absorbants (achat, stockage, surveillance, préparation, maintenance) ; une huile soluble « classique » a un coût d'environ 2,5 € / litre (dilution 5%). On évite le coût de l'évacuation des huiles usagées dans des centres de traitements agréés (coût 350 € / tonne, taxe Générale sur les Activités Polluantes de 4% en plus) mais aussi des produits absorbants ainsi que des copeaux souillés. On observe également un gain sur les espaces de stockage, une facilité d'aspiration des copeaux secs ainsi que leur revalorisation facilitée par la suppression de l'humidité.

On note aussi des avantages sur la sécurité et la santé au travail, par la diminution des gestes de manutention des huiles et copeaux gras, par la diminution des risques de projections, de sols et d'outils glissants, des risques d'affections cutanées (dermatites, allergies), des risques d'inhalation de brouillard, aérosol ou vapeurs (problèmes respiratoires). Tous les risques pour la santé dont un coût pour l'entreprise ne serait-ce par les arrêts de travail. On trouve des avantages également sur le plan de l'environnement, la suppression de la nécessité d'éliminer l'huile de coupe résiduelle par centrifugation dans un four tubulaire générant des fumées (captation et filtration poussées).

Famille de matériau usiné	Préférence lubrification
Aciers	À sec - assistance air comprimé
Aciers inoxydables	À sec en ébauche, huile soluble en finition
Fontes à copeaux courts	À sec
Fontes à copeaux longs	Huile soluble
Alliages d'aluminium et cuivre	Huile soluble
Alliages réfractaires	Huile entière ou huile soluble
Alliages de titane	Huile soluble
Aciers durs à très durs	À sec - assistance air comprimé

Tableau 2 : Classification des couples « matériaux usinés/mode de lubrification » en fonction du rapport « productivité/durée de vie des outils »

Les huiles de coupe dites « vertes » sont composées d'un assemblage d'huiles estérifiées² d'origine végétale, la base pétrolière est remplacée par une base végétale, les matières premières sont renouvelables.

Ces huiles permettent une durée de vie plus longue des outils, une consommation d'huile moindre, un lavage des pièces inexistant. Cependant, elles présentent une résistance moindre au vieillissement.

4.4 - L'exemple des machines-outils

Les machines-outils sont une clef importante pour rendre la production plus écoresponsable. L'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions retiennent toutes les attentions.

Le projet Green HSM a été lancé conjointement par l'ADEME³ et Total (2009-2013) dans le cadre du programme « Efficacité énergétique dans l'industrie ». Mené par la société PCI [3] et le Cetim [4] le projet Green HSM avait pour objectif de rogner 30% des consommations d'énergie sur les machines-outils à grande vitesse en suivant notamment les axes de progrès [21]:

- Allègement des structures (augmentation du rapport rigidité/ masse) par le choix des matériaux de la géométrie de la structure ;
- Consommation des équipements annexes : arrosage automatique, groupes de refroidissement, climatisation hydraulique, etc. ;
- Conception de la motorisation : axes de déplacement, broche d'usinage, etc. ;
- Monitoring et instrumentation temps réel ;
- Processus d'usinages, paramétrages associés et lubrification ;

² Estérifier : transformer en ester, composé organique résultant de la condensation d'une molécule d'alcool et d'une molécule d'acide avec élimination d'une molécule d'eau

³ ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

- Réaliser un démonstrateur sur la base d'une machine d'usinage grande vitesse travaillant sous lubrification par émulsion ;
- Définir une méthodologie d'analyse et de réduction de la consommation énergétique applicable à d'autres machines.

PCI, spécialisée dans les lignes d'usinage (Figure 13), a d'abord étudié les gisements d'amélioration des machines-outils quatre axes, largement répandue dans l'industrie automobile. Sur la base de mesures énergétiques détaillées, plus de cinquante améliorations ont été proposées et quantifiées. Les phases du projet commençaient par une étude de conception détaillée des composants et ensembles suivie par un pré-montage et une validation unitaire des composants et sous-ensembles, puis le montage in situ accompagné de tests (démontage et montage, mesures, mises en service), suivait une phase de validation de la consommation énergétique du démonstrateur ainsi que celle de la durée de vie et de la fiabilité des solutions mises en application. Enfin une dernière phase prévoyait l'écriture de la méthodologie en parallèle des actions proposées [21].

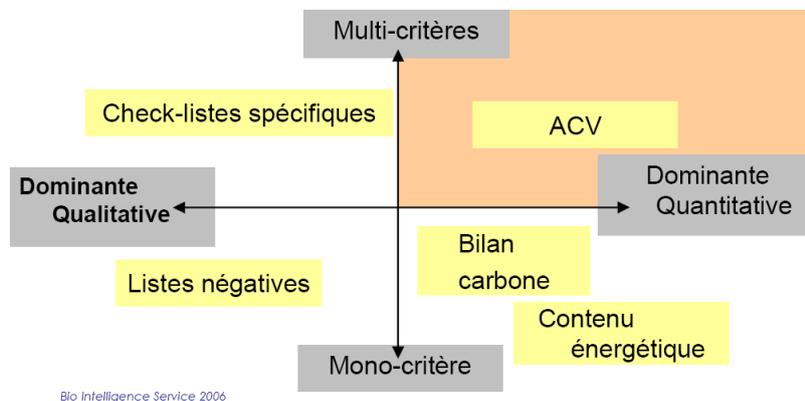
Les caractères innovants de ce projet dévoilent quatre domaines d'améliorations : l'optimisation des masses et inerties, la limitation des consommations pneumatique et de fluides, l'optimisation de la consommation frigorifique et enfin la maîtrise de la consommation dans tous les cycles d'utilisation de la machine-outil. Les premiers tests in situ montrent un gain de 35% sur la consommation d'énergies électrique et pneumatique, et des améliorations sur la sécurité et l'environnement par les limitations de retraitements de liquides et consommables ainsi que des rejets de chaleur dans l'atmosphère de travail. Ainsi jusqu'à 30% d'énergie peuvent être économisés en limitant le surcoût de la machine à 5% [5]. Les économies générées sont significatives dans les lignes de production en automobile ou en aéronautique [20].



Figure 13 : Ligne de fabrication à base de centres d'usinage grande vitesse, source (21)

5 – Comment ?

Il n'existe pas de solution clef en main ou de méthodes universelles mais une batterie de concepts méthodes et outils plus ou moins adaptés comme l'empreinte écologique, le contenu énergétique, le bilan carbone, les chek-lists, les listes négatives, l'ACV, ...



Bio Intelligence Service 2006

Figure 14 : Classement des méthodes d'évaluation environnementales, source Bio Intelligence service 2006

5.1 - Empreinte écologique

La détermination de l'empreinte écologique traduit l'impact environnemental sous forme de surface (hectare), qui mesure la quantité de terre et d'eau dont la Terre a besoin pour subvenir durablement à la consommation des ressources (consommation et absorption des déchets). C'est un indicateur quantitatif et monocritère.

Calculer l'empreinte écologique demande la prise en compte de deux concepts : la biocapacité et l'activité humaine. La biocapacité représente les capacités de la Terre à fournir l'eau, les terres, donc les matières premières, ainsi qu'à les régénérer et à absorber les déchets ou les rejets. Les activités humaines prennent en compte toutes les ressources consommées (eau, terres, matières premières...) ainsi que les déchets générés (déchets produits, gaz rejetés, ...). De nombreux calculateurs d'empreinte écologique existent sur internet, ils se basent sur des équivalences établies [8]. Chaque phase de tout objet industriel est décortiqué, de l'extraction des matières premières à sa fin de vie, l'empreinte écologique de chaque phase est établie, il suffit de les sommer pour obtenir le bilan global.

Les transports sont un des secteurs les plus polluants, réduire les déplacements des matières premières et des produits fait baisser l'empreinte écologique d'une production. La quantité de déchets peut aussi être profitablement réduite par le recyclage des déchets, l'usage de matériaux recyclés, en réduisant ou limitant les achats, etc. L'énergie est bien entendu un domaine sur lequel agir fait diminuer l'empreinte écologique par des équipements moins énergivores comme dans l'exemple du paragraphe 4.4, par des process optimisés, etc.



Figure 15 : Exemple d'empreinte écologique traduite en unité « terrain de foot », source [6]

5.2 - Bilan carbone

L'esprit général est de prendre en compte tous les flux physiques qui concernent l'activité d'un organisme (flux de personnes, d'objets, d'énergie) et de leur faire correspondre les émissions de gaz à effet de serre (eqCO₂) qu'ils engendrent. C'est un indicateur quantitatif et monocritère.

Le bilan carbone est un outil de diagnostic inventé par l'ADEME pour comprendre et analyser l'activité des particuliers, des entreprises, des collectivités et des administrations en termes d'émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre (GES). Six gaz sont comptabilisés le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane, le protoxyde d'azote, l'hydrofluorocarbure, le perfluorocarbure, l'hexafluorure de soufre. Le CO₂ étant le gaz le plus répandu, il est devenu la référence des données de ce bilan, les autres gaz sont convertis en équivalent carbone ou eqCO₂ [9].

Réaliser le bilan carbone d'une production demande de considérer l'ensemble du cycle de vie des produits. Ce bilan prend en compte les six gaz cités précédemment, chaque phase de tout objet industriel est décortiqué de l'extraction à sa fin de vie (énergie, intrants, fret, etc.), toutes les données sont traduites sous forme d'émissions sur la base d'équivalences établies. Le bilan global est exprimé en kilos ou tonnes équivalent CO₂.

Si réaliser un bilan carbone est une étape indispensable pour connaître les émissions de son activité, ce n'est en aucun cas une finalité ! Comptabiliser ses émissions de GES permet de repérer les sources sur lesquelles l'activité peut disposer de marge de manœuvre pour réduire ses émissions qu'elles soient directes (ou scope 1) c'est-à-dire contrôlées directement par l'activité, ou indirectes. Dans cette dernière catégorie on distingue les émissions indirectes associées à l'énergie (ou scope 2) c'est-à-dire provenant de l'électricité, la chaleur ou la vapeur importée et consommée par l'activité, et les autres émissions indirectes (ou scope 3) conséquences de l'activité mais non contrôlées [22].

La mise en place d'actions de réduction peut prendre plusieurs formes, comme repenser ses modes de production, changer ses comportements, revoir des éléments stratégiques pour l'activité (marketing, priorités clientèles, etc.) ou autre. On trouvera des « Quick win » ou gain rapide, des actions à gain rapide et facile ne ou demandant que peu d'investissement, et les « hot spot », ou point chaud, qui constituent des étapes, sources activités à l'origine des principaux impacts environnementaux.

Le plan d'action de réduction d'émission de GES se déroule en quatre grandes phases [22] :

- La définition du cadre du plan d'actions (en amont) ;
- La construction du plan d'actions ;
- La mise en œuvre du plan d'actions ;
- Le suivi du plan d'actions.

Dans chacune de ces phases, les étapes à mener sont synthétisées sous la forme d'un tableau répondant à trois questions [22] :

- Quoi ?
- Pourquoi ?
- Comment ? sur les 3 enjeux clefs :
 - Enjeu opérationnel : actions à mener en lien avec les enjeux métiers de l'organisation ;
 - Enjeu portage : actions à mener en lien avec la gouvernance du plan d'actions
 - Enjeu communication » : actions à mener dans le cadre d'une communication interne et/ou externe autour du plan d'actions.

Il paraît important que les actions qui seront menées soient à haut potentiel de réduction sans pour autant négliger des actions à plus faible potentiel mais à fort pouvoir de mobilisation au sein de l'entreprise. En effet un projet considéré à impact moyen, mais porté par des personnes motivées

peut s'avérer plus efficace qu'un projet à très bon impact mais qui ne retient pas le soutien des opérationnels [22].

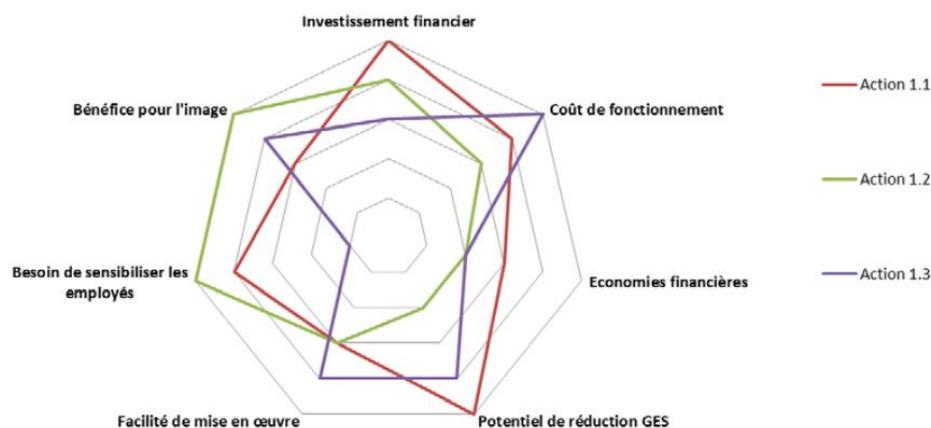


Figure 16 : Exemple de matrice pour la sélection des actions de réduction, source [22]

Les actions de réduction d'émission de GES après un bilan carbone permettent de limiter l'impact environnemental de l'entreprise et de réduire certains postes de consommations comme le chauffage et la climatisation, les déplacements et le carburant, le papier et autres consommables, etc. Les réductions de consommation sont souvent importantes, de l'ordre de 20 à 50%, pour les entreprises ayant un fort impact environnemental, les entreprises fonctionnant déjà de façon raisonnée voient également des réductions mais dans des échelles moins importantes.

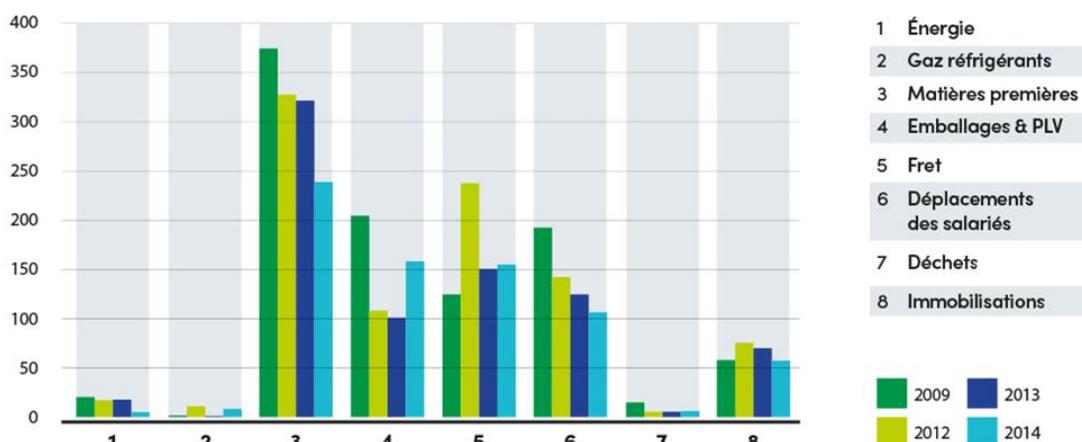


Figure 17 : Évolution du bilan carbone du siège social de l'entreprise Léa nature en kg CO₂/tonne de produits vendus, source [7]

5.3 - Listes négatives

Cette démarche permet d'exclure tel ou tel constituant ou procédé, jugé polluant ou énergétivore, à l'impact environnemental éprouvé, c'est un indicateur quantitatif et monocritère.

Nous avons tous en tête ce type de constituants ou de procédés exclus, citons :

- Le plomb, dans les peintures puis dans les carburants ;
- Les gaz C.F.C. des réfrigérateurs ;
- Les ampoules électriques à incandescence ;
- Le rejet des eaux industrielles dans la nature sans traitement préalable ;
- Les sacs plastiques à usage unique ;
- Les produits phytopharmaceutiques de synthèse chimique pour les utilisateurs non professionnels ;
- ...
- Et peut-être en 2020 : les cotons-tiges, la vaisselle jetable, ...

5.4 - Contenu énergétique

Le contenu énergétique est représenté par la somme des énergies dépensées pour la fabrication d'un produit, y compris les énergies dépensées pour l'élaboration des matériaux ou services intéressant directement ou indirectement l'élaboration de ce produit. C'est donc la somme des consommations d'énergies à chaque étape du cycle de vie diminuée de la somme des énergies récupérées à chaque étape du cycle de vie du produit, c'est un indicateur quantitatif et monocritère.

Le contenu énergétique permet de prendre en compte l'énergie dit « grise », utilisée lors de la production mais n'apparaissant pas sur les produits vendus contrairement aux prévisions d'énergie d'utilisation avec les indicateurs d'efficacité énergétique (critères A à G). Or l'énergie grise représente une part très importante de la consommation d'énergie des foyers en France ! Par exemple en 2013, l'emprise énergétique journalière d'un foyer français est de 343 kWh, 260 kWh sont consommés sous forme d'énergie grise, et seulement 83 kWh en énergie directe [23].

À l'échelle de la France, chaque importation, de l'énergie grise est importée et bien évidemment à chaque exportation, la France exporte de l'énergie grise : l'équivalent de la moitié des importations d'énergie grise est exporté vers le reste du monde, ce qui donne un bilan net d'importations d'environ 18% de l'emprise énergétique pour l'année 2013 (sans tenir compte des importations d'hydrocarbures - le taux de dépendance est alors de 55% - ni d'uranium nécessaire au fonctionnement de la filière nucléaire - le taux monte alors à 80%). L'ensemble des importations et des exportations mondiales d'énergie grise s'équilibre, cependant des régions sont importatrices et d'autres exportatrices [23].

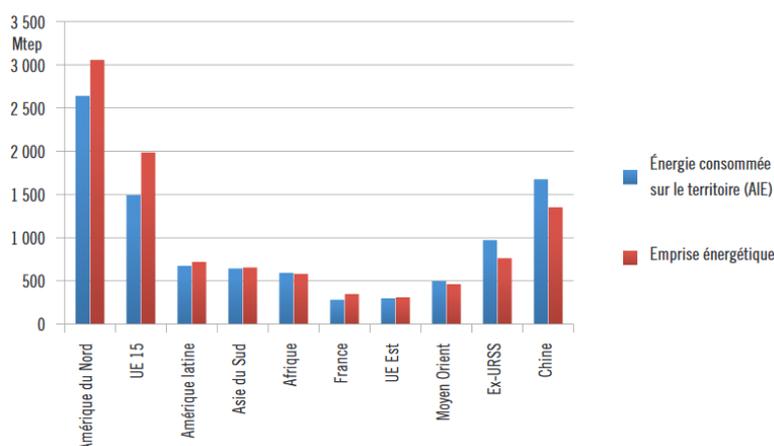


Figure 18 : Différence entre l'emprise énergétique et le bilan énergétique classique en Mtep (millions de tonnes équivalent pétrole), source [23]

Tenir compte du contenu énergétique des productions, donc de l'ensemble des énergies nécessaires au cycle de vie d'un produit, c'est permettre de limiter l'impact environnemental de tout objet manufacturé. C'est également pour les entreprises, un moyen de remarquer les phases énergivores qui peuvent devenir des phases d'économie.

5.5 - Analyse de Cycle de Vie, ACV

L'Analyse de Cycle de Vie réalise un bilan détaillé et quantitatif des entrées et des sorties mesurées aux frontières d'un système, produit ou service remplissant une fonction donnée. Pour chacune des étapes du cycle de vie d'un produit, il faut recenser les flux de matières et d'énergie. Les impacts environnementaux sont ensuite quantifiés sur l'ensemble du cycle de vie. C'est un indicateur quantitatif et multicritère. Afin d'apprécier dans sa globalité ce travail d'analyse, on peut de

reporter à la très complète lecture du rapport « *Analyse de Cycle de Vie d'un Pantalon en Jean* » ADEME - Bio Intelligence service [14].

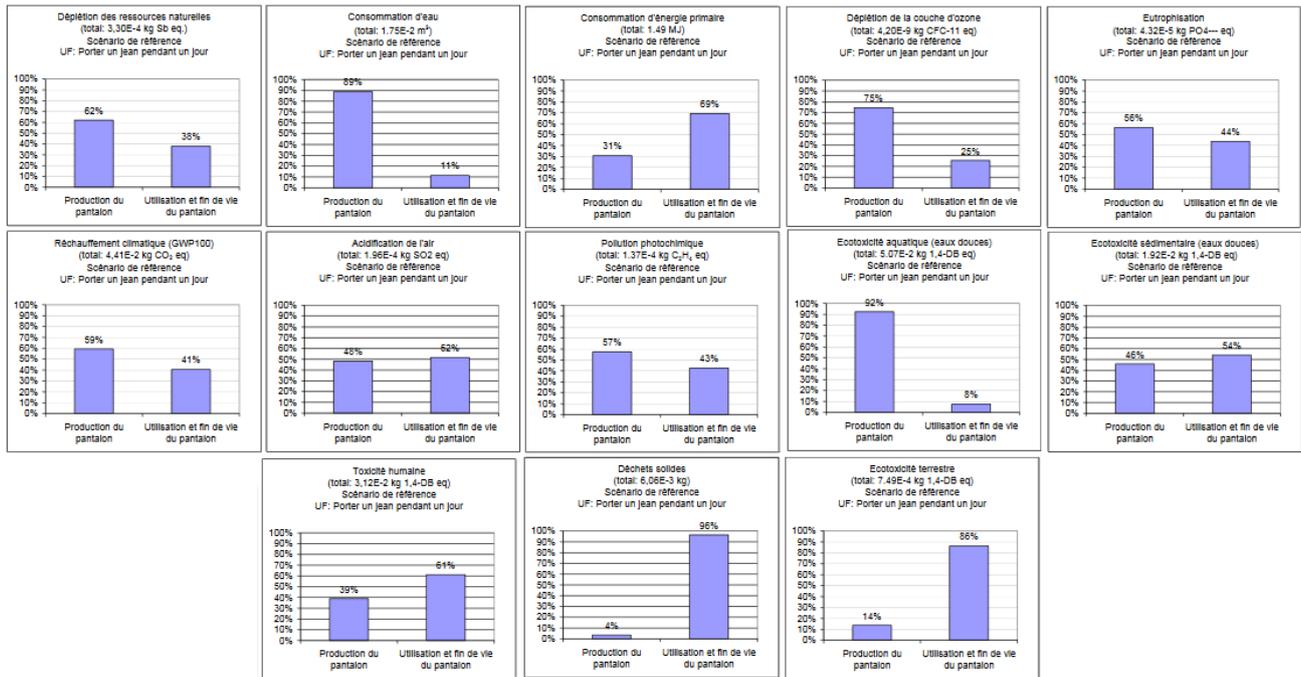


Figure 19 : Graphes issus de l'« *Analyse de Cycle de Vie d'un Pantalon en Jean* », source [14]

L'enjeu majeur de l'utilisation de l'ACV est d'identifier les principales sources d'impacts environnementaux et d'éviter ou d'arbitrer, les déplacements de pollutions liés aux différentes alternatives envisagées. Une fois les étapes les plus polluantes identifiées il est plus facile de travailler sur l'amélioration de la performance environnementale du procédé. L'ACV et éco-production fonctionne de pair, la seconde se nourrissant des résultats fournis par la première. La mise en place de l'analyse du cycle de vie des produits permet d'avoir une vision globale et un contrôle réel sur l'impact environnemental de l'activité de l'entreprise.

À noter qu'agir sur un point a nécessairement un impact sur d'autres points. Sur l'exemple de Figure 20, l'AVC de l'existant (phase 1) montre un fort impact environnemental de la matière première, ici l'aluminium. Une des solutions envisagées (phase 2) consiste à remplacer l'aluminium par de l'acier, on note que cette solution entraîne une diminution de l'impact environnementale du poste valorisation, mais une augmentation des postes fabrication et utilisation. C'est une solution qui transfère le problème sans le résoudre !

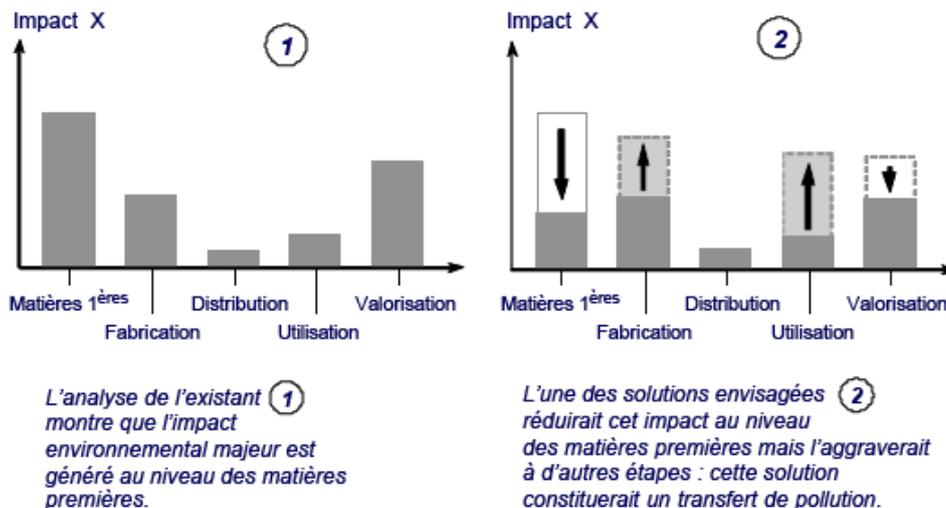


Figure 20 : AVC : phase 1 analyse de l'existant et phase 2, solutions envisagées, source [11]

5.6 - Check-lists

Les check-lists sont un moyen de se poser les bonnes questions lors d'étude sur l'éco-production. C'est un document comportant plusieurs questions ou recommandations relatives aux critères à respecter ou cibles à atteindre pour l'amélioration d'un produit ou d'un service. Il existe des logiciels d'édition de check-lists. C'est un indicateur quantitatif et multicritère.

ETAPE 1 : CONCEPTION DU PRODUIT		Illustrations N° de page du catalogue	OUI	NON	NSP	NA	Actions/Commentaires	Point critique
Q1 Est-il possible d'augmenter la durée de vie du produit ? (Exemples : en augmentant le nombre d'applications / d'utilisations par/de l'unité vendue)								
Q2 Une modification du produit peut-elle permettre de réduire, simplifier ou supprimer un des éléments de l'emballage : Primaire ? Secondaire ? Tertiaire ?		35-66-85 96-109-121						
Q3 Est-il possible de modifier le produit, sans en altérer l'usage et la valeur, afin de réduire le nombre de contraintes techniques imposées à l'emballage, et partant, simplifier son cahier des charges fonctionnel ? (CI : Protection contre l'humidité, protection contre les frottements, les rayures, les chocs ; température d'utilisation ou de stockage ; sensibilité à l'oxygène, à la pollution microbienne et bactérienne ; résistance à l'écrasement)								
Q4 Peut-on réduire le volume du produit à emballer de façon à réduire la consommation de matériaux d'emballage, à valeur d'usage identique ou supérieure ? Exemples : Concentration, Densification, Déshydratation, Miniaturisation, Conception modulaire (CI conditionnement en kit dans l'emballage, ...) Autres :		83-86-104-110 66-73 118-121-122						
Q5 Peut-on réduire le poids du produit à emballer à valeur d'usage identique, en changeant certains de ses matériaux constitutifs ? En modifiant sa conception (pièces techniques) ? En faisant évoluer son design ? Autres		109						
Q6 Peut-on concevoir le produit de façon à réduire la quantité résiduelle du produit dans l'emballage après usage, afin d'améliorer la recyclabilité de l'emballage ? (Exemple : en réduisant la viscosité du produit)								

C.A.E. - MANUEL DE MEILLEURES PRATIQUES - CHECK-LIST * MAI 2000

Figure 21 : Extrait d'une check-list, source [27]

Bien conçue une liste de contrôle conduit à des améliorations environnementales rapides du produit. Les réponses vont guider la recherche d'améliorations ou le développement de nouveaux produits. Les listes de contrôle sont spécifiquement élaborées pour être adaptées aux différents types de produits et sont donc fréquemment à usage interne et peu diffusées.

Le déploiement de l'outil se fait en deux étapes : l'élaboration des listes de contrôle puis leur utilisation. L'élaboration des listes de contrôle se fait par les personnes à connaissances avérées sur les produits considérés, nécessite des compétences en matière d'évaluation environnementale et s'appuie sur des méthodes quantitatives d'évaluation des impacts. Les listes de contrôles installent des indicateurs quantitatifs ou qualitatifs sur les caractéristiques environnementales des produits. Elles ne peuvent pas être généralistes et sont donc spécifiques au produit considéré et propres à chaque entreprise. L'utilisation des listes de contrôles peut se faire par des personnes sans compétence particulière en évaluation environnementale. Ces listes doivent permettre une appropriation rapide et simple de la problématique environnementale pour les productions étudiées [24].

6 – Le Système de Management Environnemental, SME

Le SME est un outil de gestion de l'entreprise permettant de s'organiser afin à réduire et maîtriser ses impacts sur l'environnement. Le système de management environnemental inscrit l'engagement

d'amélioration environnementale de l'entreprise ou de la collectivité dans la durée en lui permettant de se perfectionner continuellement [25].

Le SME permet à l'entreprise de formuler une politique et des objectifs prenant en compte les exigences législatives et les informations relatives aux impacts environnementaux. Elle implique l'entreprise dans un engagement de réduction des nuisances et d'amélioration continue et introduit des exigences de communication (interne et externe).

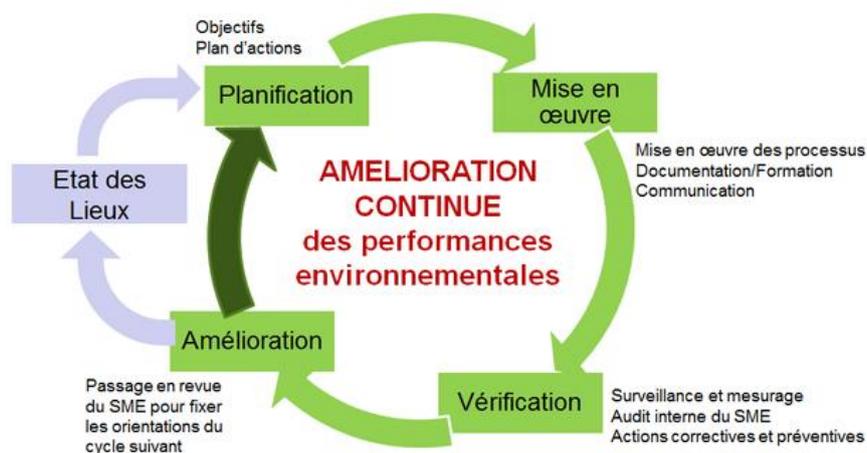


Figure 22 : Illustration du processus d'amélioration continu du SME, source [26]

Les principaux objectifs du Système de Management Environnemental sont de :

- Respecter la réglementation avec un dépassement des objectifs initiaux ;
- Maîtriser les risques pour le site ;
- Maîtriser les coûts déchets par des économies d'énergie et de matière première ;
- Améliorer la performance du système de gestion avec l'introduction d'un nouvel angle critique ;
- Se différencier par rapport à la concurrence ;
- Valoriser l'image de l'entreprise ;
- Communiquer de manière transparente vis-à-vis du personnel, des riverains, des clients, des assureurs, etc.

La série des normes ISO 14000 de type « organisme » concernent toutes le S.M.E. : série ISO 14050 pour le vocabulaire, ISO 14001 pour le référentiel de base pour la certification, ISO 14004 pour les lignes directrices pour l'établissement d'un SME, série ISO 14010, 11 et 12 (intégrées dans ISO 19011) pour l'audit environnemental.

Norme ISO 14001

La norme ISO 14001 est la plus utilisée des normes de la série des normes ISO 14000 qui concernent le management environnemental. Actualisée en 2004, elle prescrit les exigences relatives à un système de management environnemental. La certification ISO 14001 s'adresse aux entreprises et aux organisations de tous secteurs et de toutes tailles qui souhaitent intégrer la dimension environnementale dans leur activité.

La série de normes ISO de type « produit »

Série ISO 14020 pour l'étiquetage environnemental, ISO 14062 pour l'intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit, série ISO 14040 pour l'analyse de cycle de vie.

7 – Conclusion

Cette ressource propose des pistes et des exemples concrets d'applications de solutions existantes dans le domaine de la production et de l'industrialisation. Une liste exhaustive des méthodes ou moyens de mise en œuvre d'éco-production est impossible à donner, chaque production s'adapte à son outil de travail, son contexte socio-économique, Actuellement les solutions sont assez rares, cependant compte tenu du contexte environnemental et climatique, on ne peut qu'imaginer dans un avenir proche que les améliorations seront nombreuses et d'influence grandissante.

Références :

- [a]: L'Éco-Conception, Didier Wolff, Lycée Jacques-Marie Boutet de Monvel, Lunéville
- [1]: Les pratiques environnementales des entreprises, S . Dumartin, département des Synthèses sectorielles, Insee, novembre 2017, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3197097>
- [2]: Le cycle de vie des métaux, Meskers 2008
- [3]: PCI, concepteur et constructeur français de systèmes d'usinage par enlèvement de copeaux, <https://pci.fr/>
- [4]: Cetim, CEntre Technique des Industries Mécaniques, <https://www.cetim.fr/>
- [5]: L'usinage à grande vitesse et petite conso, veille technologique de Industrie et technologies, 2013, <https://www.industrie-techno.com/article/l-usinage-a-grande-vitesse-et-petite-conso.24253>
- [6]: <http://www.agir21.org/>
- [7]: Bilan carbone & émissions de gaz à effet de serre, <https://leanature.com/les-engagements/environnement/empreinte-ecologique/>
- [8]: Géo, Qu'est-ce que l'empreinte écologique et comment la calculer ?, décembre 2018, <https://www.geo.fr/environnement/quest-ce-que-lempreinte-ecologique-et-comment-la-calculer-193794>
- [9]: Géo, Qu'est-ce que l'empreinte carbone et comment est-il calculé ?, décembre 2018, <https://www.geo.fr/environnement/quest-ce-que-le-bilan-carbone-et-comment-est-il-calcule-193832>
- [10]: Usinage propre : critères de choix, CETIM Infos N° 222, juin 2013, <https://www.yumpu.com/fr/document/read/34670429/usinage-propre-critares-de-choix-784-ko-cetim>
- [11]: L'Analyse du Cycle de Vie (ACV), outil préférentiel de quantification des impacts environnementaux, L'encyclopédie du développement Durable, O. Réthoré, S. Le Féon, septembre 2010, http://encyclopedie-dd.org/IMG/pdf/Avril_2015127Bis-1.pdf
- [12]: Les fluides de coupes : État des connaissances sur les usages, les expositions et les pratiques de gestion en France, rapport d'étude de l'Anses, janvier 2012, <https://www.anses.fr/fr/system/files/CHIM2009sa0328Ra.pdf>
- [13]: Données d'émissions de polluants et de GES : Secten, Citepa, édition 2019, http://www.citepa.org/fr/2019_06_a5/

- [14] Analyse de Cycle de Vie d'un Pantalon en Jean, E. Labouzé, Y. Le Guern, C. des Abbayes, Rapport final, ADEME, Bio Intelligence Service, octobre 2006, https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/2014-03/1.1.2.e-acv_exemple_6_acv_dun_pantalon_en_jean_bio_intelligence_service-ademe.pdf
- [15]: Bat Ring, l'innovation récompensée ! CTIF septembre 2016, <https://www.ctif.com/batring-linnovation-recompensee/>
- [16]: <https://www.ctif.com/>
- [17]: La filière des piles et accumulateurs en France en 2018, Rapport ADEME, janvier 2020, <https://www.screlec.fr/rapport-ademe-la-filiere-des-piles-et-accumulateurs-en-france-en-2018/>
- [18]: Fiday Gestion : et les piles usagées deviennent des tambours de freins, Traces Ecrites News, mars 2017, <https://www.tracesecritesnews.fr/actualite/fiday-gestion-et-les-piles-deviennent-des-tambours-de-freins-94403>
- [19]: Le recyclage est bon pour l'environnement et rentable, Sandvik Coromant, <https://www.sandvik.coromant.com/fr-fr/services/Pages/recycling.aspx>
- [20]: L'usinage à grande vitesse et petite consommation, Industrie & Technologies, H. Leroux, juillet 2013, <https://www.industrie-techno.com/article/l-usinage-a-grande-vitesse-et-petite-conso.24253>
- [21]: <https://docplayer.fr/83976791-Parcours-e-efficacite-energetique-dans-l-industrie.html>
- [22]: Guide pour la construction, les mises en place et le suivi des plans des plans d'action de réduction des émissions de GES, ADEME, novembre 2014, <https://www.bilans-ges.ademe.fr/docutheque/docs/GUIDE%20PLAN%20D'ACTION.pdf>
- [23]: L'énergie grise : la face cachée de nos consommations d'énergie, L. Chancel, P. Pourouchottamin, IDDRI, mars 2013, https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/pb0413_lc_conso-energie.pdf
- [24]: L'éco-conception et ses outils, Université Virtuelle Environnement et Développement (UVED), http://stockage.univ-valenciennes.fr/MenetACVBAT20120704/acvbat/chap02/co/ch02_010_acv.html
- [25]: Système de Management Environnemental (SME), actu environnement, https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/systeme_de_management_environnemental_sme.php4
- [26]: <https://www.ecosia.org/images?q=management+environnemental#id=30F76F2416784E697CDB504DB4A59301DD812C95>, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=74725911>
- [27] : Etape 1, Conception du produit Fiche 1, CNE, mai 2000 <https://docplayer.fr/13030536-Etape-1-conception-du-produit-fiche-1.html>