

Polycopié de cours

L'écoconception

Niveau : 4^{ème} Année

Année Universitaire : 2022 - 2023

Avant-Propos

Comme les êtres vivants, les produits manufacturés sont conçus, naissent, grandissent, changent, se déplacent et un jour ils disparaissent. De plus, ils laissent une trace de leur passage : ils consomment de l'énergie, de l'eau, des matériaux transformés et des matières premières. Ils peuvent émettre des bruits, des vibrations, des substances volatiles et même des ondes électromagnétiques. Certains de ces effets peuvent vite s'avérer nuisibles à notre environnement, comme l'effet de serre ou la pollution des eaux et des sols. Alors, tout l'enjeu est d'évaluer pour l'anticiper et le limiter, l'impact sur l'environnement des produits que nous concevons. Cela n'a pas toujours été le cas. Avant on découvrait ces impacts au fur et à mesure du cycle de vie du produit : consommation de matières dangereuses, consommation d'énergie démesurée liée à leur utilisation et puis on colmatait. Quand on limitait l'impact ici, on l'augmentait ailleurs. De nos jours, l'écoconception a été proposée et les ingénieurs, dès la conception, analysent le cycle de vie du produit pour mesurer ses effets indésirables sur l'environnement. Cette analyse englobe tout le cycle de vie, de l'extraction des matières permettant sa fabrication jusqu'à sa fin de vie en passant par la fabrication et le transport, l'utilisation, le recyclage ou la destruction.

L'écoconception est un mot composé d'écologie et de conception. Etymologiquement parlant, l'écologie provient du grec "oikos", maison et "logos", science, connaissance. C'est donc, l'étude des milieux où vivent les êtres vivants, ainsi que des rapports de ces êtres avec le milieu. Ça renvoie aussi, au courant de pensée qui ouvre pour la protection de l'environnement et pour un meilleur équilibre entre l'homme et son environnement naturel. En effet, l'un des objectifs de l'écologie est de détecter, d'analyser et de combattre les dysfonctionnements éventuels d'un écosystème. Elle recherche également pour l'homme le bien-être sous la forme d'une harmonie avec son environnement naturel. La conception est un ensemble d'activités au sein d'une entreprise qui consiste à développer et définir un produit qui satisfait les exigences des clients.

Eco-concevoir, consiste à concevoir un produit en intégrant les aspects environnementaux dans la démarche de conception. Le concepteur est l'acteur qui est à l'initiative des idées et traduit ces idées ou ces besoins en réalité sous différents formats : qui peuvent-être d'abord des esquisses, des définitions de plus en plus fines du produit. Le concepteur est un acteur qui intervient le plus tôt dans le cycle de vie du produit et qui va porter les choix et les décisions sur des solutions matériaux, sur des solutions d'assemblage, sur des technologies à intégrer ou pas. Il choisit donc des solutions qui vont avoir des conséquences sur les consommations en énergie et les consommations en matériaux et sur la recyclabilité.

L'écoconception fournit aux entreprises une méthode pratique pour minimiser les impacts sur l'environnement afin d'assurer un développement durable. Les ingénieurs ont constaté qu'une pratique efficace de l'écoconception peut améliorer la qualité et le coût des produits, tout en réduisant les impacts environnementaux. Les impacts environnementaux d'un produit peuvent inclure la consommation d'énergie, l'épuisement des ressources naturelles, les rejets liquides, les émissions gazeuses et la production de déchets solides. Les deux problèmes environnementaux les plus critiques sont la consommation d'énergie et l'économie des matières. Pour le problème énergétique, l'écoconception a pour but de développer des produits qui utilisent moins d'énergie et qui utilisent des

énergies renouvelables. Pour le problème des matériaux, l'écoconception a pour but de choisir les bons matériaux pour les produits et de s'assurer qu'ils peuvent être recyclés.

Les ingénieurs de conception font tout pour parvenir à élaborer des produits moins énergivores, moins dangereux, plus écologiques. Pour les entreprises et pour leurs ingénieurs, la question est désormais de savoir comment intégrer la mesure et les limitations de l'impact environnemental des produits dans leur stratégie de recherche et de développement. Analyser le cycle de vie des produits, de manière à pouvoir se donner les moyens de les concevoir de façon durable est une nécessité.

Dans ce cours d'écoconception, faisant partie de module 22, enseigné au 3ème semestre du cycle ingénierie, de la filière génie industriel et productique nous allons présenter le processus d'écoconception qui doit être mis en place depuis les premières étapes de conception d'un produit, jusqu'à la fin de vie en passant par l'industrialisation et la conception d'un système de production propre et durable. Pour présenter ce processus, nous allons adopter le plan suivant :

Dans un premier chapitre, nous allons, aborder les impacts environnementaux des activités industriels, définir les termes utilisés à ce niveau et mettre de la lumière sur le sujet de la protection de l'environnement.

Dans un deuxième chapitre, nous allons décrire les activités du management de l'environnement, définir ce qu'est un système de management de l'environnement et présenter les différentes approches utilisées dans ce domaine.

Dans un troisième chapitre, nous allons, présenter, le cycle de vie du produit d'un point de vue marketing, décrire le processus de développement des nouveaux produits et nous allons voir comment intégrer le respect de l'environnement au processus de développement.

Dans un quatrième chapitre, nous allons présenter la démarche d'écoconception et présenter, les différentes étapes du processus d'Ecoconception.

Dans un cinquième chapitre, nous allons décrire les outils utilisés en écoconception pour évaluer les impacts environnementales d'un produit, à savoir ; la roue de l'écoconception et l'Analyse du Cycle de Vie (ACV).

Table des matières

1	Industrie et environnement	5
1.1	Impact des activités industrielle sur l'environnement.....	5
1.1.1	Environnement, Terminologie.....	5
1.1.2	Impact de l'homme sur l'environnement.....	6
1.1.3	Les premières grandes pollutions.....	9
1.2	Protection de l'Environnement	10
1.2.1	Empreinte écologique et Conférences des Parties	10
1.2.2	Instruments de protection de l'environnement.....	11
1.2.3	Loi n°11-03 relative à la protection de l'environnement	15
2	Approches en Management de l'environnement.	17
2.1	Management de l'environnement.	17
2.1.1	Activités du management environnemental.....	17
2.1.2	Système de management de l'environnement	19
2.2	Approches en Protection de l'environnement	20
2.2.1	Approches d'évaluation environnementale	21
2.2.2	Etudes d'Impact sur l'Environnement	22
2.2.3	L'économie circulaire	23
3	Développement des nouveaux produits	25
3.1	Cycle de vie des produits.....	25
3.2	Développement d'un nouveau produit.....	26
3.2.1	Processus de développement des Nouveaux Produits	26
3.2.2	Processus générique de développement de produits.....	28
3.3	Intégration des critères qualité au processus de développement.....	30
4	Démarche d'écoconception	33
4.1	Concepts de base de la démarche d'écoconception.....	33
4.2	Processus d'Ecoconception	34
5	Outils de l'écoconception.....	45
5.1	Les différents types d'Outils d'évaluation en écoconception	45
5.1.1	La roue de l'écoconception.	45
5.1.2	L'Analyse du Cycle de Vie (ACV)	47
5.2	Analyse MIPS d'un pullover pour femme.....	52
5.2.1	La méthode – MIPS.....	52
5.2.2	Calcul MIPS du pullover.....	53
5.2.3	Réduction du MIPS et amélioration de l'efficacité des matériaux	56
6	Bibliographie.....	57

1 Industrie et environnement

L'air, l'eau et la terre sont des ressources naturelles, renouvelables et abondantes dans la nature. Utilisées par tous, leur protection concerne en premier lieu les industries qui sont les activités humaines les plus polluantes. Propreté de l'air, de l'eau et des sols, gestion des déchets et protection contre le bruit viennent en tête des préoccupations liées à la pression que l'homme exerce sur son milieu. Dans ce chapitre, nous allons, aborder les impacts environnementaux des activités industriels. Par suite, dans un premier temps, nous allons présenter les impacts environnementaux des activités industriels et définir les termes utilisés à ce niveau. Dans un deuxième temps, nous allons mettre de la lumière sur le sujet de la protection de l'environnement.

1.1 Impact des activités industrielle sur l'environnement

Les activités industrielles peuvent exercer des pressions et ont des impacts sur l'environnement. Elles peuvent également être source de risques pour le personnel et les populations avoisinantes. Les impacts des activités des sites de production sur l'environnement comprennent :

- L'extraction et la transformation de matières premières (pollution des sols, de l'eau ou de l'atmosphère),
- Les prélèvements d'eau douce,
- La production de déchets et d'effluents (liquides ou gazeux),
- Les nuisances locales (bruits, odeurs, poussières) ;

Dans ce paragraphe nous allons, tout d'abord, définir la relation entre l'industrie et l'environnement et les différents termes utilisés dans le domaine de la protection de l'environnement. Dans un deuxième temps, nous allons décrire les impacts environnementaux des activités industriels.

1.1.1 Environnement, Terminologie

Les impacts sur l'environnement relèvent en partie de la responsabilité du producteur final qui possède les moyens d'agir sur ses propres performances environnementales. Lorsqu'elles sont susceptibles de créer des pollutions ou des nuisances, on parle de risque chronique. Quand elles peuvent présenter un certain nombre de dangers, on parle de risque accidentel. Nous allons à présent définir les termes communément utilisés en management environnemental.

Les **aspects environnementaux** réfèrent aux éléments afférents aux produits, activités et services de l'entreprise (polluants) [1], par exemple les émissions atmosphériques, la composition des produits. Les polluants sont définis comme des altéragènes biologique, physique ou chimique, qui au-delà d'un certain seuil, et parfois dans certaines conditions, développe des impacts négatifs sur tout ou partie d'un écosystème ou de l'environnement en général :

- Émissions des pots d'échappement,
- Déchets de produits de consommation courante (emballages, hydrocarbures, copeaux, batteries usagées, rejets),
- Phénomènes physiques (radioactivité, électromagnétisme) dont le caractère malsain dépendant de la durée d'exposition.

Les **impacts environnementaux** représentent les modifications que ces aspects environnementaux peuvent causer à l'environnement (nuisance) [1]. Une nuisance est l'ensemble des éléments qui nuisent à la qualité de la vie (pollution, bruit, promiscuité). La pollution est donc un

phénomène ou élément perturbateur d'un équilibre établi (écosystèmes) et plus particulièrement si cet élément est nuisible à la vie.

L'**écosystème** comprend un milieu, les êtres vivants qui le composent et toutes les relations qui peuvent exister et se développer à l'intérieur de ce système. C'est la plus grande unité d'étude de l'écologie, elle peut même s'appliquer à la terre qui peut être considéré comme le plus gros **écosystème** terrien contenant toute la vie sur la planète terre. En écologie, un écosystème est un ensemble formé par une communauté d'êtres vivants en interrelation (biocénose) avec son environnement (biotope). Les composants de l'écosystème développent un dense réseau de dépendances, d'échanges d'énergie, d'information et de matière permettant le maintien et le développement de la vie. La notion d'écosystème regroupe toutes les échelles : de la Terre au simple caillou en passant par la flaque d'eau, la prairie, la forêt, ou même les organismes vivants. Chacun constitue un écosystème à part entière.

Un écosystème n'est pas un ensemble statique et immuable. Un écosystème évolue et s'adapte en permanence aux évolutions du milieu ou des êtres vivants qui le composent. Un écosystème comme la terre est capable de s'adapter aux changements et aux dérèglements à condition qu'ils ne soient pas trop nombreux à se produire en même temps et que ces changements se produisent sur une durée assez longue. Ce fut le cas lorsque l'écosystème terre c'est adapté à la période glaciaire et au réchauffement de la terre. La terre des dinosaures ne ressemble en rien à la terre de la préhistoire qui est elle-même très différente de la terre que nous connaissons. Dans ce paragraphe nous allons aborder les perturbations causées par les activités humaines sur l'environnement à savoir ; l'Effet de serre, la perturbation du cycle de carbone, l'augmentation des déchets, la pollution de l'eau ... En effet, les dérèglements et perturbations que subit notre écosystème terre peuvent provenir de 3 sources différentes :

- Du milieu (volcans, épidémies ...)
- Des êtres vivants
- D'un élément extérieur à l'écosystème (météorites, comètes ...)

1.1.2 Impact de l'homme sur l'environnement

Tous les êtres vivants provoquent des modifications du milieu et créent des dérèglements et des déséquilibres, mais les êtres vivants qui causent les plus importantes sont sans conteste les humains. L'activité humaine a toujours créé des modifications de son milieu mais jamais d'aussi importantes que depuis les 50 dernières années. C'est l'activité humaine qui risque de mettre en péril l'équilibre de la planète pour les années à venir. En effet, l'homme consomme les ressources naturels, eau pétrole ..., produit une grande quantité des déchets, extermines certaines espèces et réduit la biodiversité. Une biodiversité suffisante conduit à l'équilibre de l'écosystème. Lorsque la biodiversité diminue, les milieux sont moins résilients, plus vulnérables, car ils sont moins denses. La biodiversité affecte aussi les risques sanitaires. En effet les études montrent que plus un écosystème est riche en biodiversité, moins la diffusion des virus ou bactéries pathogènes est facile. Parmi les perturbations causées par les êtres vivants on trouve :

- La déforestation
- La disparition de biotopes
- La disparition de certaines espèces vivantes (érosion de la biodiversité)
- La désertisation
- Perturbation du cycle de l'eau

- Effet de serre
- Perturbation du cycle de carbone

Cycle de carbone [2]: Le carbone est l'élément essentiel de toute la vie sous la forme organique dans la biosphère. Il est présent dans la biosphère, l'atmosphère, les océans et la lithosphère. Il est présent sous forme : Solide, combiné au calcium en carbonates dans la lithosphère, Gazeuse sous forme de dioxyde de carbone CO_2 et de méthane CH_4 dans l'atmosphère et Liquide sous forme dissoute ou combiné à l'eau en H_2CO_3 dans les océans. On trouve 19 fois plus de carbone dans l'atmosphère que dans la biosphère et 50 fois plus de carbone dans les océans que dans la biosphère. Les échanges de carbone qui ont lieu entre biosphère, atmosphère, océans forment le flux du cycle carbone. Dans le sens atmosphère vers biosphère les échanges se font par la photosynthèse. Les arbres transforment le CO_2 de l'atmosphère en carbone puis en composés organiques à base de carbone (glucose, protéines et acides aminés) en utilisant l'énergie du soleil et l'eau. Dans le sens biosphère vers atmosphère, les échanges se font par la respiration des êtres vivants, la fermentation des matières organiques et leur combustion, toutes produisant du CO_2 libéré vers l'atmosphère. Les océans échange avec l'atmosphère en dissolvant du CO_2 ; le CO_2 dissous forme avec l'eau de l'acide carbonique. Le Cycle carbone est en équilibre si la quantité de carbone qui entre dans l'atmosphère est égale à la quantité qui en sort. Les plantes et les êtres vivants emprisonnés dans la lithosphère se transforment en énergie fossiles (pétrole charbon), l'utilisation massive de cette énergie engendre le déséquilibre du cycle carbone. A cause de la déforestation et de l'utilisation massive de l'énergie fossile, la concentration du CO_2 a augmenté de 40% ces dernières années.

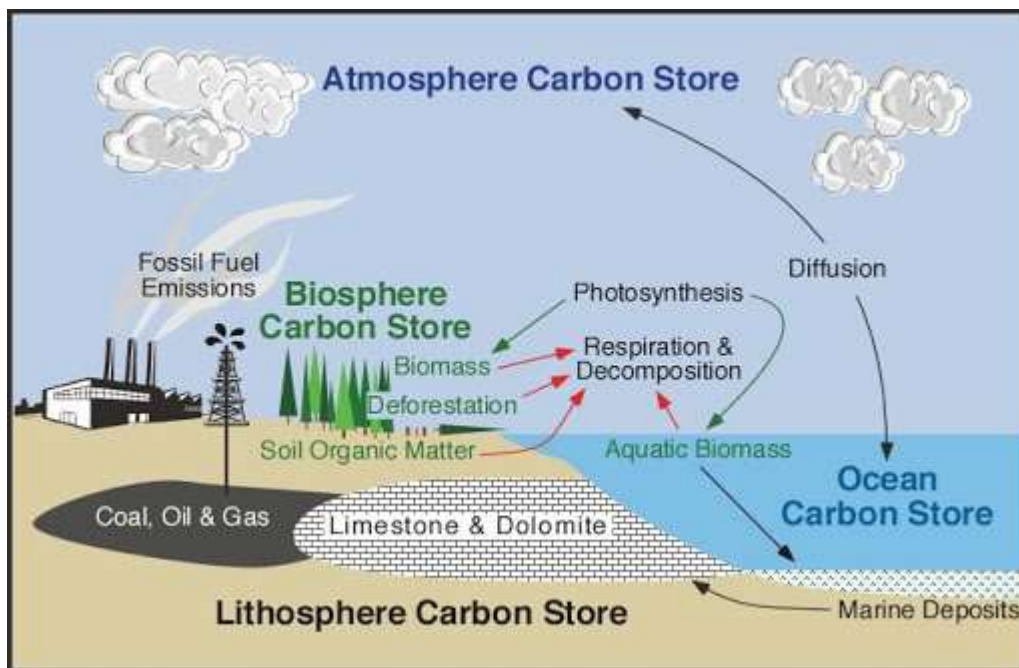


Figure 1-1 : Cycle de carbone (source [3])

Effet de serre : c'est un processus naturel résultant de l'influence de l'atmosphère sur les différents flux thermiques contribuant aux températures au sol d'une planète. La prise en compte de ce mécanisme est nécessaire pour expliquer les températures observées à la surface de la Terre et de Vénus. Dans le système solaire, l'essentiel de l'énergie thermique reçue par une planète provient du rayonnement solaire, l'atmosphère d'une planète absorbe et réfléchit une partie de ces rayonnements modifiant ainsi l'équilibre thermique. Ainsi l'atmosphère isole la Terre du vide spatial comme une serre

isole les plantes de l'air extérieur. L'usage de l'expression **effet de serre** s'est étendu dans le cadre de la vulgarisation du réchauffement climatique causé par les gaz à effet de serre qui bloquent et réfléchissent une partie du rayonnement thermique. Or le bilan thermique d'une serre s'explique essentiellement par une analyse de la convection et non du rayonnement : la chaleur s'accumule à l'intérieur de la serre car les parois bloquent les échanges convectifs entre l'intérieur et l'extérieur. Le forçage radiatif est donc l'influence des gaz à effet de serre, composants de l'atmosphère bloquant le rayonnement infrarouge, sur le bilan thermique de la Terre.

Impact des Déchets : C'est difficile de se débarrasser des déchets. En effet, l'homme produit une grande quantité de déchets et seulement 20 % des déchets sont recyclés. La grande partie des déchets sont stockés dans des décharges, une autre partie est incinérée, une grande partie est rejetée dans les océans ou sur les montagnes ...

Les déchets peuvent être classés selon leur origine (agricoles, municipaux, industriels, des activités de soins) ou selon la typologie (biodégradables, inertes, recyclables, ultimes ou dangereux). Les déchets biodégradables correspondent aux déchets alimentaires qui sont issus essentiellement des métiers de la restauration et de l'industrie agro-alimentaire, déchets de maison qui sont produits par les particuliers, déchets de jardin qui sont produits par les collectivités... Les déchets inertes sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières. Un déchet est recyclable s'il peut servir à fabriquer un nouveau produit. On peut citer les déchets ménagers tels que : le verre, les métaux, les papiers, les plastiques ou encore les matières organiques... Pour qu'un déchet soit recyclé, il faut qu'il soit récupéré dans le cadre d'une collecte de tri sélectif. Un objet recyclable n'est donc pas forcément recyclé. Ces déchets sont récoltés et triés par les particuliers dans des conteneurs spécifiques à chaque type de déchet (conteneurs bleu, jaune, vert et gris). Les déchets ultimes ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques appartenant au processus de valorisation du déchet ou de réduction de son caractère polluant ou dangereux. Les déchets dangereux présentent une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, infectieux, corrosif, mutagène, ... ils peuvent être solides (piles, batteries usagées, résidus de peinture, ...), liquides (lessives et détergents, huiles de vidange, liquides de frein, de refroidissement, huiles de coupe, solvants, encres ...).

A chaque type de déchet correspond un processus de gestion. Afin de bien diriger le déchet dans la bonne filière, un pré tri est nécessaire. Ce tri va permettre dans un premier temps de séparer les déchets recyclables des déchets non recyclables et dans un second temps de valoriser énergétiquement le déchet. Les **décharges** sont aussi appelées centre d'enfouissement technique ou centre de stockage pour déchets ultimes. La mise en décharge consiste à l'enfouissement des déchets ultimes qui ne sont pas destinés à être recyclés. L'**incinération** est une technique consistant à détruire par le feu et à réduire en cendre les déchets traités. Les déchets sont brûlés dans des fours à une température allant de 700°C à 900° C. Sont incinérés les déchets ménagers et les déchets industriels. Le **compostage** peut être défini comme un procédé biologique contrôlé de conversion et de valorisation des matières organiques en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques, le compost. Les déchets compostables sont les déchets biodégradables. Le compostage permet la réduction du volume de déchets organiques à traiter par la collectivité pour la

production d'un humus de qualité nécessaire au bon développement des plantes et la protection de l'environnement.

Pollution de l'eau : L'eau est une ressource vitale limitée. Elle fait l'objet d'une demande croissante à des fins domestiques et industrielles, ce qui menace la pérennité des eaux souterraines et a des conséquences pour l'agriculture, la foresterie, l'industrie et les réserves d'eau potable. Il est essentiel que les ressources en eau soient gérées de manière stratégique et durable. Les eaux souterraines sont la première source d'eau potable pour la moitié de la population mondiale. Elles sont contaminées par les eaux usées et les effluents liquides et nuisent à la santé publique et à l'environnement.

Les trois quarts de la surface de notre planète sont recouverts d'eau, mais d'eau salée malheureusement. Ces réservoirs inépuisables que sont les océans font rêver, cependant il est difficile et très coûteux de transformer cette eau salée en eau douce. La production d'eau potable correspond à l'action permettant de produire de l'eau consommable à partir d'une eau naturelle. Le traitement nécessaire dépend fortement de la qualité de la ressource en eau. Il est pris en charge par la collectivité en régie ou délégué à une entreprise privée. Il existe plusieurs réserves disponibles d'eaux naturelles :

- Les eaux souterraines : aquifère, nappe phréatique, infiltration ;
- Les eaux de surfaces : glaciers, lacs, étangs, rivières, fleuves ;
- Les eaux de mer et les eaux saumâtres ;

Les **eaux usées**, ou effluents liquides sont des eaux polluées, constituées de toutes les eaux de nature à contaminer, par des polluants physiques, chimiques ou biologiques, les milieux dans lesquels elles sont déversées. Un enjeu majeur des pays de nos jours est de réduire à la source de la pollution, éliminer les contaminants, et réutiliser, sans danger, les eaux usées et récupérer les sous-produits utiles. Dans la plupart des pays, les eaux usées sont collectées et acheminées par un réseau d'égout jusqu'à une station de traitement. Lorsqu'il est impossible de raccorder l'habitat à un tel réseau, on installe des fosses septiques. Dans sa quête de civilisation, d'industrialisation et de consommation, la population mondiale a causé la dégradation de l'eau, qui est source de vie sur terre et qui, polluée, peut devenir un vrai danger pour la faune, la flore et l'être humain. En fait, une grande partie des eaux usées domestiques et des déchets industriels sont évacués dans les rivières ou rejetés dans les champs pour les fertiliser. Ces déchets contiennent des chlorures et des nitrates qui contaminent les eaux phréatiques.

1.1.3 Les premières grandes pollutions

Les premières grandes pollutions semblent avoir été induites par la révolution industrielle permise par les machines à vapeur et le charbon. La pollution industrielle peut avoir un impact très important sur la santé comme en témoigne le réchauffement climatique qui entraîne l'apparition de maladies inconnues jusqu'alors, des migrations de certaines espèces, voire leur extinction si elles ne peuvent s'adapter à leur environnement. En effet, le développement économique génère une forte augmentation de la consommation d'énergie et de ressources pétrolières (Fours, transports ...) et les activités industrielles génèrent des déchets de produits (emballages, rejets, copeaux, hydrocarbures.), des nuisances (odeurs, bruis, radioactivité, électromagnétisme...). Ce qui implique des impacts environnementaux graves : pollution de l'air, désertification, disparition des certaines espèces animales, déséquilibre du cycle de carbone, effet de serre...Il faut concilier entre progrès économique et équilibre naturel. L'entreprise doit mettre en place un système de protection de l'environnement.

Après la révolution industrielle un certain nombre d'accidents ont causé de grandes pollutions [4], dont on peut citer la catastrophe de Seveso, la catastrophe de Bhopal, l'affaire Volkswagen ...

Catastrophe de Bhopal : La catastrophe de Bhopal en Inde, survient dans la nuit du 3 décembre 1984, elle est la conséquence de l'explosion d'une usine d'une filiale de la firme américaine Union Carbide produisant des pesticides. En effet, l'explosion du réservoir de stockage de l'isocyanate de méthyle ($\text{CH}_3\text{-N=C=O}$) a dégagé 40 tonnes dans l'atmosphère de la ville. Les opérateurs ont injecté accidentellement de l'eau dans un réacteur contenant du méthyl-isocyanate. Les systèmes redondants prévus pour la capture et la neutralisation du méthyl-isocyanate en sortie du réacteur, en cas d'accident était défectueux. En fait, ces systèmes étaient inopérants à cause d'un problème de maintenance. Les alarmes et les capteurs défectueux ont conduit à différer l'alerte. Les conditions liées à l'environnement ont eu un effet aggravant : en absence de vent cette nuit-là, le nuage de gaz toxique a stagné sur la ville. Cet accident industriel tua entre 20 000 et 25 000 personnes.

Exxon Valdez : Le 24 mars 1989, l'Exxon Valdez, un pétrolier américain, s'échoue sur un récif au large de l'Alaska. L'accident provoquera une marée noire de plus de 7000 kilomètres carrés, et la mort de milliers d'oiseaux et mammifères marins. Un problème d'alcoolisme sera suspecté. Juste avant le départ du navire, le commandant avait bu 5 doubles vodkas dans les bars du port. Il sera reproché au commandant d'avoir quitté la passerelle, laissant le navire sous les commandes d'un lieutenant n'ayant pas la qualification pour diriger le navire dans le détroit. Après cette catastrophe, tous les navires devaient posséder une double coque. En 2010 le retrait progressif des pétroliers à simple coque, qui n'ont qu'une paroi métallique entre leur cargaison et l'océan a été entamé. De meilleurs radars et l'utilisation plus fréquente de la navigation par système de positionnement par satellite ont également permis de réduire les risques.

Affaire Volkswagen : au début 2014, le scandale de tricherie sur les normes anti-pollution de Volkswagen a éclaté. En effet, pour qu'elles soient homologuées, les véhicules doivent respecter les normes Euro 6 qui limite le seuil d'émission des polluantes (NO_x et CO_2) dans les échappements. Il s'est avéré que Volkswagen ne respecte pas cette Normes et que ses véhicules émettent beaucoup plus de NO_x dans l'atmosphère que le seuil Euro6. En effet, Les ingénieurs peuvent modifier les paramètres informatiquement dans le calculateur du moteur pour réduire les émissions polluantes (NO_x et CO_2) des moteurs lors des tests d'homologation.

1.2 Protection de l'Environnement

C'est après la 2nd guerre mondiale qu'une prise de conscience des répercussions des activités humaines sur l'environnement voit le jour, parallèlement à la naissance du mouvement écologique. Les préoccupations environnementales conduisent les gouvernements à prendre des mesures pour limiter l'empreinte écologique des populations et pour contrer des activités humaines contaminants. Dans ce paragraphe nous allons mettre la lumière sur le sujet de la protection de l'environnement. Nous allons tout d'abord présenter l'empreinte écologique et les efforts des différents pays pour la réduire, ensuite nous allons aborder les instruments utilisés par les états et les entreprises pour la protection de l'environnement.

1.2.1 Empreinte écologique et Conférences des Parties

L'empreinte écologique est un indicateur qui comptabilise la pression exercée par les hommes envers les ressources naturelles. Dans ce paragraphe, nous allons présenter l'empreinte écologique et les efforts des différents pays pour la réduire, notamment à travers les conférences des parties COP.

L'empreinte écologique mesure les surfaces alimentaires productives de terres et d'eau nécessaires pour produire les ressources qu'un individu, une population ou une activité consomme et pour absorber les déchets générés. Pour réduire l'empreinte écologique, les gouvernements ont développé les énergies renouvelables (éoliennes, solaire ...) et les entreprises ont adopté des pratiques écologiques et ont fait appel à l'éco-conception.

Suite à la prise de conscience par les différents pays des impacts des activités humaines sur l'environnement des conventions gouvernementaux, des accords environnementaux et des plans d'action ont été adoptés, ils ont eu pour but d'amoindrir les impacts environnementaux à une échelle globale, régional et local. En effet, l'ONU s'est dotée en 1992, à l'occasion du sommet de la Terre de Rio de Janeiro, d'un cadre d'action de lutte contre le réchauffement climatique : la CCNUCC (Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques). Cette convention réunit presque tous les pays du monde qui sont qualifiés de Parties. Leurs représentants se rassemblent une fois par an depuis 1995 lors des COP (Conferences of the Parties). C'est notamment lors de ces COP que les États signataires peuvent entériner des accords sur la réduction des émissions anthropiques de gaz à effet de serre, avec des objectifs communs ou différenciés. Ils évaluent également à ces occasions l'évolution de leurs engagements et de l'application de la convention-cadre. Des sessions de négociation sont réalisées en amont de ces sommets. Les COP réunissent les représentants des Parties mais aussi des acteurs non-étatiques : collectivités territoriales, ONG, scientifiques, etc.

La 1^{ère} COP s'est tenue à Berlin en 1995. A l'occasion de la 3^{ème} COP en 1997, le Protocole de Kyoto a été signé : 37 pays développés se sont engagés à réduire, entre 2008 et 2012, de 5,2 % par rapport au niveau de 1990 les émissions de 6 gaz à effet de serre : dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote et trois substituts des chlorofluorocarbones. Il est entré en vigueur en 2005 et a été ratifié par 168 pays en 2010. Lors du très médiatisé sommet de Copenhague en 2009 (COP15), aucun accord global n'a en revanche été trouvé. En 2012, l'Amendement de Doha (COP18) a prolongé le Protocole de Kyoto. Il porte sur la période 2013/2020 et prévoit pour les pays engagés une réduction moyenne de 18% de leurs émissions par rapport à 1990. La même année a eu lieu le dernier Sommet de la Terre, Rio+20 à Rio de Janeiro.

La COP21, qui s'est tenue à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015, a permis de conclure un accord engageant 195 États à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Ledit accord de Paris est depuis entré en vigueur le 4 novembre 2016. Les COP suivantes se sont déroulés à Marrakech du 7 au 18 novembre 2016 (COP22) et à Bonn du 6 au 17 novembre 2017 (COP23, présidée par les îles Fidji). La COP24 s'est déroulée à Katowice en Pologne, du 3 au 14 décembre 2018. Depuis 2005, date d'entrée en vigueur du Protocole de Kyoto, la COP est chaque année couplée à la Conférence annuelle des Parties au Protocole de Kyoto.

1.2.2 Instruments de protection de l'environnement

Chaque pays adopte dans sa stratégie de développement le facteur environnemental, et définit des objectifs environnement ; amélioration du cadre de vie des citoyens, renforcement de la gestion durable des ressources naturelles, promotion des activités économiques respectueuses de l'environnement ... Cette stratégie doit s'aligner sur les engagements et conventions qu'il a pris lors des conférences des parties. Elle doit, donc, comprendre l'efficacité énergétique, l'assainissement liquide, la lutte contre la pollution industrielle, le traitement des déchets ménagers, l'aménagement et la préservation de la zone d'intérêt biologique et écologique ...elle englobe, d'autre part, le

renforcement du cadre législatif et réglementaire et la promulgation de lois relatives à l'environnement.

Conformément à ses engagements au niveau international, le Maroc a adopté dans sa stratégie de développement le concept de développement durable. En effet, suite aux directives de Sa Majesté le Roi Mohamed VI, dans son discours du Trône du 30 Juillet 2009, le Maroc a élaboré sa Charte Nationale de l'Environnement et du Développement Durable [5]. L'Article 2 de cette loi a énoncé les principes à respecter pour élaborer et mettre en œuvre des politiques, des stratégies, des programmes et des plans d'action par l'Etat, les collectivités territoriales, les établissements publics et sociétés d'Etat et par les autres parties intervenant dans les domaines de l'environnement. Dans le cadre de cette stratégie, plusieurs chantiers ont été lancés parmi lesquels on a le renforcement du cadre législatif et réglementaire, le plan national de l'efficacité énergétique, les programmes nationaux de lutte contre la pollution, tels que le programme national d'assainissement liquide, le programme national de lutte contre la pollution industrielle, et le Programme national des déchets ménagers (PNDM). Il y a eu la création du secrétariat d'Etat chargé du Développement durable et du Laboratoire National des Etudes et de Surveillance de la Pollution (LNESE) pour accompagner l'autorité chargée de l'Environnement dans la surveillance et de contrôle de la pollution, le Conseil National de l'Environnement (CNE) qui regroupe tous les partenaires et acteurs concernés (Ministères, Collectivités Locales, Industriels, ONGs, Universités).

Pour mieux illustrer le concept de Développement durable, nous pouvons représenter la société comme la réunion de deux sous-systèmes, le premier concerne les ménages, les citoyens qui représentent le sous-système **vie sociale**, le deuxième concerne les entreprises qui représentent le sous-système **activité économique**. Pour compléter ce système on ajoute la sphère **environnement**. Cette représentation permet de trouver une stratégie gagnante pour chacun des domaines, cette stratégie se trouve de fait dans la zone d'intersection entre les 3 sphères.

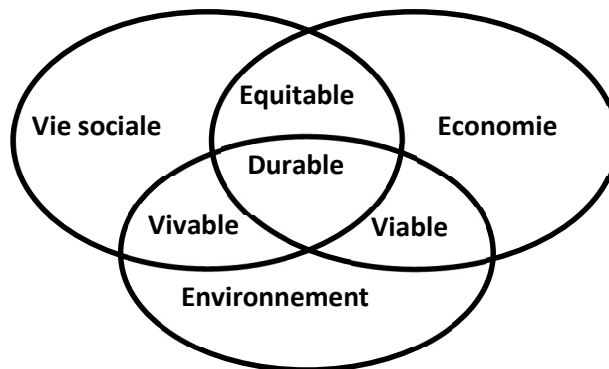


Figure 1-2: Société en tant que Système

Un développement n'est durable qu'à une triple condition :

- Être équitable c'est-à-dire qu'il se refuse à toutes inégalités. Toutes les actions dans le domaine de la solidarité, de l'équité sociale, de la lutte contre la pauvreté sont partie intégrante du développement durable.
- Être viable, soit un lieu où on peut y vivre et non survivre. Préserver la diversité des espèces et les ressources naturelles et énergétiques est une nécessité.
- Être viable en permettant de créer des richesses et d'améliorer les conditions de vies matérielles sans compromettre les besoins des générations futures.

La relation des autres sous système à l'environnement se manifeste d'autre part, par la circulation de différents flux. En effet, l'activité de la vie quotidienne conduit à un flux comprenant principalement ; l'utilisation d'espace pour le développement des villes, l'implantation des entreprises, des infrastructures de transport, la consommation d'air, d'eau, de matières premières et d'énergie (gaz, dérivés pétroliers, électricité), les rejets et émissions dans les milieux eau, air et sols, et les déchets. Ces flux comptabilisent aussi bien les prélèvements indirects et les rejets contrôlés que les prélèvements directs et les rejets incontrôlés.

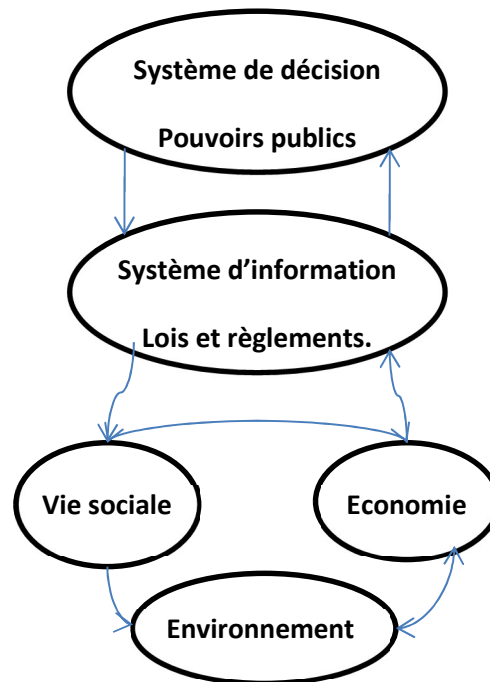


Figure 1-3: Modèle Canonique O I D

En se référant à la modèle canonique Opération Information Décision (O-I-D) de Lemoigne on peut considérer que le système opérant est composé des trois sous-systèmes : (vie social, économique et environnement). Le système de Décision est dans ce cas le système chargé de la régulation du système Opérant et dont les pouvoirs publics constituent le principal acteur. Deux systèmes d'Information cohabitent l'un est formel, l'autre est informel, associations qui peuvent faire une pression sur le pouvoir publics dans le cas d'un problème de pollution. Sur la base des informations sur le système Opérant, le système de Décision élabore un projet d'action. Ainsi à un problème donné de pollution le système de Décision doit apporter une réponse en faisant intervenir les différents acteurs ayant des intérêts divergents. Il ne faut pas négliger la pression externe exercée par les autres parties : consommateurs, associations, ONG, élus locaux. Il faut les satisfaire en effet, l'insatisfaction des parties prenantes peut avoir plusieurs risques (Boycott du produit, détérioration médiatique, détérioration de l'image de marque...). Au Maroc plusieurs ministères interviennent dans la protection de l'environnement ;

- Ministère de l'Intérieur, à l'échelon local par l'intermédiaire des Collectivités locales. En effet, les organes qui gèrent une ville sont l'arrondissement, la commune, la préfecture, la province et la région. Les services publics locaux varient d'une collectivité à une autre [6] et portent généralement sur l'assainissement liquide et solide, la collecte des ordures ménagères, l'éclairage public, l'entretien des parcs et des jardins, l'entretien des rues etc...

- Ministères de l'énergie et des mines, au niveau de l'économie d'énergie et des ressources naturelles.
- Ministère de la Santé, par l'intermédiaire de la Direction de l'épidémiologie et de la lutte contre les maladies.

La mise en place du développement durable, implique la mise en place d'un système d'information sanitaire pour la collecte des données. Les données collectées sont exploitées et permettent d'identifier et d'évaluer les risques. La surveillance épidémiologique est assurée par le ministre de la santé qui se base sur la recherche scientifique pour évaluer les risques. Ensuite, il faut choisir parmi les différentes options de gestion du risque les mesures de contrôle appropriées, à mettre en place. Les mesures réglementaires choisies spécifient les pratiques à respecter, les limites à ne pas dépasser, etc. Ils sont élaborés en concertation entre les différents intervenants : pouvoirs publics, autorités scientifiques, professionnels et consommateur.

Le traitement des déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux est parmi les grands problèmes que doivent affronter les pouvoirs publics. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction des effets des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation. Une idée relativement récente consiste à considérer les déchets comme une ressource à exploiter et non comme des rebuts dont il faut se débarrasser. Les méthodes pour produire de nouvelles ressources à partir de déchets sont diverses et nombreuses : par exemple on peut extraire les matières premières des déchets puis les recycler, ou les brûler pour produire de l'énergie. Les méthodes de valorisation des déchets sont en plein développement, grâce notamment aux apports des nouvelles technologies. Ce processus de valorisation des déchets s'appelle valorisation matière, ou recyclage, si on récupère des matériaux réutilisables, et valorisation énergétique si on obtient à la place de l'énergie.

Le principal levier sur lequel se base les Pouvoirs publics pour réguler la société est les lois et les règlements. Ils doivent établir un cadre législatif relatif à l'environnement. D'un point de vue législatif, dans la plupart des pays, le mot pollution qualifie la contamination d'un milieu par un agent polluant au-delà d'un seuil. Généralement, ce n'est pas simplement la présence mais plutôt la surabondance de l'élément dans un milieu où il est naturellement en équilibre (par exemple un métal lourd fixé dans le sol). Le seuil d'un polluant est le niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

L'entreprise, à son tour, fait partie de la stratégie de protection de l'environnement. Elle a donc un rôle à jouer dans ce sens. Elle doit, d'une part, analyser les impacts environnementaux de ses activités et mettre en place un système de contrôle et des mesures de correction [7]. Par exemple, pour répondre aux exigences environnementales en matière d'émissions de poussières, une cimenterie doit prévoir un dispositif de filtration de ces processus de production (broyages, cuisson ...). En effet, la réglementation fixe le seuil d'émission de poussières à 100mg/Nm³. Et d'autre part, elle doit, mesurer les impacts environnementaux de ses produits et développer et commercialiser des produits écologiques. En effet, 50% des émissions de GES (gaz à effet de serre, principaux responsables du réchauffement climatique) sont le fait de la mise en œuvre des produits.

1.2.3 Loi n°11-03 relative à la protection de l'environnement

Au Maroc l'objet de la Loi n°11-03 promulguée par le dahir n°1-03-59 du 12 mai 2003, relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement [8], est d'édicter les règles de base et les principes généraux de la politique nationale dans le domaine de la protection et de la mise en valeur de l'environnement. Elle a introduit la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, qui classe les différents risques chroniques et accidentels des installations suivant leurs éventuelles conséquences sur l'environnement. Ces installations sont hiérarchisées en fonction de l'importance des dangers ou des nuisances qu'elles sont susceptibles de créer. Les entreprises qui ont une installation classée sont obligées d'installer des équipements de mesure de la pollution et de transmettre périodiquement les relevés effectués sur la nature et la quantité des rejets liquides, solides et gazeux aux autorités publiques.

La Loi n°11-03 impose, d'autre part, au maître d'ouvrage, d'effectuer une étude permettant d'évaluer l'impact sur l'environnement du projet et sa compatibilité avec les exigences de protection de l'environnement, lorsque la réalisation d'aménagements, d'ouvrages ou de projets risquent, en raison de leur dimension ou de leur incidence sur le milieu naturel, de porter atteinte à l'environnement. Le système des EIE a été mis en œuvre au Maroc d'une manière progressive à travers plusieurs étapes. Entre 1994 et 2003, des EIE ont été réalisées d'une manière volontaire par les promoteurs de projets ou sollicitées par des bailleurs de fonds internationaux ou pour des raisons de sensibilité particulière d'un milieu récepteur d'un projet ou pour un arbitrage d'avis discordants concernant l'occupation des sols. La deuxième étape, entre 2003 et 2008, a débuté par l'adoption de la Loi n° 12-03 relative aux EIE [9], devenue la référence législative d'application du principe de l'étude d'impact. Même en l'absence de textes d'application de cette Loi, une procédure d'examen des EIE s'est installée au niveau national. Avec la promulgation en 2008, des Décrets d'application de la Loi n° 12-03 relative aux EIE, le système des EIE est entré dans une nouvelle étape charnière marquée par la prise en considération de l'avis de la population concernée dans l'évaluation environnementale des projets. Cela a nécessité de grands efforts en matière d'organisation, d'adoption d'une démarche structurée du processus d'évaluation des EIE et un appui soutenu pour le renforcement des capacités des intervenants dans ce processus.

En effet, les sources principales du droit marocain sont la Constitution, les décrets royaux (Dahir) et les lois votées par le parlement. La conception, la rédaction et la bonne application des textes législatifs et réglementaires sont assurées au Maroc par le Secrétariat Général du Gouvernement. La hiérarchie juridique Marocaine se compose de normes suivantes [10]:

- Le dahir : émanant de Sa Majesté le Roi ;
- La loi : acte émanant du parlement ;
- Le décret-loi et le décret : actes émanant du Premier ministre ; il apporte des précisions pour l'application de la loi ou certains de ses articles
- L'arrêté et la décision : acte émanant d'un ministre ; Il a une valeur subalterne. C'est une décision exécutoire (arrêté ministériel ou interministériel)

C'est aux ministères directement intéressés par les mesures à prendre que revient l'initiative d'établir les projets de lois à soumettre à la délibération du conseil des ministres en vue de leur dépôt sur le bureau de la chambre des représentants ou de la chambre des conseillers.

Parmi les exigences de la Loi n°11-03, il y a l'élaboration des plans d'urgence pour faire face à des situations critiques génératrices de pollution grave de l'environnement du fait des accidents

imprévisibles ou des catastrophes naturelles ou technologiques. En ce qui concerne les mesures de répression, la Loi n°11-03 fixe la procédure et la poursuite des infractions et de constatation des infractions. En effet, toute personne physique ou morale, victime d'une pollution, a droit, de demander l'ouverture d'une enquête. Les résultats de cette enquête sont communiqués au plaignant. D'autre part, ce sont les officiers de la police judiciaire qui sont chargés de la constatation des infractions. Des fonctionnaires experts ou agents de contrôle peuvent être chargée, à titre exceptionnel de rechercher et constater des infractions, par l'administration, à condition que ça n'empiète pas sur les attributions des officiers de la police judiciaire. En effet, au niveau de l'article 77 de la loi n°11-03, l'expression « sous réserve » introduit cette restriction [11]. La police judiciaire est l'autorité chargée, au Maroc, de constater les infractions, d'en rechercher les auteurs et de rassembler les preuves. Ses membres sont des fonctionnaires dotés de la qualité d'officier ou d'agent de police judiciaire. Tous les policiers ne sont donc pas en charge d'une mission de police judiciaire, et la police judiciaire n'est pas uniquement composée de policiers : certains gendarmes, mais encore les maires et leurs adjoints possèdent la qualité d'officier de police judiciaire. Dans l'exercice de leurs missions d'enquête, ce sont les officiers de police judiciaire qui peuvent recourir à certains moyens de coercition : perquisition, saisie. Ils exercent ces prérogatives dans un cadre juridique particulièrement précis et sous le contrôle de l'autorité judiciaire, gardienne de la liberté individuelle.

2 Approches en Management de l'environnement.

Comme il a été dit, l'entreprise, a un important rôle à jouer dans la protection de l'environnement. En effet, les efforts des entreprises en matière environnementale ont d'abord porté sur les problèmes liés aux sites de production. C'est l'approche site avec des systèmes de management pour limiter les rejets des sites et les consommations d'énergie et de matières. Ces efforts peuvent, d'autre part, dépasser les murs des sites de production et prendre en compte l'ensemble du cycle de vie des produits. C'est l'approche produit avec des démarches telles que l'écoconception, l'éco labellisation ou l'économie circulaire. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes approches utilisées en management de l'environnement. Dans un premier temps, nous allons décrire les activités du management de l'environnement et définir ce qu'est un système de management de l'environnement. Ensuite, nous allons présenter les différentes approches et les méthodes utilisées en management de l'environnement à savoir ; l'étude d'impact, l'économie circulaire ...

2.1 Management de l'environnement.

Le Management de l'environnement est mot composé de Management d'une part et de et Environnement d'autre part. Le management c'est l'ensemble des activités permettant d'orienter et de contrôler un organisme, en vue d'atteindre un objectif. En ce qui concerne l'environnement, il renvoie à la protection de l'environnement immédiat ou lointain vis-à-vis des émissions chroniques du site industriel. Dans ce paragraphe, nous allons, d'abord, décrire les activités du management environnemental à savoir ; l'identification des impacts, l'élaboration des bonnes pratiques.... Dans un deuxième temps, nous allons, décrire le système de management de l'environnement et présenter les similitudes et les différences, qui existent entre ce système et un système qualité, spécialement la notion des nouveaux clients.

2.1.1 Activités du management environnemental

Le management environnemental fait partie intégrante du système global de management d'un organisme. C'est l'ensemble des activités de la fonction générale de management qui : Déterminent la politique, les objectifs et les responsabilités environnementaux. Elaborent un plan de protection de l'environnement. Et mettent en place un système de contrôle et des mesures de correction. En définissant et planifiant des actions de prévention, en y intégrant le respect de la réglementation, la technique, les relations sociales et les conditions de travail, l'entreprise s'engage peu à peu dans une démarche de management environnemental.

En effet, l'entreprise doit contrôler les flux, et pratiques et réduire les perturbations qu'ils génèrent. Par suite, il faut d'abord, identifier les facteurs d'impacts, ensuite il faut formaliser les Pratiques environnementales et mettre en place ces pratiques. Il faut aussi, élaborer un plan de protection de l'environnement. Pour identifier les facteurs d'impacts il faut considérer les flux entrants et sortant au sein d'un site industriel. En effet, pour assurer son objectif de production, une entreprise prélève des ressources sur l'environnement, et rejette des résidus, émissions ou déchets. Les prélèvements et rejets de l'entreprise sont soit directs (prélèvement dans un cours d'eau, rejet d'effluents aqueux au milieu, dépôt de déchets en décharge interne...), soit indirects (fourniture d'eau réseau par un prestataire, enlèvement des effluents par un traiteur de déchet, enlèvement des déchets...). Dans le premier cas, seule l'entreprise est impliquée. Dans le deuxième cas, un prestataire ou sous-traitant intervient en tant qu'intermédiaire entre l'entreprise et l'environnement.

Le fonctionnement de l'entreprise, par les prélèvements et rejets qu'il entraîne sur l'environnement, est associé à des facteurs d'impact. Au niveau d'une entreprise donnée, l'identification de ses facteurs d'impact peut s'appuyer sur une approche procédée, identifiant les flux entrants et sortants de l'entreprise. Dans cette approche, nous considérons le site industriel comme une boîte noire (entité de transformation de la matière). Les flux entrants (consommation de matières premières, énergie, eau, produits intermédiaires...) sont transformés et donnent lieu à des flux sortants, soit désirés (produits et co-produits), soit non désirés (rejets atmosphériques, rejets liquides, déchets, nuisances). L'identification des flux entrants et sortants de l'entreprise, associés à leurs caractéristiques (nature, modalités, origine /destination), permet de constituer une liste des catégories de facteurs d'impact envisageables.

L'approche considérant l'entreprise comme une boîte noire, intéressante d'un point de vue global, n'est pas valide pour le traitement pratique des flux dans l'entreprise. Une approche boîte blanche permet d'affecter les flux entrant et sortants par opérations ou ensemble d'opérations. Au niveau de cette approche il est nécessaire d'entrer plus précisément dans le fonctionnement de l'entreprise, en établissant une correspondance entre chaque facteur d'impact et les opérations et pratiques se déroulant dans l'entreprise. Un site abrite un ensemble d'opérations (transport, stockage, manutention, procédés de fabrication, procédés de traitement...), qui fonctionnent en traversant différentes phases (démarrage, régime continu, arrêt, maintenance, entretien, vidange...), chacune de ces phases étant à l'origine de flux entrants, et de flux sortants. Chaque opération est associée à des risques. Les opérations de stockage et de transport sont des opérations neutres, qui ne modifient pas la nature du flux, tandis que les procédés et traitements sont des opérations actives, qui modifient la nature du flux. Les flux de matière transitant dans l'outil de production peuvent être classés en fonction de leur emploi. On identifie trois secteurs principaux :

- Matière base du produit,
- Matière du procédé, utilisée pour le fonctionnement des procédés (catalyseurs, lubrifiants, flux de refroidissement, alimentation énergétique des procédés)
- Matière annexe, utilisée pour le fonctionnement général de l'entreprise (eau sanitaire, fournitures, alimentation énergétique).

À chaque opération correspondent des pratiques environnementales. Les pratiques peuvent être formalisées sous forme de procédures, décrivant par des consignes précises la manière de réaliser l'opération. Prenons l'exemple d'une opération vidange d'un véhicule : elle consiste à effectuer la vidange, à recharger en huile, et à évacuer le flux d'huile usagée. La pratique environnementale correspondra pour cette opération à observer la destination du flux d'huile usagée : si l'opérateur le récupère pour traitement ultérieur, la pratique est bonne, s'il la laisse au sol, ou la rejette dans le réseau d'eau vanne, la pratique est mauvaise.

Dans le cas d'une opération de production générant des déchets d'emballage et des déchets souillés, une bonne pratique environnementale consistera à trier les déchets et à les orienter vers une filière de traitement approprié et une mauvaise pratique à les mélanger ou à les brûler sur place.

Les mauvaises pratiques environnementales peuvent contribuer pour beaucoup aux facteurs d'impact d'une entreprise. La maîtrise de ces pratiques ou maîtrise opérationnelle (d'après la norme ISO 14001) ne peut être obtenue que par une information et une formation du personnel de l'entreprise aux bonnes et mauvaises pratiques environnementales. L'entreprise doit contrôler les flux, et donc les opérations et pratiques, afin de réduire les perturbations qu'ils engendrent sur

l'environnement. Ce contrôle fait intervenir la régulation du fonctionnement de l'entreprise par son système de décision.

2.1.2 Système de management de l'environnement

Dans tout organisme, on trouve des dommages environnementaux dont la maîtrise peut être améliorée par la mise en œuvre d'un Système de Management. Dans ce paragraphe, nous allons définir ce qu'est un système de management de l'environnement. En effet, un conducteur, avant d'entreprendre un long trajet, doit vérifier la qualité des échappements de son moteur. Ainsi, il prend les dispositions nécessaires pour préserver l'environnement. Il peut formaliser toutes ces dispositions dans une procédure environnement. De la même manière, un chef d'entreprise, en particulier et les parties intéressées (actionnaires, collectivités locales, personnels) en général, doivent s'assurer que l'entreprise a pris toutes les dispositions nécessaires pour satisfaire les exigences de l'environnement. L'ensemble de ces dispositions sont décrites dans des procédures. Ils constituent le SME de l'entreprise. C'est l'ensemble des dispositions à mettre en place pour satisfaire les exigences de l'environnement. Nous pouvons citer à titre d'exemple :

- Identification des risques
- Analyse des situations critiques
- Utilisation des moyens de protection
- Contrôle des émissions et des rejets
- Traitement des eaux usées.
- Formation du personnel...etc.

Il existe des similitudes entre les systèmes qualité et les systèmes de management de l'environnement. Cependant des nuances caractérisent chacun des systèmes, le management et l'assurance de la qualité visent à satisfaire et donner confiance à un utilisateur individuel dans un cadre contractuel, alors que le management de l'environnement vise à satisfaire collectivement des parties intéressées dans un cadre non contractuel. Hormis les exigences réglementaires, les besoins des parties intéressées sont rarement explicites ; on ne peut donc jamais les considérer comme atteintes. La notion de clients du produit (ISO 9000) est remplacée par le concept élargi de parties intéressées ou « nouveaux clients » [12].

Un système de management de l'environnement est basé sur l'amélioration continue et l'approche processus. Le référentiel ISO 14001 se présente sous forme de quatre principaux processus, matérialisant les quatre étapes de la roue de Deming (Planification, Réalisation, Vérification, et Revue). L'entreprise doit donc, identifier et mettre en œuvre ces quatre processus.

1 Planification : La direction de l'entreprise doit, tout d'abord, définir la politique environnementale. Elle doit, ensuite, établir, identifier les aspects environnementaux de ses activités, et déterminer ceux qui peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement. Elle doit, d'autre part, établir des objectifs environnementaux et élaborer un plan de protection de l'environnement. La globalisation et la distribution mondiale des produits, entraîne aujourd'hui une internationalisation des sites de production. Un SME quel qu'il soit ne peut ignorer les réglementations locales auxquelles l'industriel doit se soumettre. Si une réglementation existe dans le pays concerné est plus contraignantes que le système développé, c'est la réglementation locale qui s'applique. Si cette réglementation est moins contraignante que le système de management défini par l'entreprise, c'est ce dernier qui s'applique. D'autre part, toute personne exécutant une tâche ayant un impact

environnemental doit être habilitée. Cette habilitation doit être définie (formation initiale, continue, expérience...).

2 Mise en œuvre et fonctionnement : Pour la maîtrise du processus d'un point de vue environnement, l'entreprise doit concevoir un produit écologique, prévoir des procédés propres et établir des plans et des procédures d'urgence pour garantir sa capacité à réagir lors d'incidents ayant un impact environnemental. Elle doit aussi, documenter son système de management environnement et rédiger les procédures et consignes de préservation de l'environnement.

3 Contrôle et vérification : Les principales caractéristiques des opérations qui peuvent avoir un impact environnemental significatif doivent être surveillés et contrôlés régulièrement. Les équipements de surveillance et de mesure doivent être étalonnés ou vérifiés et entretenus.

4 Revue de direction : À des intervalles planifiés, la direction doit passer en revue le système de management environnemental de l'organisme, afin de s'assurer qu'il est toujours approprié, suffisant et efficace.

La conception du système de management environnemental résulte d'un processus dynamique et interactif. La structure, les responsabilités, les pratiques, les procédures, les procédés et les ressources nécessaires à sa mise en œuvre peuvent être coordonnés avec les efforts déjà existants dans d'autres domaines (exploitation, qualité, sécurité...). Pour mettre en œuvre un système de management environnement, il faut aborder les aspects de définition de politique, attribution de responsabilités, déploiement d'objectifs, déclenchement d'actions correctives et préventives, conduite d'audits internes ou le pilotage par des revues de direction. Si un organisme a identifié un besoin d'organisation dans plusieurs domaines comprenant à la fois la Qualité, la Sécurité et l'environnement, il lui est possible de construire plusieurs systèmes de management séparés ou un système intégré [13]. Concrètement, un système intégré ne veut pas dire système unique avec un seul manuel, un seul jeu de procédures et d'instructions, cela veut dire que les sous-ensembles qualité, sécurité ou environnement, peuvent avoir des parties communes (ex: revues, audit) et des parties distinctes, spécifiques (ex: politique, analyse des risques) et peuvent comporter des éléments identiques, mais que l'on retrouve dans l'un ou l'autre des sous-ensembles (ex: gestion documentaire). Mais intégré ne veut pas dire centralisé. Bien au contraire, au départ si on a bien défini le modèle de l'intégration des systèmes, cela permet de décentraliser le système sur plusieurs sites.

2.2 Approches en Protection de l'environnement

Les efforts des entreprises en matière environnementale ont d'abord porté sur les problèmes liés aux sites de production (approche site) : elle concerne la pollution de l'eau, de l'air et des déchets ; avec la mise en place de procédés et de technologies plus propres limitant les rejets des sites, ainsi que leurs consommations d'énergie et de matières, etc. Cela a donné lieu à l'adoption de systèmes de management environnemental dont le plus connu et répandu est celui décrit par la norme NF EN ISO 14001. Mais les efforts des entreprises en matière environnementale peuvent également dépasser les seuls murs des sites de fabrication et prendre en compte l'ensemble du cycle de vie des produits. C'est l'approche produit avec des démarches telles que l'écoconception ou l'éco labellisation. Ces deux approches (site et produit) sont complémentaires. L'approche produit se concentre sur des objectifs de performances environnementales quantifiées spécifiquement rapportés au produit et faisant l'objet de référentiels, souvent établis en commun au niveau du secteur et associant parfois, comme dans le cas des écolabels, différentes parties tierces (consommateurs, pouvoirs publics, experts).

Dans ce paragraphe nous allons, tout d'abord, définir les différentes approches d'évaluation environnementale, ensuite, nous allons présenter l'étude d'impact environnementale EIE qui est une méthode d'évaluation environnementale selon une approche site, ainsi que l'économie circulaire qui concerne l'approche produit et propose une gestion en boucle fermée du cycle de vie du produit. Les méthodes d'évaluation selon une approche produit est le sujet principal de notre cours, il sera présenté dans le quatrième chapitre.

2.2.1 Approches d'évaluation environnementale

Plusieurs méthodes d'évaluation environnementale sont disponibles. En effet, les termes diagnostic, audit et évaluation sont employés de façon assez aléatoire lors de l'évaluation environnementale. Dans la pratique de l'environnement industriel actuel, les sens donnés à ces termes sont assez différents : le diagnostic est une méthode permettant de dresser un état des lieux, qualitatif, et d'établir un premier contact entre l'entreprise et l'environnement, l'audit est en fait un audit de conformité, c'est à dire une évaluation de la conformité d'une entreprise relativement à des règles. Si l'on se place dans le contexte de l'environnement industriel, le diagnostic correspondrait alors à la recherche de l'origine ou des causes d'un problème ponctuel, l'audit à la stricte comparaison à une référence, l'évaluation conservant une définition ouverte, plus globale.

Les référentiels normalisés sur lesquels on se base pour faire des audits environnement, que ce soit pour une approche site ou pour une approche produit, sont les référentiels de la série des normes ISO 14000 [14]. Dans cette série les normes qui définissent les exigences qualité selon une approche site sont les normes ISO 14001, ISO 14004, ISO 14010, ISO 14011 et ISO 14012 :

- Norme ISO 14001 constitue le référentiel de base pour des audits internes ou externes (certification par tierce partie), elle est complétée par des normes de conseils et de recommandation et des normes relatives aux audits environnementaux.
- Norme ISO 14004 : Systèmes de management environnemental – Lignes directrices générales concernant les principes, les systèmes et les techniques mises en œuvre.
- Norme ISO 14010 : Lignes directrices pour l'audit environnemental - Principes généraux ;
- Norme ISO 14011 : Lignes directrices pour l'audit environnemental - Procédures d'audit ;
- Norme ISO 14012 : Lignes directrices pour l'audit environnemental – Critères de qualification pour les auditeurs environnementaux.

Le règlement EMAS (Eco Management and Audit Scheme), ou SMEA en français (Système de Management Environnemental et d'Audit) est un règlement européen créé en 1993 par l'Union européenne pour cadrer des démarches d'éco management utilisant un système de management de l'environnement (SME). Il a été adopté en 2001 et révisé en 2002 et 2004, il permet à toute entreprise ou organisation le désirant, d'évaluer, améliorer et rendre compte de ses performances environnementales dans un système de management environnemental standardisé. Toute entreprise déjà certifiée ISO 14001 obtient un certificat EMAS si elle publie une déclaration environnementale conforme aux critères de l'EMAS.

Dans la famille ISO 14000, les normes qui définissent les exigences qualité selon une approche Produits sont les ISO 14062, 14040, 41, 42, 43 et la 14024, 25 [14]. La Norme ISO 14062, intitulé « Management environnemental – Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits », est destinée aux concepteurs et développeurs de produits. Elle expose les concepts et propose des principes de base pour prendre en compte l'environnement dans les activités de conception et de développement de produit, en montrant les principaux enjeux

stratégiques pour l'entreprise. La série de normes ISO 14040, 41, 42, 43 sert à encadrer la pratique de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV). L'ACV est une technique qui permet d'évaluer et de comparer l'impact environnemental de différents produits ou services, tout au long de leur vie. L'objectif de l'ACV est, bien sûr, de minimiser l'impact des produits et services sur l'environnement. L'ISO 14024 est la norme des écolabels. Les écolabels sont des signes de reconnaissance officiels destinés à promouvoir les produits respectueux de l'environnement. Ils font généralement l'objet d'un contrôle par une tierce partie. Chaque pays a ses propres procédures : degré d'implication des pouvoirs publics, représentation associative, périodicité de révision des critères... Toutefois, la normalisation internationale devrait permettre d'harmoniser peu à peu les différentes approches.

2.2.2 Etudes d'Impact sur l'Environnement

Les Etudes d'Impact sur l'Environnement (EIE) permettent d'évaluer à priori, les répercussions des projets d'investissement sur l'environnement en vue de prévoir les mesures nécessaires pour supprimer, atténuer ou compenser les impacts négatifs et améliorer les effets positifs du projet. Comme il a été dit précédemment, le système des EIE a été mis en œuvre au Maroc d'une manière progressive à travers plusieurs étapes. Entre 1994 et 2003, des EIE ont été réalisées d'une manière volontaire par les promoteurs de projets. Ensuite, entre 2003 et 2008, par l'adoption de la Loi n° 12-03 relative aux EIE, il est devenu la référence législative d'application du principe de l'étude d'impact. Avec la promulgation en 2008, des Décrets d'application de la Loi n° 12-03 relative aux EIE, le système des EIE est entré dans une nouvelle étape charnière marquée par la prise en considération de l'avis de la population concernée dans l'évaluation environnementale des projets. Contrairement aux méthodes d'évaluation de la qualité et de sécurité en entreprise, qui analysent le site de production. L'EIE évalue en premier lieu l'environnement du site de production. Elle commence par l'extérieur avant de rentrer à l'intérieur de l'usine. Elle comprend au minimum :

1. Une analyse de l'état initial du site et de son environnement,
2. L'étude des modifications engendrées par l'entreprise sur l'environnement,
3. L'étude de ses effets sur la santé
4. Les mesures envisagées pour supprimer, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables pour l'environnement et la santé.

En effet, le dossier de l'étude d'impact doit donc comporter ; une analyse de l'état initial du site et de son environnement portant notamment sur :

- Les richesses naturelles,
- Les espaces (naturels, agricoles, forestiers, maritimes ou de loisirs), affectés par les aménagements ou ouvrages.

Un deuxième volet doit comporter une analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents sur l'environnement et plus particulièrement sur :

- La faune et la flore, les sites et les paysages,
- Le sol, l'eau, l'air,
- Le climat,
- Les milieux naturels et les équilibres biologiques,
- La protection des biens et du patrimoine culturel,
- La commodité de voisinage (effets liés aux bruits, vibrations, odeurs, émissions lumineuses et autres émissions polluantes),
- L'hygiène, la santé, la sécurité et la salubrité publique ;

Enfin, un troisième volet doit comporter :

- Les mesures envisagées par le maître d'ouvrage pour supprimer, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables du projet pour l'environnement et la santé, ainsi que l'estimation des dépenses correspondantes
- Une analyse des méthodes utilisées pour évaluer les effets sur l'environnement mentionnant les difficultés éventuelles de nature technique ou scientifique rencontrées pour établir cette évaluation ;
- Un résumé non technique afin de faciliter au public l'accès aux informations contenues dans l'étude d'impact.

2.2.3 L'économie circulaire

Penser cycle de vie est un concept de base de l'Ecoconception. Ce concept contribue à élargir la préoccupation en management industriel pour y inclure une gestion en boucle fermée reliant le cycle de vie du produit au boucles fermées des processus naturels des écosystèmes. En effet, dans les cycles naturels il n'y a pas de décharges, les déchets d'une espèce constituent la nourriture d'une autre, l'énergie provient du soleil, les organismes se développent, meurent, se dégradent, la nourriture retourne à la terre et la boucle est fermée. Les industriels, au contraire, ont adopté une approche linéaire, le cycle de vie de leur produit (voitures, téléphones portables, machines à laver ...) commence par l'extraction et le traitement des matières premières à partir des ressources naturelles, suivis de la production, de la distribution et de l'utilisation du produit et à la fin de sa vie utile le produit est jeté dans une décharge.

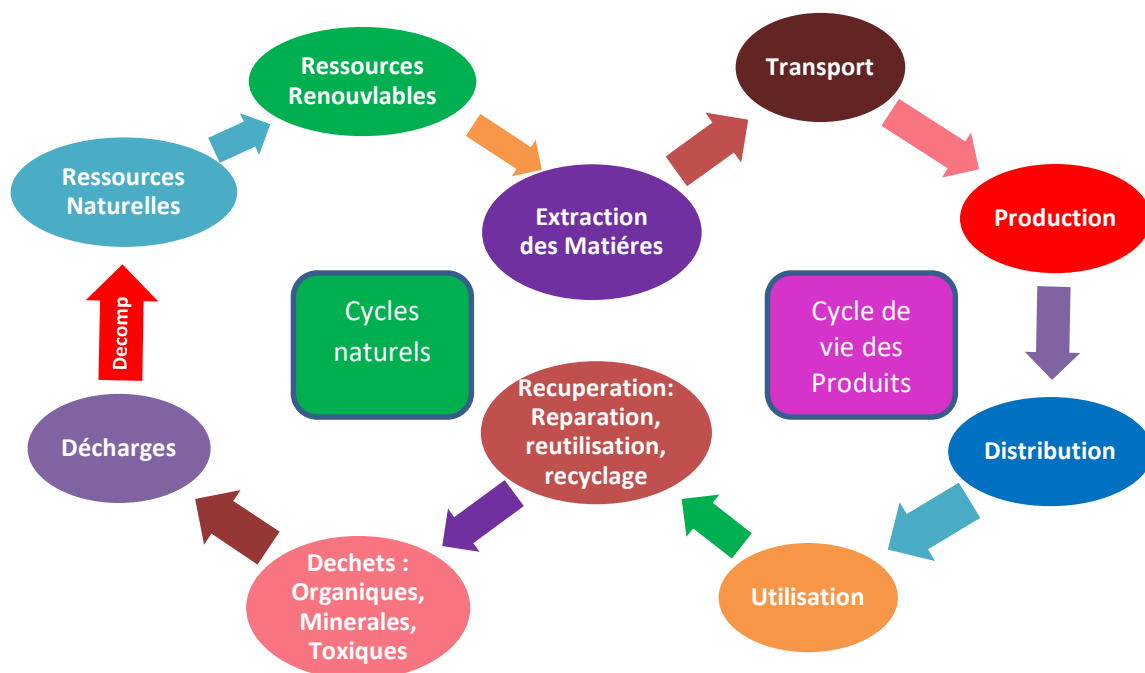


Figure 2-1 : Relation entre le cycle de vie du produit et les cycles naturels

Les durées de vies des produits deviennent de plus en plus courtes et dans la majorité des cas les ressources sont limitées et les déchets toxiques. Le modèle de vie linéaire ne pourrait fonctionner à long terme. C'est une économie qui n'est pas viable et donc non durable. L'économie circulaire propose une gestion en boucle fermée du cycle de vie du produit, en utilisant des matières biodégradables. Le bouclage final n'est pas la seule solution, il y a des bouclages intermédiaires qui permettent de valoriser au mieux la matière comme l'objectif des 3R : Réparation, Réutilisation,

Recyclage. Dans une économie circulaire les deux cycles de vie se croisent, comme le montre la Figure 2-1, avec l'utilisation de matériaux naturels dans les produits industriels et avec la réintégration des matières organiques dans le cycle naturel.

Le problème est que, les cycles de vie de la plupart des produits se déroulent sur quelques mois, voire quelques années, alors que, les cycles naturels s'étendent sur de plus larges périodes. La plupart des matières organiques (d'origine végétale et animale) peuvent se décomposer relativement rapidement et devenir des nutriments pour le développement de matières similaires. Cependant, les minéraux sont régénérés sur une échelle de temps beaucoup plus longue et sont donc considérés comme des ressources non renouvelables. Par conséquent, le rejet des matériaux industriels à base de minéraux, dans des décharges, ne permet pas de régénérer facilement des matériaux similaires. Il faudra parfois des milliers d'années pour assurer cette régénération. D'autre part, ces matières génèrent souvent des concentrations élevées de certains déchets nocifs. Dans une perspective d'économie circulaire et pour atteindre un développement durable, les matériaux des produits doivent être régulés dans un système durable en boucle fermée. Cela donne lieu à trois défis à relever lors de la conception de produits pour atteindre la durabilité.

1. Éliminer l'utilisation de ressources non renouvelables (y compris l'énergie non renouvelable).
2. Éliminer l'utilisation des matériaux synthétiques et inorganiques qui ne se décomposent pas rapidement.
3. Éliminer la création de déchets toxiques qui ne font pas partie des cycles de vie naturels.

Les entreprises engagées dans une démarche écoconception veulent atteindre ces conditions de durabilité au fil du temps. L'écoconception aide ces entreprises à créer de meilleurs produits en choisissant soigneusement les matériaux et en permettant des options de récupération appropriées afin que les matériaux utilisés dans les produits puissent être réintégrés soit dans le cycle de vie du produit, soit dans le cycle naturel des écosystèmes. La mise en œuvre effective de ce bouclage nécessite un moteur, pour les boucles naturelles ce moteur est écologique, mu par l'énergie solaire, il assure les services d'auto-entretiens des écosystèmes. Pour les boucles industrielles le moteur devra être plutôt économique fondé sur la valeur. Il s'agit de remplacer l'économie linéaire, adopté par les industriels et toléré par les pouvoirs publics, par une économie circulaire. Pour cela le politique doit avoir plus de pouvoir que l'économique.

3 Développement des nouveaux produits

Les nouveaux produits sont à la base de la rentabilité de toute entreprise. L'entreprise peut se servir du cycle de vie du produit afin de gérer son portefeuille de produits. Le développement des nouveaux produits est la première étape de ce cycle, c'est une étape clé qui conditionne la réussite des autres étapes. Pour prendre en considération, lors de la conception d'un nouveau produit, le facteur environnement et faire de l'écoconception, il faudra l'intégrer tout au long du processus de conception de ce produit et travailler tôt dans le processus de conception, pour avoir des marges importantes d'amélioration. Dans ce chapitre, nous allons, donc, présenter, dans un premier temps, le cycle de vie du produit d'un point de vue marketing, ensuite nous allons aborder le processus de développement des nouveaux produits et finalement nous allons voir comment intégrer les différents critères qualité au processus de développement et spécialement le critère respect de l'environnement.

3.1 Cycle de vie des produits

Le cycle de vie des produits est une notion fondamentale qu'il faut considérer pour gérer une entreprise. En effet, une entreprise peut prévoir le lancement de nouveaux produits pour remplacer les produits en phase de déclin, elle doit aussi, mener des actions commerciales adaptées à la phase de vie de chaque produit. D'autre part le concept de cycle de vie est incontournable pour prendre les décisions les plus avisées en matière d'investissement et d'établissement de budget... D'un point de vue marketing, il existe cinq étapes clés dans le cycle de vie de tout produit [15] voir Figure 3-1:

Développement : Lors de cette étape, le produit n'est qu'une idée et l'industriel doit investir dans la recherche et le développement pour faire aboutir cette idée, sans attendre de retour sur investissement dans l'immédiat. Il doit par suite constituer une équipe de développement pour gérer ce projet.

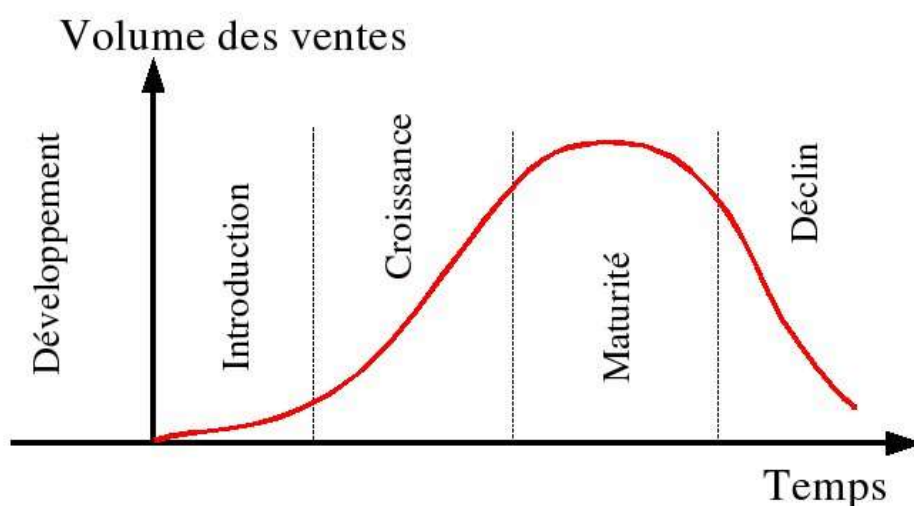


Figure 3-1 : Le cycle de vie du produit d'après [15]

Introduction ou lancement : Durant cette étape il faut lancer le produit. L'entreprise cherche à promouvoir son produit afin de sensibiliser sa clientèle cible. Les coûts liés à cette phase dépassent souvent les gains réalisés. L'entreprise doit réaliser des dépenses promotionnelles pour informer les clients et les inciter à l'acte d'achat.

Croissance : Lors de cette étape le produit commence à générer du profit et devient de plus en plus rentable. D'autre part, ce dernier et son processus de production sont sujets à des améliorations et d'optimisation permettant d'améliorer leurs performances et de réduire les coûts.

Maturité : Cette étape dure plus longtemps que les autres, la croissance des ventes ralentit ou s'arrête. A cette période, il faut anticiper et investir dans un nouveau produit.

Déclin : Durant cette étape, le marché ralentit et d'autres produits nouveaux plus performants sont proposés par les concurrents. Les ventes chutent et les marges bénéficiaires diminuent.

Il est important d'identifier le stade où se trouvent les produits dans leur cycle de vie. Le développement de nouveaux produits est un processus comportant des risques inhérents. Il faut donc, planifier tout investissement avec précaution et contrôler les coûts. En effet, il faut prendre en considération l'investissement relatif au développement des nouveaux produits dans le cadre du business plan de l'entreprise. L'évaluation de cet investissement doit se baser sur le bénéfice que l'entreprise pourra obtenir lorsque le produit sera mis sur le marché. Il faut donc planifier l'affectation de cet investissement et justifier les dépenses relatives à chaque projet.

3.2 Développement d'un nouveau produit

Le processus de conception comporte de nombreuses étapes et implique de nombreux acteurs. Ces acteurs font appel à des outils parfois compliqués, sophistiqués pour évaluer la pertinence de leurs idées. En effet, lorsqu'on parle du produit on aborde son processus de réalisation, son environnement, son emballage, la problématique de maintenance. On peut également aborder tous les produits et services associés liés à l'utilisation et à l'exploitation de ce produit. Il y a un certain nombre d'étapes qui vont de l'identification du besoin au choix des solutions retenues, à leur mise en œuvre en passant par des étapes d'analyse, de recherche de solutions et d'évaluation de ces solutions.

Dans ce paragraphe nous allons dans un premier temps, définir en quoi consiste le processus de développement des Nouveaux Produits et ensuite, nous allons décrire le processus générique de développement de produits et détailler ses différentes étapes.

3.2.1 Processus de développement des Nouveaux Produits

Un processus de développement de produit est la séquence d'étapes qu'une entreprise utilise pour concevoir et commercialiser un produit. Nous sommes familiers avec les processus physiques, par exemple la préparation d'un gâteau ou l'assemblage d'une voiture, cependant, les activités du processus de développement des produits sont plutôt intellectuelles et organisationnelles. Certaines entreprises suivent un processus de développement détaillé, tandis que d'autres peuvent ne pas être en mesure de décrire leur processus de développement des produits. La formalisation du processus de conception des produits a beaucoup d'avantages pour une entreprise, elle permet ; de définir des points de vérification pour l'assurance qualité, de connaître l'avancement du projet et de mesurer les performances des équipes ce qui permet, par la suite de connaître les points à améliorer au niveau de chaque projet.

La sortie du processus de développement de produit est le lancement du produit, moment auquel le produit devient disponible sur le marché. On peut considérer le processus de développement comme la création initiale d'un large ensemble de concepts de produits alternatifs, puis le

rétrécissement ultérieur des alternatives et la spécification de plus en plus précise du produit jusqu'à ce que le produit puisse être fabriqué de manière fiable et répétable par le système de production.

Un processus de développement peut être considéré, aussi comme un système de traitement de l'information. D'ailleurs, de nos jours, les entreprises utilisent des logiciels PLM pour gérer les données techniques relatifs à un produit. Le processus commence par des intrants tels que les objectifs de l'entreprise, les opportunités stratégiques, les technologies disponibles, le portefeuille des produits et le système de production. Diverses activités traitent les informations de développement, formulant des spécifications, des concepts et des détails de conception. Le processus se termine lorsque toutes les informations nécessaires pour assurer la production et les ventes ont été créées et communiquées.

Une troisième façon de voir le processus de développement est de le considérer comme un système de gestion des risques. En effet, au début le produit n'est qu'une idée, il faut donc, écarter les idées qui ne valent pas la peine d'aller plus loin et identifier les idées intéressantes. Beaucoup de projets n'aboutissent pas à cause d'un problème technique ou économique. Par suite, au début du projet, il faut identifier les risques et au fur et à mesure de l'avancement du projet, à mesure que les que les fonctions du produit sont validées, il faudra réduire ces risques. Une fois le processus terminé, l'équipe doit être convaincue que le produit fonctionnera correctement et sera bien accueilli par le marché.

Le développement de produits est une activité multidisciplinaire nécessitant la contribution de toutes les fonctions d'une entreprise ; cependant, trois fonctions sont toujours au cœur d'un projet de développement de produit :

- **Marketing** : la fonction marketing est l'interlocuteur avec le client au sein d'une entreprise. Le marketing facilite souvent l'identification des opportunités, la définition des segments de marché et l'identification des besoins des clients. Il organise également la communication entre l'entreprise et ses clients, fixe des prix et supervise le lancement et la promotion du produit.
- **Conception** : la fonction conception joue le rôle principal dans la définition de la forme du produit pour répondre au mieux aux besoins des clients. Dans ce contexte, la fonction conception comprend la conception technique (mécanique, électrique, logiciel, etc.) et la conception industrielle (esthétique, ergonomie, interfaces utilisateurs).
- **Fabrication** : La fonction de fabrication est principalement responsable de la conception et de l'exploitation du système de production. Au sens large, la fonction de fabrication comprend souvent l'achat, l'expédition et l'après-vente. Cet ensemble d'activités est appelé la chaîne d'approvisionnement. Le personnel de ces fonctions a souvent une formation spécifique dans des domaines tels que le génie mécanique, le génie électrique, la science des matériaux ou la gestion des opérations.

La conception des nouveaux produits se fait en équipe, la composition d'une équipe de développement dépend des caractéristiques du produit. Cette équipe est supervisée par un chef d'équipe. Elle est composée, en générale, d'une équipe centrale et d'une équipe élargie. Afin de travailler efficacement, l'équipe de base doit être suffisamment petite pour se réunir dans une salle de conférence, tandis que l'équipe élargie peut se composer de dizaines, de centaines ou même de milliers d'autres membres. Dans la plupart des cas, cette équipe est complétée par des individus d'entreprises partenaires, de fournisseurs et de cabinets de conseil.

La composition d'une équipe de développement d'un produit mécatronique, par exemple, est formé d'un chef d'équipe, d'un expert mécanicien, d'un expert électronicien, d'un agent méthode,

d'un acheteur, d'un spécialiste design, d'un expert marketing, pour l'équipe restreinte. L'agent méthode supervise à son tour une équipe méthode de production, l'expert électronicien supervise l'équipe de développement électronique et ainsi de suite. On peut avoir, en plus une équipe finance et réglementation, que peut consulter le chef d'équipe chaque fois que le produit comporte des aspects réglementaires.

La plupart des personnes sont surprises par le temps et le coût nécessaires pour développer un nouveau produit. En effet, très peu de produits peuvent être développés en moins d'un an, beaucoup nécessitent 3 à 5 ans, et certains durent jusqu'à 10 ans. En ce qui concerne, le coût du développement du produit, il est proportionnel à l'effectif de l'équipe de projet et à la durée du projet, cependant, ce qui est le plus important à réduire, ce ne sont pas les coûts dépensés lors du développement, mais les coûts engagés. En effet, le coût de revient doit être considéré très tôt dans le cycle de vie du produit, c'est le concept de Conception à Coût Objectif (CCO) Design to cost. En réalisant une étude des coûts de production on peut remarquer que 70% des coûts de réalisation sont définis par le choix du bureau d'étude. Une erreur de fabrication ne peut affecter qu'une seule pièce ou un lot, au pire des cas, alors qu'une erreur de conception va nécessairement affecter la totalité des produits fabriqués. Si cette erreur est détectée assez tôt elle peut être facilement corrigée, sinon il faut modifier l'outillage, reprendre les pièces déjà fabriquées, réaménager les bâtiments.... etc. Le but de la CCO est d'étudier les coûts de revient et les diminuer dès la conception, ainsi que les coûts d'exploitation : Modification de la matière première - Modification de la morphologie - Réduction du nombre de pièces - Simplifier le processus - Diminuer la consommation.

3.2.2 Processus générique de développement de produits

Le processus générique de développement de produits comprend six phases [16], comme l'illustre la Figure 3-2.

0. Planification : L'activité de planification est souvent appelée « phase zéro » car elle précède l'approbation du projet et le lancement du processus de développement. Cette phase commence par l'identification des opportunités guidée par la stratégie d'entreprise et comprend l'évaluation des développements technologiques et des objectifs du marché. L'identification des opportunités, est un processus de collecte, d'évaluation et de choix parmi une large gamme d'opportunités de produits. En effet, à cette étape on effectue une étude de faisabilité, dans laquelle, l'idée de produit est testée en prenant en considération la faisabilité technique et le potentiel du marché. Une étude de marché, permet d'assurer que les produits qu'on veut concevoir correspondent aux besoins du marché. Le résultat de la phase de planification est l'énoncé de mission du projet, qui spécifie le marché cible, les objectifs commerciaux, les hypothèses clés et les contraintes. L'énoncé de la mission du projet est le kick off ou le coup d'envoi du projet. C'est l'entrée de la phase de développement du concept, elle sert de guide à l'équipe de développement.

1. Développement du concept : Dans la phase de développement du concept, les besoins du marché cible sont identifiés, des concepts de produits alternatifs sont générés et évalués, et un ou plusieurs concepts sont sélectionnés pour un développement et des tests ultérieurs. Un concept est une description de la forme, de la fonction et des caractéristiques d'un produit et est généralement accompagné d'un ensemble de spécifications, d'une analyse des produits concurrents et d'une justification économique du projet.

3. Conception détaillée et développement : La phase de conception détaillée comprend la spécification complète de la forme, des matériaux et des tolérances de toutes les pièces à fabriquer en interne et l'identification de toutes les pièces à acheter. Une gamme de production est établie et un outillage est conçu pour chaque pièce à fabriquer. Le résultat de cette phase est la documentation du produit (dessins ou fichiers informatiques décrivant la géométrie de chaque pièce et son outillage de production, les spécifications des pièces achetées et les gammes de fabrication et d'assemblage des produits. Le choix des matériaux, l'optimisation du coût de production et la robustesse des performances du produit sont les trois problèmes les plus critiques qui doivent être traité tout au long du processus de développement, mais qui sont finalisés lors de la phase de conception détaillée.

Les prototypes ultérieurs (bêta) sont généralement construits avec des pièces fournies par les processus de production prévus, mais ne peuvent pas être assemblés en utilisant le processus d'assemblage final prévu. Les prototypes bêta sont largement évalués en interne et sont généralement testés par les clients dans leur propre environnement d'utilisation. L'objectif des prototypes bêta est

généralement de répondre aux questions sur les performances et la fiabilité afin d'identifier les modifications techniques nécessaires pour le produit final.

Les étapes de Développement et de test se font de manière itérative et incrémentale ; on explore les différentes solutions pour respecter le cahier des charges, ensuite des essais sur prototype ou des simulations sur ordinateur sont réalisées pour valider la conception. En effet, il faut fabriquer des prototypes, les tester et en se basant sur les résultats des tests effectuer des changements. Le processus de révision, de reconstructions de prototype et de tests continue de manière itérative. L'affinage du produit peut prendre beaucoup de temps et l'entreprise peut vouloir aller rapidement au niveau de cette phase pour lancer le produit sur le marché. Cependant, en se dépêchant on risque de ne pas traiter, de manière adéquate, tous les défaillances et les bugs rencontrées lors du développement, ce qui peut coûter très cher en phase de lancement.

On peut citer l'exemple de la conception d'un scanner à ultrasons, pour une utilisation en médecine (obstétrique – cardiologie) par l'entreprise Japonaise Toshiba [17]. Pour cela l'entreprise a constitué un petit groupe d'ingénieurs qui s'est penché sur la technologie à ultrasons pour concevoir un premier prototype de scanner électronique, en 1974. Ce prototype était à balayage manuel, sa résolution était mauvaise et l'image était statique. Ensuite Toshiba a entrepris de nouvelles recherches pour améliorer ce prototype, que ça soit au niveau des transducteurs qui constituent le cœur du scanner ou au niveau de la technologie ROM utilisée. En 1979 Toshiba a finalisé son produit et elle est devenue leader dans le domaine de l'imagerie ultra-sonique.

De plus, lorsque le produit est complexe, il faudra lancer, après la conception préliminaire, un projet de développement pour chaque sous-ensemble du produit. Ensuite chaque sous-ensemble est testé à part, avant de tester le produit en entier.

5. Montée en cadence : Dans la phase de montée en cadence, le produit est fabriqué, en utilisant le système de production prévu. Le but est de former la main-d'œuvre et de résoudre les problèmes éventuels du processus de production. Les produits fabriqués pendant cette phase, présérie, ne sont pas, parfois, livrés aux clients et ils sont soigneusement contrôlés pour identifier les défauts éventuels. La transition de la montée en cadence vers la production de série est généralement progressive. À un moment donné, le produit est lancé et devient disponible pour une large distribution. Un examen du projet peut avoir lieu après le lancement, il permettra une évaluation du point de vue commercial et technique et une identification des moyens d'amélioration du processus de développement pour les futurs projets.

3.3 Intégration des critères qualité au processus de développement

Les besoins des clients et les spécifications du produit sont utiles pour guider la phase de conception et du développement du produit ; cependant, au cours de ces activités, les équipes ont souvent du mal à relier ces besoins et ces spécifications aux problèmes spécifiques de conception auxquels elles sont confrontées. Pour cette raison, de nombreuses méthodes sont proposées et des sous équipes sont associées à la conception et sont chargées de suivre un critère qualité spécifique tels que la fiabilité, la robustesse, l'aptitude à l'emploi, les coûts de réalisation ou l'impact environnemental. Parmi ces méthodes, on trouve le Design For Manufacturing, le Lean Développement, l'Ingénierie Simultanée, le QFD Quality function deployment, le robust design ... La raison d'être de ces équipes et de ces méthodes sont :

- Les décisions de conception peuvent avoir un impact considérable sur la qualité et le coût du produit.
- Les équipes de développement font face à des objectifs multiples et souvent contradictoires.
- Il est important d'avoir des métriques qui permet de comparer des conceptions alternatives.
- Des améliorations importantes nécessitent une implication et une créativité au début du processus de conception.
- Une méthode bien définie facilite le processus de prise de décision.

Par exemple le Design For Manufacturing part du principe qu'il faudra considérer la facilité de réalisations du produit dès la conception et il a pour objectif de proposer des solutions techniques qui vont permettre de réduire le cout de revient du produit. L'ingénierie simultanée, propose d'intégrer la conception, l'industrialisation, la production et la commercialisation. Elle part du principe que ; si on adopte une ingénierie séquentielle et on demande au bureau d'étude de concevoir le produit, de le renvoyer vers le bureau de méthode pour l'industrialiser, de le renvoyer vers la production pour le réaliser et de le renvoyer vers le service commercial pour le vendre, ça ne va pas marcher et il y aura beaucoup de problèmes à cause d'un manque de coordination. Une meilleure façon qui pourra encourager la coordination entre les métiers serais de constituer des équipes pluridisciplinaires pour assurer une conception et une production intégrée. Le Lean Développement, par exemple, permet à l'entreprise de développer en un temps record de nouveaux produits. En effet, la compétitivité d'une entreprise dépend en grande partie de la performance de son ingénierie et de la capacité de cette ingénierie à proposer rapidement des produits de qualité. Le Lean Développement commence par s'attaquer aux gaspillages au niveau du processus d'ingénierie [18], il se base sur plusieurs outils ; Obeya Room, Hansei réflexion, Set-based concurrent engineering ...

L'Ecoconception est parmi les méthode utilisées au sein du processus de développement, elle concerne l'impact environnemental. La recherche de solutions est la partie centrale de la conception du produit. Une question qui se pose avec acuité, quand on veut faire de l'écoconception, c'est ; comment intégrer le facteur environnemental au niveau de l'étape de recherche de solutions du processus de conception d'un nouveau produit ? En effet, la gestion de l'innovation est parmi les processus moteurs, au niveau de cette étape et la gestion des idées est un processus qu'on ne peut formaliser. L'innovation est définie comme l'aptitude des hommes à générer et développer de nouvelles idées pour créer de la valeur. Un certain nombre d'outils et de méthodes de créativité sont à la disposition du concepteur ; analyse fonctionnelle, analyse de la valeur, méthode TRIZ [19], ...etc. Par suite, l'étape de recherche de solutions comporte des activités purement techniques avec trois niveaux d'innovation :

- Le premier niveau, c'est celui où on connaît déjà les solutions dans l'entreprise. On réalise en fait un assemblage de solutions déjà existantes, avec l'intérêt de la simplification au niveau industriel.
- Le deuxième niveau c'est lorsque les solutions existent, mais elles ne sont pas connues dans l'entreprise. Dans ce cas, il va falloir identifier ces solutions et les fournisseurs qui peuvent aider l'entreprise à développer ces solutions.
- Le troisième niveau c'est lorsque les solutions n'existent pas et qu'il faut les inventer.

Donc ces trois cas de figures, la question à laquelle il faudra répondre est : comment intégrer la démarche d'écoconception à chaque niveau d'innovation ? Dans le premier cas ou l'entreprise doit concevoir un produit composé de briques déjà connue, si ces briques n'ont pas été développées dans une logique environnementale, l'empilage de ces briques ne donnera pas forcément un produit éco-conçu. Cependant, dans le cas où on a besoin de trouver des idées innovantes pour satisfaire le besoin

et de faire appel à une Recherche et développement interne ou externe, la difficulté d'intégrer la réflexion environnementale, provient du fait qu'on doit déjà faire appel à des outils d'innovation pour assurer la fonction principale du produit. En effet, on a tendance à sous-estimer la nécessité d'intégrer des dimensions supplémentaires à la réflexion, notamment la dimension environnementale.

4 Démarche d'écoconception

L'écoconception est une méthode de conception d'un produit visant à réduire les impacts environnementaux tout au long du cycle de vie du produit. En effet, un produit passe par plusieurs étapes qui constituent son cycle de vie, sa naissance a lieu lors de sa conception, après il passe par la production, la distribution, l'utilisation et la fin de vie (recyclage ou élimination). Fondamentalement, la conception d'un produit doit répondre à des spécifications techniques, économiques, et de satisfaction du client. Cependant, l'aspect environnemental est devenu un critère utilisé en conception si l'entreprise se place dans une démarche de développement durable. Dans ce chapitre, nous allons présenter la démarche d'écoconception. Dans un premier temps, les concepts de base de la démarche d'écoconception seront décrits et ensuite nous allons présenter, les différentes étapes du processus d'Ecoconception.

4.1 Concepts de base de la démarche d'écoconception.

De l'idée du produit à sa commercialisation il y a beaucoup de chemin, parfois plusieurs années. De plus, la conception d'un produit est l'étape qui a le plus d'influence sur la mise sur le marché, le retour sur investissement, l'évolution technique, la capacité de maintenance du produit chez les clients et sur le facteur environnemental. La démarche d'écoconception a pour objectif de commercialiser un produit écologique, elle se base sur 5 grands concepts :

Le premier concept consiste à penser cycle de vie et avoir une approche qui implique l'ensemble des impacts environnementaux que peut avoir un produit. Il va falloir prendre en compte, le plus largement possible, tous les flux de matières en entrée et en sortie et pendant toutes les étapes du cycle de vie du produit.

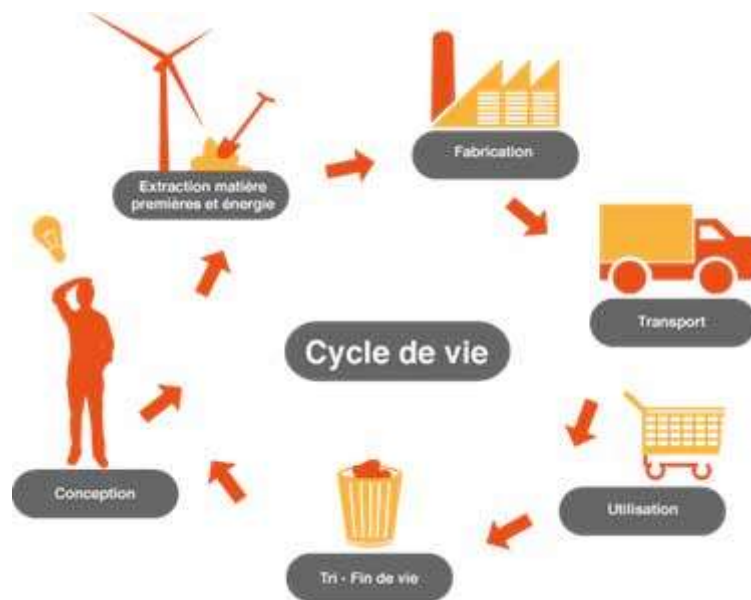


Figure 4-1 : Les grandes étapes du cycle de vie d'un produit

En effet, parfois on peut avoir un transfert d'impacts, on améliore certains impacts et on en dégrade d'autres. Il faudra, donc, adopter une approche multicritère, définir une liste d'impacts et étudier les plus importants pour le produit. Par exemple, aborder uniquement la consommation d'énergie et le bilan carbone du produit, en phase d'usage ne peut pas suffire pour prétendre de faire l'écoconception.

Le deuxième concept consiste à intégrer l'écoconception tout au long du processus de conception et travailler tôt dans le processus de conception, pour avoir des marges importantes d'amélioration. En effet, au début, le nouveau produit n'est pas encore défini, cependant les marges de travail, dans la logique environnementale, sont énormes et elles vont être de plus en plus réduites au fur et à mesure que la spécification du produit va se figer. Le troisième concept consiste à mettre en œuvre des outils qui vont permettre à l'entreprise de connaître son produit et à l'améliorer. Ils vont des outils pointus comme l'analyse de cycle de vie (ACV) aux méthodes plus simples qui permettent d'apporter une vision au moins qualitative du produit et des pistes d'améliorations environnementales comme la roue de l'écoconception.

Le quatrième concept consiste à élaborer une stratégie environnementale. Il va falloir faire des choix, pouvant privilégier les impacts les plus importants pour le produit en s'appuyant sur les obligations réglementaires, les demandes des clients, ce que font les concurrents ...Le dernier aspect de l'écoconception, c'est le fait qu'elle n'est pas uniquement un problème de bureau d'étude, elle fait appel aux sous-traitants qui vont fournir les sous-ensembles de pièces, au service achat, service commercial, service qualité qui est souvent, très impliqué dans le processus de conception. Il va donc falloir avoir un dialogue avec tous ces acteurs en interne et en externe de l'entreprise.

La démarche d'écoconception s'appuie sur la norme ISO 14 062, intitulée : « Management environnemental – Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits ». Elle est destinée aux concepteurs et développeurs de produits. Elle expose les principes de base pour prendre en compte l'environnement dans les activités de conception et de développement de produit. L'ISO 14062 présente une démarche d'écoconception qui parcourt toutes les étapes de développement de produit et propose des activités d'écoconception à chaque étape.

Au niveau de la Planification : la norme propose de formuler les exigences environnementales, identifier les facteurs qui poussent l'entreprise à éco concevoir son produit, et définir les enjeux de l'écoconception

Au niveau de la Conception préliminaire : la norme propose d'intégrer les exigences environnementales au niveau des spécifications du produit

Au niveau de la Conception détaillée et Essais / Prototype : la norme propose de faire des évaluations orientées sur le cycle de vie, Vérifier les spécifications par des essais sur les prototypes

Au niveau de la Production / Lancement : la norme propose de communiquer les informations sur les aspects environnementaux, l'utilisation recommandée et l'élimination du produit

4.2 Processus d'Ecoconception

Comme il a été dit, la démarche d'écoconception parcourt toutes les étapes de développement de produit et propose des activités d'écoconception à chaque étape. Au niveau de la Figure 4-2, nous avons présentée à côté de chaque étape de conception, les activités d'écoconception proposées par la littérature [20] [16]. Malgré la disposition séquentielle de ces étapes, les équipes de développement de produits devront répéter certaines étapes plusieurs fois, faisant de l'Ecoconception un processus itératif. En effet, au niveau de la phase **de planification** l'équipe écoconception établit un programme d'Ecoconception, ensuite lors du **développement du concept**, elle identifie les impacts environnementaux potentiels et sélectionne, des Directives d'écoconception, sur la base de

l'évaluation qualitative des impacts. Ces directives devront être appliquées par l'équipe de développement, tout au long du projet de développement produit. En effet, au cours de la **conception préliminaire**, certains choix initiaux de matériaux, ainsi que certaines décisions de conception de module, doivent être effectués. Lors de la **conception détaillée**, beaucoup plus de décisions devront être prises et les facteurs environnementaux peuvent être considérés avec plus de précision.

Au niveau de la **conception détaillée**, plusieurs options de conception sont proposées. Pour réduire ou éliminer tout impact environnemental significatif, ces options sont évaluées par une méthode d'analyse Environnementale ACV, Roue d'écoconception ... Le résultat de cette évaluation est comparé aux objectifs Ecoconception, établis lors de la phase de planification et on fait appel à une re-conception du produit. Ce processus d'évaluation re-conception, se répète jusqu'à ce que les impacts environnementaux soient réduits à un niveau acceptable.

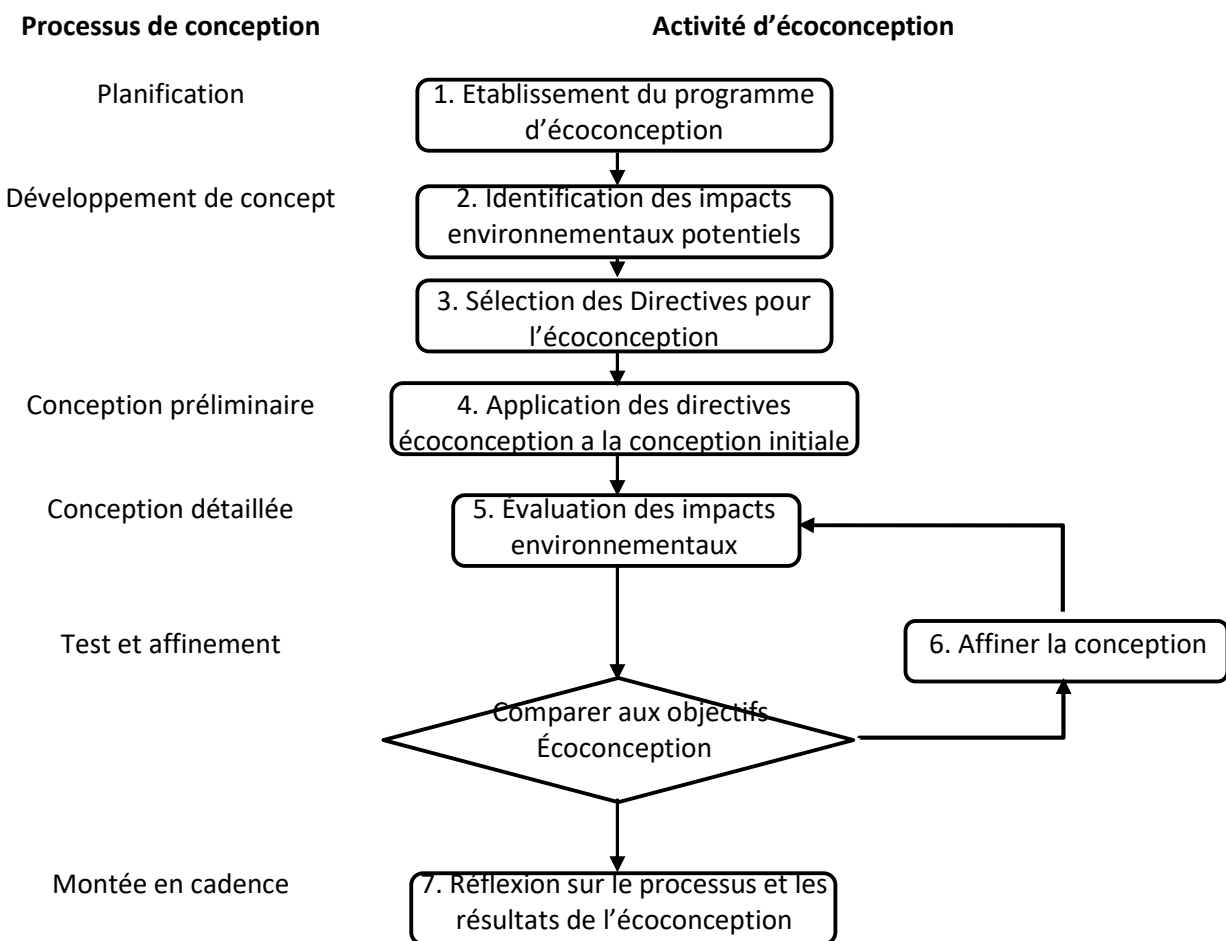


Figure 4-2 : Activités du processus d'Écoconception d'après [16].

Ce paragraphe va décrire chaque étape du processus d'Ecoconception.

1. Établir le programme d'Ecoconception : facteurs, objectifs et équipe : Le processus d'Ecoconception commence dès la phase de planification avec l'établissement d'un agenda ou programme d'Ecoconception. Cette étape comprend trois activités :

- Identification des facteurs internes et externes de l'Ecoconception,
- Définition des objectifs environnementaux du produit
- Mise en place d'une équipe Ecoconception.

En élaborant un programme d'Ecoconception, l'organisation identifie une voie concrète, menant vers la conception de produits respectueux de l'environnement.

La phase de planification de l'Ecoconception commence par l'identification des facteurs qui pousse l'entreprise à aborder la performance environnementale de ses produits. Il est utile de définir à la fois les facteurs internes et les facteurs externes de l'Ecoconception. Cette liste peut évoluer au fil du temps, car les changements dans la technologie, la réglementation, l'expérience, les intervenants et la concurrence affectent chacun la capacité et les défis de l'organisation. Les facteurs internes sont les objectifs de l'Ecoconception au sein de l'organisation. Les facteurs internes typiques sont :

- Qualité du produit : se focaliser sur les performances environnementales peut améliorer la qualité du produit en termes de fonctionnalité, de fiabilité, de durabilité et de maintenabilité.
- Image de marque : afficher un haut niveau de qualité environnementale d'un produit peut améliorer l'image d'une entreprise.
- Réduction des coûts : l'utilisation de moins de matériaux et d'énergie dans la production peut entraîner des économies de coûts considérables. Produire moins de déchets et éliminer les déchets dangereux entraîne une réduction des coûts d'élimination des déchets.
- Sécurité opérationnelle : en éliminant les matières toxiques, de nombreux changements du a l'Ecoconception peuvent contribuer à améliorer la santé et la sécurité au travail des employés.
- Responsabilité éthique : l'intérêt pour le développement durable chez les gestionnaires et les développeurs de produits peut être motivé en partie par un sens moral de la responsabilité de la conservation de l'environnement et de la nature.

Les facteurs externes de l'Ecoconception comprennent généralement les réglementations environnementales, les préférences des clients et les offres des concurrents, tels que :

- Législation environnementale : la politique environnementale axée sur les produits se développe rapidement. Les entreprises doivent non seulement comprendre la myriade de réglementations dans les différentes régions où elles opèrent et vendent des produits, mais aussi pouvoir anticiper les législations avenir.
- Demande du marché : Aujourd'hui, les clients sont de plus en plus, bien informés et exigent des produits durables. La publicité négative et les boycotts de produits peuvent avoir un impact considérable sur les ventes. Bien sûr, l'effet positif opposé devient également plus puissant.
- Fournisseurs : les fournisseurs influencent le comportement de l'entreprise en introduisant des matériaux et des processus plus durables. Les entreprises peuvent choisir d'auditer et de confirmer les déclarations environnementales de leurs fournisseurs.

Dans un deuxième temps, il faut définir les objectifs environnementaux pour chaque projet de développement de produit. De nombreuses entreprises établissent une stratégie environnementale à long terme. Cette stratégie englobe ; le respect de la réglementation environnementale, la réduction des impacts environnementaux des produits, services et opérations. Pour atteindre les objectifs à long terme, des objectifs spécifiques peuvent être fixés pour chaque produit pendant la phase de planification. Ces objectifs permettent à l'entreprise de déployer sa stratégie. Les objectifs spécifiques peuvent être développés en se basant sur l'identification des étapes du cycle de vie qui contribuent à des impacts environnementaux les plus significatifs.

La 3eme étape d'élaboration d'un programme Eco conception est la constitution d'une équipe Ecoconception. L'Ecoconception nécessite la participation de nombreux experts fonctionnels au projet de développement de produit. La composition typique d'une équipe d'Eco Conception (souvent une sous équipe au sein de l'équipe de projet globale) se compose d'un chef d'équipe d'Ecoconception,

d'un expert en matériaux, d'un énergéticien, d'un ingénieur de fabrication et d'un représentant de l'organisation des achats et de la chaîne d'approvisionnement. Bien entendu, la composition de l'équipe d'Écoconception dépend de l'organisation et des besoins du projet spécifique, et peut également inclure des professionnels du marketing, des consultants externes, des fournisseurs ou d'autres experts.

A titre d'exemple, nous allons présenter la démarche d'écoconception utilisée par Herman Miller, Inc., un fabricant de mobilier de bureau, basé aux États-Unis, pour lancer son siège de bureau polyvalent Setu voir Figure 4-4. Herman Miller possède une gamme très réussie de sièges de bureau ; Aeron et Mirra ... Elle a conçu le siège de bureau Setu en collaboration avec Studio 7.5, une entreprise de design basée en Allemagne [21]. Le siège polyvalentes, Setu, devait se baser sur de nouvelles normes de simplicité, d'adaptabilité et de confort tout en étant respectueux de l'environnement. Contrairement aux sièges de bureau conventionnels, utilisés pendant de longues périodes, le siège Setu devait être utilisée pendant des périodes relativement courtes, dans des salles de conférence, des postes de travail temporaires et des espaces de collaboration.

Les principaux facteurs d'écoconception du siège Setu sont ; la demande du marché et l'engagement d'Herman Miller envers la responsabilité environnementale. Studio 7.5 et Herman Miller ont développé les premiers concepts Setu avec ces facteurs à l'esprit. Ils ont fixé comme objectifs environnementaux : Zéro production de déchets dangereux, Aucune émission nocive dans l'air, Aucune utilisation d'eau au niveau du procédé, Utilisation d'énergie électrique verte. Herman Miller a créé son équipe Ecoconception afin d'examiner, sur chaque projet, la chimie des matériaux, le démontage, la recyclabilité, les emballages, les sources et utilisations d'énergie et la production de déchets. En travaillant en étroite collaboration avec chaque équipe de développement de produits, l'équipe Ecoconception fournit les outils et les connaissances nécessaires pour prendre des décisions de conception écologiquement rationnelles.

2. Identifier les impacts environnementaux potentiels : Au niveau de la phase de **développement du concept**, l'équipe d'Ecoconception devra commence par identifier les impacts environnementaux potentiels du produit, au cours de son cycle de vie. Cela permet à l'équipe de développement de produits de prendre en compte les impacts environnementaux au stade du concept, même si peu ou pas de données spécifiques (concernant la consommation de matériaux et d'énergie, les émissions et la production de déchets) sont encore disponibles pour le produit réel et qu'une évaluation détaillée de l'impact environnemental n'est pas encore possible. Dans le cas de la re-conception du produit, cependant, des données pertinentes peuvent être fournies par l'analyse d'impact de certains produits existants. Pour cela, l'équipe doit poser la question : Quelles sont les sources importantes d'impact environnemental potentiel à chaque étape du cycle de vie ? Des questions spécifiques pour chaque étape, peuvent être utiles pour mener cette analyse qualitative. Dans le Tableau 4-1, nous donnons des exemples de questions provenant de Brezet et al [22], qui permettent d'identifier les impacts potentiels. L'équipe répertorie, donc, pour chaque étape du cycle de vie les principaux impacts environnementaux potentiels. Un graphique qui peut être élaboré pour visualiser qualitativement les impacts environnementaux tout au long du cycle de vie du produit. La hauteur de chaque barre dans le graphique représente le jugement de l'équipe sur l'ampleur globale des impacts environnementaux potentiels et permet, donc, d'identifier les points où il faut concentrer les efforts Ecoconception.

Tableau 4-1 : Identification les impacts potentiels d'après Brezet et all [22].

Cycle de vie	Question permettant d'identifier les Impacts environnementaux
1. Matériaux :	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle quantité et quels types de matières recyclables seront utilisées ? • Quelle quantité et quels types de matériaux non recyclables seront utilisés ? • Quelle quantité et quels types d'additifs seront utilisés ? • Quel est le profil environnemental des matériaux ? • Quelle quantité d'énergie sera nécessaire pour extraire ces matériaux ? • Quels moyens de transport seront utilisés pour se les procurer ?
2. Production :	<ul style="list-style-type: none"> • Combien et quels types de processus de production seront utilisés ? • Quelle quantité et quels types de matériaux auxiliaires sont nécessaires ? • Quelle sera la consommation d'énergie ? • Quelle quantité de déchets sera générée ? • Les déchets de production peuvent-ils être séparés pour être recyclés ?
3. Distribution :	<ul style="list-style-type: none"> • Quel type d'emballage pour le transport sera utilisé (emballage en vrac, de vente au détail, avec les volumes, poids, matériaux, réutilisabilité) ? • Quels moyens de transport seront utilisés ?
4. Utilisation :	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle quantité d'énergie et quel type d'énergie sera nécessaire ? • Quelle quantité et quel type de consommables seront nécessaires ? • Quelle sera la durée de vie technique ? • Combien d'interventions maintenance seront nécessaires ? • Quels matériaux auxiliaires et énergie seront nécessaires et combien ? • Quelle sera la durée de vie esthétique du produit ?
5. Recyclage :	<ul style="list-style-type: none"> • Comment le produit peut-il être réutilisé ? • Les composants ou matériaux seront ils réutilisés ? • Le produit peut-il être rapidement démonté à l'aide d'outils courants ? • Quels matériaux seront recyclables ? • Les matériaux recyclables seront ils identifiables ? • Comment va être reformé le produit ?

Pour guider l'Ecoconception au niveau du projet du Siège Setu, Herman Miller a effectué une évaluation qualitative des impact environnementaux selon le cycle de vie du mobilier de bureau voir Tableau 4-2 et Figure 4-3.

Tableau 4-2 : Impacts environnementaux potentiels mobiliers de bureau Herman Miller

Cycle de vie	Impacts environnementaux
Matériaux	Épuisement des ressources naturelles Dégradation des terres due à l'exploitation Émissions et production de déchets Biodiversité réduite en raison de la déforestation
Production	Pollution de l'eau par les rejets d'usine Production de déchets pendant la production Pollution atmosphérique due aux émissions
Distribution	Pollution atmosphérique due aux émissions des transports Production de déchets à partir de l'emballage
Utilisation	Matériel d'entretien et de nettoyage Abrasion des matériaux
Recyclage	Dégradation des terres causé par les déchets Génération de méthane et des polluants des eaux souterraines à cause des déchets Production de déchets pendant le processus de valorisation Pollution atmosphérique et cendres toxiques à cause de l'incinération

Pour certains produits (par exemple les automobiles, les appareils électroniques), les impacts les plus importants se situent au stade de l'utilisation. Pour les autres produits (par exemple les vêtements, le mobilier de bureau), les impacts les plus importants peuvent être au niveau des matériaux, de la production et du recyclage.

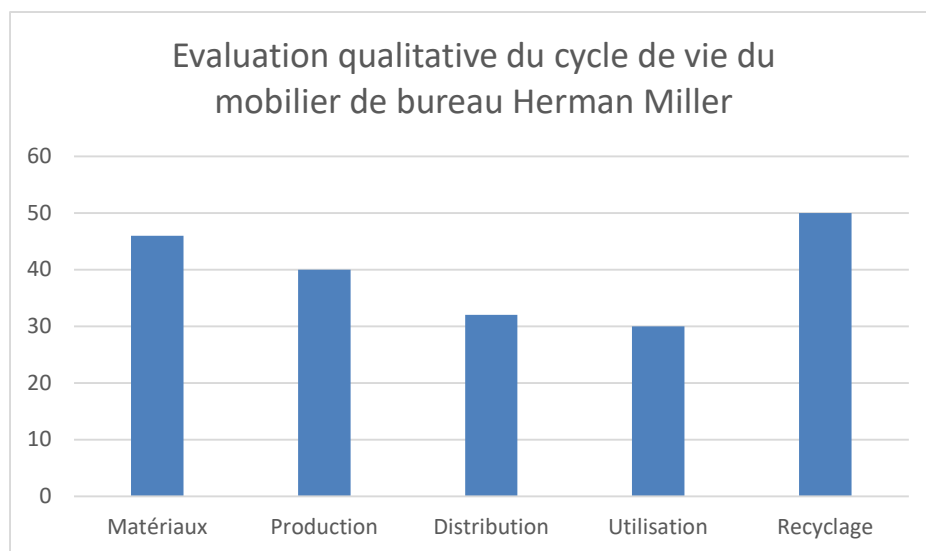


Figure 4-3 : Graphique impacts environnementaux mobilier de bureau Herman Miller

3. Sélection des Directives pour l'écoconception : Les directives, recommandations ou lignes directrices, aident les équipes de conception de produits à prendre des décisions précoces d'Ecoconception. Ces décisions sont prises sans analyse d'impact environnemental détaillée, qui n'est

possible que si la conception est plus avancée. Les Directives pertinentes peuvent être sélectionnées en partie sur la base de l'évaluation qualitative des impacts du cycle de vie au cours de la phase de **développement du concept**.

Tableau 4-3 : Directives pour l'écoconception d'après Telenko et al [23].

Etape du cycle de vie	Directives pour l'écoconception
Matériaux	<p>Ressources renouvelables</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spécifier des ressources renouvelables et abondantes. * • Spécifier des matériaux recyclables et / ou recyclés. * • Spécifier des formes d'énergie renouvelables. * <p>Sécurité des matériaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spécifier des matériaux non dangereux. * • Installer des protections contre les rejets polluants et les substances dangereuses. • Prévoir des étiquettes et des instructions pour une manipulation sûre des matières toxiques. *
Production	<p>Utilisation minimale des ressources en Production</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prévoir le moins d'étapes de fabrication possible. * • Spécifier des matériaux qui ne nécessitent pas de traitements de surface ou de revêtements. * • Minimiser le nombre de composants. * • Spécifier des matériaux et composants légers. *
Distribution	<p>Utilisation minimale des ressources en Distribution</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimiser les emballages • Utiliser des matériaux d'emballage recyclables et / ou réutilisables. • Utiliser le pliage, l'emboîtement ou le démontage pour distribuer les produits dans un état compact. • Appliquer des techniques structurelles et des matériaux pour minimiser le volume total.
Utilisation	<p>Efficacité des ressources en Utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implémenter la mise hors tension automatique des sous-systèmes qui ne sont pas utilisés en fonctionnement. • Utiliser des mécanismes de rétroaction pour indiquer la quantité d'énergie ou d'eau consommée. • Implémenter des contrôles intuitifs pour les fonctionnalités d'économie de ressources. <p>Durabilité</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tenir compte de l'esthétique et de la fonctionnalité pour garantir que la vie esthétique soit égale à la vie technique. • Faciliter la réparation et la mise à niveau. • Assurer un entretien minimal. • Minimiser les défaillances.
Recyclage	<p>Démontage, séparation et nettoyage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Assurer l'accessibilité des joints et des fixations et de nettoyage. * • Spécifier des joints et des fixations pour qu'ils soient séparables à la main ou avec des outils courants. * • Assurer une séparation facile des matériaux incompatibles. *

Cette sélection permet à l'équipe de développement de les appliquer tout au long du projet de développement produit. Le Tableau 4-3 montre un ensemble de directives Ecoconception, basée sur une étude de Telenko et al [23]. Chaque étape du cycle de vie a ses propres directives Ecoconception qui fournissent aux équipes de développement, des recommandations leur permettant de réduire les impacts environnementaux d'un produit. Le grand nombre des directives concernant la sélection des matériaux, souligne le rôle central des matériaux dans le l'écoconception. Pour le projet Setu, les experts Ecoconception ont fourni à l'équipe de développement de produits plusieurs directives. Ces directives sont identifiées par un astérisque dans le Tableau 4-3.

4. Appliquer les directives d'écoconception a la conception initiale : Au fur et à mesure que l'architecture du produit est développée, au cours de la phase de **conception préliminaire**, certains choix initiaux de matériaux sont effectués en même temps que certaines des décisions de conception de module. Il est donc avantageux d'appliquer à ce stade les directives d'écoconception, sélectionnées à l'étape précédente. De cette manière, la conception initiale du produit peut avoir des impacts environnementaux plus faibles. Lors de la phase de **conception détaillée**, les spécifications exactes des matériaux, la géométrie détaillée et les processus de fabrication seront déterminés. L'application des directives d'écoconception au niveau de cette phase est essentiellement la même que dans la phase précédente ; cependant, à ce stade, beaucoup plus de décisions sont prises et les facteurs environnementaux peuvent être considérés avec plus de précision. En spécifiant des matériaux à faible impact et en réduisant la consommation d'énergie, les équipes de développement de produits créent des produits plus respectueux de l'environnement. En outre, les directives d'écoconception peuvent inciter les équipes de développement de produits à améliorer la fonctionnalité et la durabilité du produit, ce qui peut entraîner une réduction significative des impacts environnementaux.

L'équipe Setu a souhaité que le siège développé soit léger afin de réduire l'utilisation des matériaux et les impacts de transport (application de la directive : spécifier les matériaux et composants légers). Ils y sont parvenus en développant un concept et une architecture de produit, n'ayant pas besoin de mécanisme d'inclinaison sous le siège. Cela a permis de réduire le poids du siège jusqu'à 9 kg. L'équipe Setu a également cherché de nouvelles façons de démontage du Siège Setu, afin de faciliter le recyclage. Ils ont placé chaque joint à un endroit facilement accessible et ont également veillé à ce que les composants du Siège Setu soient séparables à la main ou avec des outils courants (application des directives : s'assurer que les joints et les fixations sont facilement accessibles ; spécifier les joints et les fixations de manière à ce qu'ils soient séparables à la main ou avec des outils communs). La forme du dossier du Siège Setu, a été inspirée de la colonne vertébrale humaine. Les concepteurs de Studio 7.5 ont réalisé plusieurs prototypes du dossier afin d'obtenir un support et une inclinaison appropriés. Une fois la forme du dossier définie, l'équipe a dû chercher les matériaux répondant à la fois aux exigences fonctionnelles et environnementales. Pour spécifier ces matériaux, l'équipe de développement a utilisé la base de données de matériaux propre à Herman Miller. Cette base de données, développée pour eux par MBDC [24], prend en compte les impacts sur la sécurité et l'environnement de chaque matériau et les classe dans l'une des quatre catégories suivantes :

- Vert (peu ou pas de danger),
- Jaune (danger faible à modéré),
- Orange (données incomplètes)
- Rouge (risque élevé).

L'objectif d'Herman Miller était d'utiliser uniquement des matériaux de qualité jaune ou verte pour tous les nouveaux produits. Par exemple, le polychlorure de vinyle (PVC) est classé comme matériau rouge. Le PVC est un polymère couramment utilisé dans les meubles et autres produits en raison de son faible coût et de sa haute résistance. Cependant, la production et l'incinération du PVC dégagent des émissions toxiques.



Figure 4-4 : Siège de bureau polyvalent Setu de Herman Miller

Pour éviter d'utiliser des matériaux toxiques pour l'homme et l'environnement (application de la directive : spécifier les matériaux non dangereux), les ingénieurs ont spécifié des matériaux plus sûrs comme le polypropylène et ont écarté le PVC.

5. Évaluer les impacts environnementaux : L'étape suivante consiste à évaluer, dans la mesure du possible, les impacts environnementaux du produit sur l'ensemble de son cycle de vie. Pour réussir cette étape, il faut connaître en détail comment le produit doit être fabriqué, distribué, utilisé pendant sa durée de vie et recyclé ou éliminé à la fin de sa vie utile. Cette évaluation est généralement effectuée sur la base de la nomenclature détaillée, y compris les sources d'énergie, les spécifications des matériaux des composants, les fournisseurs, les modes de transport, les flux de déchets, les méthodes de recyclage et les moyens d'élimination. Plusieurs outils d'analyse quantitative du cycle de vie (ACV) sont disponibles pour mener une telle évaluation. Ces outils varient en prix et en complexité et seraient sélectionnés en fonction des types de matériaux et de processus impliqués, et de la précision requise de l'analyse. Ces outils sont détaillés dans le chapitre qui suit. L'ACV nécessite beaucoup de temps, de formation et de données. De nombreuses analyses ACV sont comparatives et fournissent une base pour considérer la performance environnementale des alternatives de conception de produits. Les logiciels commerciaux d'ACV sont de plus en plus utilisés dans la conception de produits, et des données complémentaires sont disponibles pour les matériaux courants, les processus de production, les méthodes de transport, les processus de production d'énergie et les scénarios d'élimination.

Herman Miller utilise son propre outil d'évaluation, développé pour eux par MBDC [24]. Cet outil se compose d'une interface sous forme de feuille de calcul et d'une base de données des matériaux. L'outil prend en compte quatre facteurs pour chaque composant du produit :

1. Chimie des matériaux : Fraction des matériaux en poids qui est la plus sûre possible en termes de toxicité humaine et de préoccupations environnementales.

2. Contenu recyclé : fraction des matériaux en poids qui sont du contenu recyclé post-industriel ou post-consommation.

3. Démontage : Fraction des matériaux en poids qui peut être facilement démontée.

4. Recyclabilité : fraction des matériaux en poids qui sont recyclables.

Une fois la conception initiale du Setu établie, le Siège a été divisée en modules, avec différentes équipes affectées à l'élaboration de chaque module. Au fur et à mesure que chaque équipe concevait son module, l'équipe Ecoconception évaluait la conception à l'aide de l'outil d'évaluation environnementale MBDC.

Après l'évaluation des impacts, il faut les comparer avec les objectifs Ecoconception, établis lors de la phase de planification. En effet, lors de l'évolution de la conception, au niveau de la phase de conception détaillée, plusieurs options de conception sont proposées. Ces options peuvent maintenant être comparées pour trouver celle qui ont des impacts environnementaux les plus faibles. La conception aura généralement beaucoup de place à l'amélioration et plusieurs itérations évaluation re-conception sont nécessaires avant que l'équipe soit convaincue que le produit est aussi bon qu'il devrait l'être du point de vue environnementale.

6. Affiner la conception en réduisant ou en éliminant les impacts environnementaux : L'objectif de cette étape et des itérations ultérieures est de réduire ou d'éliminer tout impact environnemental significatif grâce à une re-conception. Le processus se répète jusqu'à ce que les impacts environnementaux soient réduits à un niveau acceptable et que la performance environnementale corresponde aux objectifs d'Ecoconception. La re-conception pour une amélioration environnementale continue peut se poursuivre après le début de la production.

Pour les sièges de bureau Aeron et Mirra, Herman Miller a apporté plusieurs modifications aux matériaux depuis la sortie initiale de ces produits, réduisant ainsi leurs impacts environnementaux. En ce qui concerne le sièges Setu, après plusieurs itérations, l'équipe de Setu a développé un moyen pour mouler le dossier de ce siège en utilisant deux matériaux en polypropylène différents qui sont compatibles pour le recyclage sans séparation. Les rails intérieur et extérieur du dossier sont constitués d'un composite de polypropylène et de verre, tandis que les rayons de liaison sont moulés à l'aide d'un composite de polypropylène et de caoutchouc plus flexible. La base en aluminium de Setu est un exemple de «design minimaliste ». Non revêtu et non poli, sans travail de finition et sans toxines nocives, il est durable et a moins d'impacts environnementaux que les bases de chaise au fini traditionnel.

7. Réflexion sur le processus et les résultats de l'écoconception : Comme pour tous les autres aspects du processus de développement de produit, l'activité finale de ce processus consiste à se demander :

- Dans quelle mesure avons-nous bien exécuté le processus d'écoconception ?
- Comment le processus d'écoconception peut-il être amélioré ?

- Quelles améliorations environnementales peut-on apporter aux futurs produits ?

Bien que très réussie en termes de mise en œuvre de la démarche d'écoconception, le siège Setu a encore des impacts négatifs sur l'environnement, en particulier en termes de chimie des matériaux et d'utilisation de contenu recyclé. Cela démontre que le développement d'un produit parfait du point de vue Environnement est un objectif qui peut prendre des années. Une écoconception efficace nécessite une équipe de développement qui adopte une amélioration continue. L'équipe écoconception est capable d'améliorer davantage le siège Setu et de réduire d'autres impacts. Par exemple, le moulage des bras Setu entièrement en polypropylène, peut améliorer la recyclabilité et peut réduire les coûts, mais cela va demander à l'équipe de résoudre plusieurs problèmes techniques très complexes. Pour améliorer leur processus d'écoconception, Herman Miller a commencé par utiliser le logiciel d'évaluation ACV pour surveiller leurs résultats environnement. Ils ont ensuite prévu d'intégrer « l'empreinte carbone » dans leur outil. L'empreinte carbone d'un produit est la quantité d'émissions de gaz à effet de serre généré par le produit, exprimée en masse équivalente de CO₂ émis. La prise en compte de l'empreinte carbone affecterait davantage les choix de matériaux d'Herman Miller. Par exemple, en se basant uniquement sur la recyclabilité et la toxicité environnementale, l'aluminium est un matériau propre. Cependant, en prenant en compte l'empreinte carbone, l'aluminium pourrait être un choix moins favorable (par rapport à l'acier, par exemple) en raison de la quantité d'énergie nécessaire pour le produire. L'aluminium recyclé, cependant, utilise beaucoup moins d'énergie, de sorte que cette analyse dépend également des sources des matériaux et de l'énergie utilisés pour le traiter.

5 Outils de l'écoconception

La démarche d'écoconception consiste à intégrer la préoccupation environnementale tout au long du processus de conception. Comme nous avons vu précédemment, au niveau de la phase de conception détaillée, on a une connaissance plus précise du produit, des matériaux, des composants, du processus de production, des sources d'énergie, des fournisseurs, des modes de transport, des déchets, des méthodes de recyclage. A cette étape, plusieurs options de conception sont proposées. Ces options doivent donc être évaluées. Le résultat de cette évaluation doit être comparé avec les objectifs Ecoconception, établis lors de la phase de planification. L'évaluation environnementale doit quantifier les impacts environnementaux d'un produit. En plus de nous permettre d'identifier les sources des impacts afin de définir des actions pour améliorer le produit, une évaluation environnementale nous permet d'avoir une référence pour s'assurer que le nouveau produit que l'on va proposer est moins impactant sur l'environnement que le précédent. Dans ce chapitre, nous allons décrire les outils utilisés en écoconception pour évaluer les impacts environnementales d'un produit. Dans un premier temps, nous allons définir et décrire les différents types d'outils d'écoconception, ensuite nous allons présenter une étude de cas pour l'évaluation des impacts de la production et de l'utilisation d'un pulllover sur l'environnement

5.1 Les différents types d'Outils d'évaluation en écoconception

De nos jours, de nombreux outils sont disponibles pour évaluer l'impact d'un produit en écoconception. Certains outils sont qualitatifs, d'autres sont quantitatives. Un outil qualitatif permet une Analyse approximative et n'utilise pas de procédures informatiques systématiques pour évaluer le profil environnemental du produit étudié. Il analyse le cycle de vie d'un produit en termes environnementaux directement à partir des émissions émises et de la consommation de matières premières. Les techniques quantitatives, cependant, utilisent un processus précis pour le calcul de plusieurs indicateurs et l'évaluation et la quantification des impacts environnementaux. Il existe différentes techniques d'ACV quantitatives, les plus importants sont : Eco-points, Eco-indicateur, système EPS, concept MIPS. L'évaluation de la gravité des impacts directement à partir de la table des impacts nécessite une formation approfondie et des connaissances approfondies. Un rôle décisif est joué par les expériences pertinentes de l'expert effectuant l'évaluation. Les méthodes semi quantitatives sont celles où une seule dimension est utilisée pour quantifier l'impact d'un produit. Dans la méthode MIPS (Material Input Per unit of Service), ce sont les flux de matières générés par la production, l'utilisation et les déchets d'un produit qui sont utilisés pour quantifier l'impact du produit sur l'environnement. Dans ce paragraphe, nous allons d'abord décrire la roue de l'écoconception, qui est un outil simple, ensuite nous allons décrire les méthodes quantitatives d'Analyse du Cycle de Vie (ACV), qui nécessite beaucoup de temps, de formation et de données.

5.1.1 La roue de l'écoconception.

Parmi les outils d'évaluation environnementale, la roue de l'Écoconception, Roue de Brezet [22] ou Eco-design strategy wheel est un outil simple d'utilisation et donne des pistes d'amélioration d'un produit selon différents axes qui constituent les phases du cycle de vie de ce produit. On peut par exemple sélectionner des matériaux propres, réduire la quantité de matériaux, optimiser le processus de fabrication, optimiser l'emballage du produit, sa phase d'utilisation, sa durée de vie ou penser à sa fin de vie voir Figure 5-1. Nous allons dans ce paragraphe détailler chacun de ces axes.

Concernant le premier axe la sélection de matériaux à moindre impact, on peut par exemple rechercher des matériaux plus propres d'un point de vue environnemental, trouver des matériaux renouvelables, des matériaux à moindre contenu énergétique, ou utiliser une part de matériaux recyclés et des matériaux recyclables.

Pour ce qui concerne le 2eme axe réduction de quantité de matériaux, il s'agit par exemple de réduire la masse de matériaux utilisés, réduire le volume de matériaux et aussi, si possible, réduire le nombre de matériaux différents utilisés.

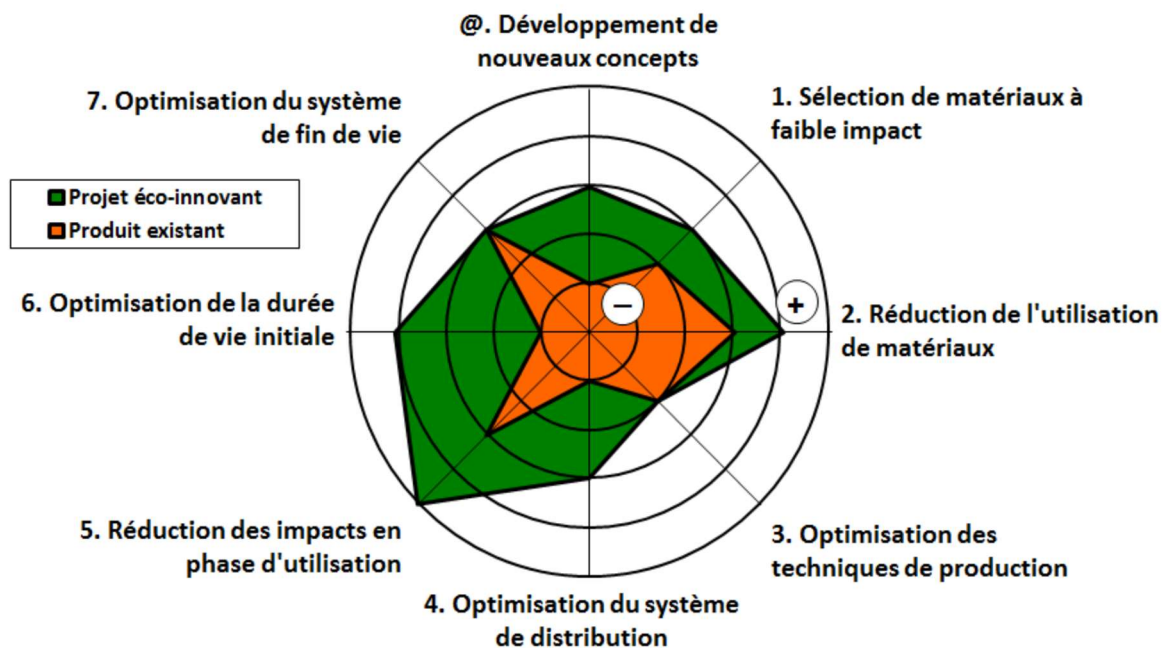


Figure 5-1 : La roue de Brezet, tiré de [20]

Concernant le 3ème axe optimisation de la technique de production, on peut chercher des alternatives aux techniques de production actuelles qui peuvent être plus propres, utiliser le moins d'étapes de production possibles ; changer le mode de consommation d'énergie de l'usine, trouver une énergie plus propre ou diminuer la consommation d'énergie ; diminuer également la production de déchets en phase de fabrication du produit ; et puis si possible utiliser moins de consommables, ou trouver des consommables plus propres.

Le 4ème axe concerne la logistique et l'emballage. Il s'agit par exemple d'utiliser moins d'emballages, ou trouver des matériaux d'emballages plus propres ou réutilisable, trouver des modes de transport plus efficaces, optimiser la logistique pour qu'elle soit plus efficace et dans l'idéal essayer de produire et d'assembler localement pour avoir le moins de logistique possible.

Concernant le 5eme axe utilisation du produit, on peut réduire par exemple la consommation énergétique du produit, trouver des sources de consommation d'énergie plus propres pour le produit, réduire la maintenance en utilisant le moins de consommables possibles en phase d'utilisation, utiliser des consommables plus propres et éviter le gaspillage d'énergie en utilisant les modes de veille sur certains produits...

L'axe 6 concerne l'optimisation de la durée de vie du produit. Pour cela on peut faire en sorte que le produit soit plus fiable et durable ; faciliter la maintenance et la réparation du produit ; trouver une structure modulaire du produit, de manière à changer juste un module pour la maintenance à faire plutôt que de changer tout le produit. Ensuite une autre piste c'est par exemple de concevoir un produit de manière classique et intemporelle pour éviter l'effet de mode pour que les gens ne soient pas tentés de les changer régulièrement et cela induit une forte relation entre le produit et l'utilisateur.

L'axe 7 concerne l'optimisation de la fin de vie du produit. Une piste peut être de faciliter le désassemblage, de permettre la réutilisation du produit, pour un même usage ou pour un autre usage ; de permettre la réutilisation des composants ; de faire en sorte que les matériaux du produit soient recyclables et puis de trouver des modes d'incinération ou de fin de vie du produit qui soient plus propres.

L'axe 8 concerne l'innovation, le développement de nouveaux concepts. Il s'agit par exemple de dématérialiser des fonctions, de permettre une utilisation partagée du produit. On pense aux Vélib's ou à Autolib par exemple (dispositifs de partage de vélos ou de véhicules) ; d'intégrer de nouvelles fonctions, tout en ne changeant pas le produit, et puis d'optimiser fonctionnellement le produit et les composants.

5.1.2 L'Analyse du Cycle de Vie (ACV)

L'Analyse de Cycle de Vie est une prise en compte exhaustive de tous les flux comptant de manière significative dans l'ensemble du cycle de vie d'un produit, dans le but de connaître les impacts engendrés sur l'environnement, et ce pour plusieurs critères [2]. C'est l'outil d'évaluation environnementale produit par excellence. Il s'agit d'une étude suivant les normes ISO 14040/44, prenant en compte l'ensemble du cycle de vie sur un nombre important d'indicateurs d'impacts. Cette approche a pour but de réduire les impacts sur l'environnement d'un produit : elle passe par une prise en compte globale de l'environnement (consommation d'énergie et de matière, rejets, émissions et déchets), à chaque étape du cycle de vie du produit (de l'extraction des matières premières à sa valorisation en fin de vie, en passant par ses étapes de distribution et d'utilisation). L'ACV peut se résumer à faire le bilan des entrants et des sortants d'un système, tout au long de son cycle de vie voir Figure 5-2.

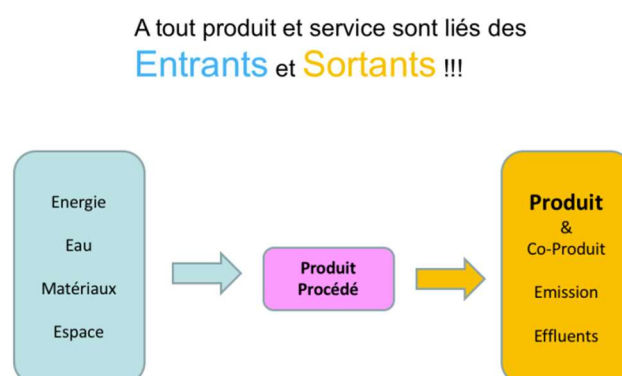


Figure 5-2 : Bilan des entrants et des sortants d'un système

L'ACV est utilisé pour comparer les impacts environnementaux de différents produits finis ou les étapes du cycle de vie du système, en suivant un cadre méthodologique suivant les normes

ISO14040/44 [14]. La norme ISO 14040 : 2006 « **Gestion environnementale – Analyse du cycle de vie – Principes et cadre** » précise les objectifs et les domaines d’application de l’ACV et détaille le contenu des différentes étapes de l’ACV. Elle permet de guider pas à pas le responsable du projet, de l’inventaire à l’évaluation, en passant par la limitation et l’apport d’éventuelles corrections.

La deuxième norme environnementale, la plus utilisée, ISO 14044 :2006 « **Gestion environnementale – Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices** » spécifie les exigences et fournit les lignes directrices pour la réalisation d’analyses du cycle de vie (ACV) et aborde plusieurs questions similaires à la norme précédente, mais s’attache, surtout à traiter la relation entre les phases de l’ACV et les conditions d’utilisation. Les quatre étapes du cadre méthodologique de l’ACV sont :

1. Définition des objectifs et du champ de l'étude,
2. Inventaire du cycle de vie,
3. Évaluation de l'impact,
4. Interprétations.

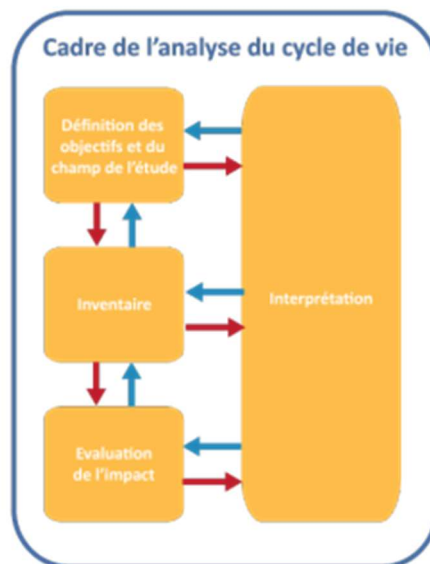


Figure 5-3 : Les étapes du cadre méthodologique de l’ACV

1. Définition des objectifs et des champs d’études : c’est une phase cruciale d’une Analyse ACV, de définition du produit (ou du service), en choisissant l’unité fonctionnelle, les objectifs et la précision de l’étude, ainsi que les frontières du système étudié et les hypothèses générales de l’étude. Pour faire une ACV d’un produit, il est important de définir la fonction de ce produit plutôt que le produit lui-même. Si, par exemple, le produit est une machine à laver, il est important de décrire le degré de propreté et le degré de séchage des vêtements que cette machine doit laver, la durée de fonctionnement de la machine et la fréquence d’utilisation, la quantité de vêtements pouvant être lavés à chaque fois, etc. La mesure de la performance du produit est appelée unité fonctionnelle, elle fournit une référence permettant la comparaison de plusieurs produits. En effet, deux produits, A et B, peuvent avoir des performances différentes même s’ils remplissent la même fonction. Par exemple, on peut comparer les deux types d’emballages de lait : brique de lait et bouteille en verre consignée. Une bouteille en verre peut être utilisée dix fois ou plus, alors qu’une brique de lait ne peut être utilisée qu’une seule fois, en revanche, une brique de lait n’a pas besoin d’être lavée et de transportée. On peut prendre le conditionnement de 10 litres de lait, comme unité fonctionnelle. Dans ce cas, il faut

comparer 10 briques de lait à 1 bouteille et 9 lavages (en supposant 9 allers-retours de la bouteille). Un autre exemple consiste à comparer différentes peintures anti-corrosion utilisées pour protéger une surface métallique. Dans ce cas il faut comparer la capacité de couvrir une surface spécifiée au lieu de comparer une quantité de peinture. L'unité fonctionnelle est donc la quantité de peinture qui couvre, par exemple 1 m² peint pendant 2 ans.

Les cycles de vie des produits sont généralement interconnectés de manière complexe et il est impossible d'isoler le cycle de vie d'un seul produit sans se heurter aux cycles de vie des autres produits. Ainsi par exemple, dans une ACV des bouteilles en verre, les camions sont utilisés pour le transport, donc le cycle de vie d'un camion doit être impliqué. Dans le cycle de vie du camion, l'acier est utilisé pour produire de nombreuses pièces du véhicule, le charbon est nécessaire pour produire de l'acier, l'acier est transporté par camions, etc. Pour éviter un tel problème, les limites du système doivent être définies. La frontière entre le produit étudié et les autres produits avec lesquels il a des relations doit être définie.

2. Inventaire du Cycle de Vie : L'inventaire consiste en la collecte de données relatives à tous les processus inclus au système étudié. Il faut, effectuer un bilan des entrants et des sortants de toutes les phases du cycle de vie du produit, de l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie. Les données collectées doivent renseigner à la fois sur les entrées et les sorties. Les entrées font référence aux matières premières, à l'énergie et aux ressources naturelles, tandis que les sorties sont représentées par les émissions vers l'environnement (eau, air, sol), les produits, les co-produits et les déchets. En effet, pour fabriquer un produit, il faudra consommer de l'énergie, de l'eau pour refroidir les procédés. Ce sont les flux entrants. D'autre part, en ce qui concerne les flux sortants, en phase d'utilisation un produit peut avoir des émissions dans l'air. Par exemple, une voiture, va avoir des émissions lors de la combustion du carburant. En fin de vie, notamment lors des traitements du produit, on peut avoir des déchets, que l'on devra traiter. Ce bilan des flux entrants et sortants est à faire pour chaque phase du cycle de vie. Le résultat final de l'étape d'inventaire de cycle de vie est le tableau d'inventaire. En effet, cette étape a pour objectif d'obtenir une liste de tous les matières consommées et les émissions liés au cycle de vie du produit ayant un impact sur l'environnement. Les données utilisées pour construire le tableau d'inventaire doivent donc être quantitatives. La création de l'inventaire se fait en quatre étapes :

- Élaboration d'un diagramme des procédés unitaires inclus dans le système étudié. La définition des objectifs et du champ d'étude ayant établi les frontières du système étudié, les données à collecter sont déjà ciblées.
- Collecte des données : elle peut être édifiée à partir d'appareils de mesure, de rapports industriels, de documents officiels, de bases de données référencées, de brevets, livres, articles de journaux scientifiques, manuels, d'inventaires déjà existant, etc.
- Relier les données à une unité fonctionnelle choisie (allocation).
- Développer un bilan global en énergie et en matière généré par le produit, tableau d'inventaire.

Très souvent, un processus assure plusieurs fonctions ou permet de réaliser plusieurs produits. Le problème de répartition des émissions et de la consommation de matières entre ces produits est appelé allocation. Plusieurs méthodes ont été développées pour faciliter l'allocation. D'autre part, la qualité de cet inventaire dépend de la qualité des données à dispositions (fournisseurs, base de données...), et également du type d'ACV auquel on a recours, une ACV simplifiée demandera moins de détails qu'une ACV complète. Pour faciliter la collecte des données et assurer leur validité, des bases

de données ont été créées par divers entités gouvernementales et de recherche. Par exemple, la Base de données environnementale IMPACTS développé par l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) [25] permet de donner aux industriels tous les éléments permettant de calculer l'impact environnemental de leurs produit. Elle regroupe, selon des indicateurs (épuisement des ressources non renouvelables, gaz à effet de serre, écotoxicité aquatique, acidification etc.), les données sur l'impact environnemental de tout ce qui permet la production et la consommation d'un produit fini, pour les principaux produits de grande consommation vendus en France. La collecte de données est une étape qui peut être délicate car malgré l'existence de bases de données, tous les produits ne sont pas référencés et leur fabrication peut être confidentielle.

3. Evaluation des impacts : Les données collectées pour la création de l'inventaire permettent de procéder à l'évaluation et à la quantification des impacts environnementaux potentiels. Cette qualification s'effectue grâce à des méthodes de calcul défini en fonction du type de produit/service, et du type de critère voulu. Dans ces impacts environnementaux, on a évidemment le changement climatique, l'épuisement des ressources naturelles telles que les ressources fossiles, la consommation d'énergie, la consommation d'eau. Les impacts les plus utilisés pour l'évaluation de la conception sont :

- Le réchauffement climatique, causé par les émissions de gaz à effet de serre des activités industrielle,
- L'empreinte eau lié à la consommation effective d'eau d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie,
 - Le bilan carbone causé aussi par les émissions de gaz à effet de serre.
 - Le bilan énergétique quantifiant la consommation totale d'énergie liée à un produit exprimé en MJ/kg de produit,
 - L'appauvrissement de la couche d'ozone,
 - L'eutrophisation,
 - L'acidification, etc.

Il faut traduire tous ces impacts environnementaux au travers d'un certains nombres d'éco-indicateurs qui vont renvoyer à l'émission de CO₂, la consommations d'énergie, la surface au sol impactées, l'acidification ... Vous avez certainement déjà vu des communications d'entreprises qui vous donnaient, sous forme d'éco-indicateurs, des données sur les impacts environnementaux. Par exemple, au niveau d'une voiture, on peut trouver des informations sur des émissions de CO₂ en équivalent [kg CO₂]. Ces Eco indicateurs donnent une évaluation globale du produit dans son usage sur toutes ses phases de vie. Le problème le plus délicat est la nécessité d'adopter une approche multicritère.

L'évaluation des impacts utilise la classification, la caractérisation, la normalisation et la pondération des impacts. La classification consiste à affecter les flux entrants et sortants du cycle de vie aux différents catégories d'impact. La caractérisation permet d'évaluer la force relative des émissions indésirables et de quantifier la contributions de chaque aspect environnemental. Par exemple pour le réchauffement climatique, le CO₂ est choisi comme référence. Toutes les autres substances provoquant un effet de serre reçoivent un coefficient d'équivalence. Si le méthane a un facteur d'équivalence de 11, ça veut dire que 1 kg de méthane provoque le même effet de serre que 11 kg de CO₂. La normalisation est une étape optionnelle, qui consiste à obtenir une valeur normée afin de la rendre comparable à d'autres valeurs du même domaine. Ainsi il peut être intéressant de ramener certains impacts à une valeur par individu, de cette manière on peut dire, par exemple, que le produit X constitue 1% de tout le CO₂eq attribué à un habitant par an. La normalisation permet

d'obtenir un profil environnemental normalisé composé de indicateurs, un pour chaque catégorie d'impact, ayant une unité commune. Après la normalisation, nous pouvons conclure que par exemple le plus grand impact environnemental du produit X est l'acidification. La pondération est l'étape au cours de laquelle les différentes catégories d'impacts sont pondérées afin d'obtenir un score unique représentant l'impact environnemental globale d'un produit. Elle permet de comparer des produits ayant des profils environnementaux différents.

Plusieurs outils de calculs, alimentée par des bases de données environnementales, sont proposées, pour aider le concepteur à calculer les éco-indicateur de son produit. Par exemple, le logiciel CAO SOLIDWORKS, propose l'outil Sustainability qui permet d'analyser l'impact environnemental d'une conception. Pour cela, il va vous demander de renseigner certaines informations concernant :

- Le procédé de fabrication (durée de vie estimée du produit, énergies utilisées pour la fabrication, pourcentage de rebuts ...),
- Les matériaux (le type de matériaux utilisé),
- L'utilisation du produit (zone de distribution ou d'assemblage),
- Le transport (kilométrage du transport aérien, maritime, ferroviaire, routier),
- La fin de vie (taux de recyclage, d'incinération et de mise en décharge des pièces).

Il affiche ensuite (voir Figure 5-4), sous forme de tableau de bord graphique, l'impact environnemental du produit conçu, pour les différentes étapes du cycle de vie (matériaux, fabrication, utilisation, transport, fin de vie), par rapport à 4 facteurs : empreinte carbone, consommation d'énergie, acidification de l'air et eutrophisation de l'eau. La base de données matériaux GaBi (intégrée à Sustainability) permet de tester plusieurs matériaux et analyser leur impact environnemental.

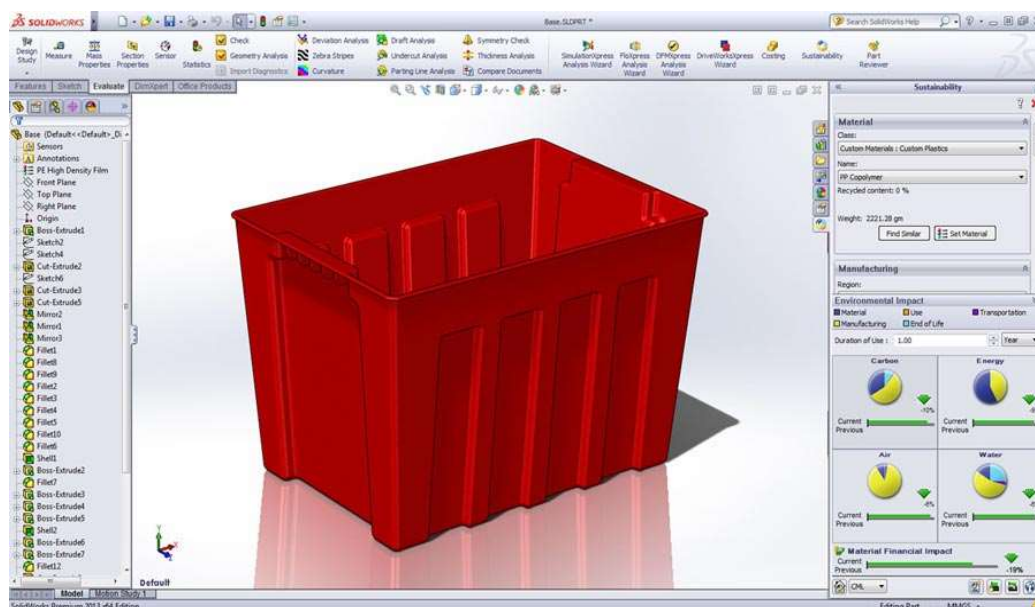


Figure 5-4 : Interface de SOLIDWORKS Sustainability

Une fois la quantification des impacts effectuée, on pourra regarder quelle phase de notre produit entraîne ces impacts, et surtout quelle est la source de ces impacts pour pouvoir ensuite trouver des pistes d'amélioration.

Interprétation des résultats : c'est une phase d'analyse des résultats obtenus, afin d'aboutir à une conclusion et de prendre des décisions, dans le but de répondre aux objectifs définis initialement

dans la première étape de l'étude. Les résultats de l'évaluation s'expriment selon plusieurs indicateurs d'impact : consommation d'énergie primaire renouvelable et non renouvelable, consommation d'eau, production de déchets solides, épuisement des ressources naturelles, changement climatique, destruction de la couche d'ozone, acidification atmosphérique, formation d'ozone photochimique, pollution de l'air et pollution de l'eau ...

5.2 Analyse MIPS d'un pullover pour femme

L'exemple d'ACV que nous allons aborder concerne un pullover pour femme (Figure 5-5) réalisé en plusieurs couleurs. C'est un t-shirt 50/50 polyester/coton produit par Finn Karelia Virke Oy, entreprise finlandaise de vêtements pour femmes et hommes, possédant deux usines : une à Orimattila, en Finlande, et une autre à Konstantynow, en Pologne, et des filiales en Allemagne et en Pologne. Dans un premier temps nous allons présenter la méthode MIPS, ensuite nous allons effectuer le calcul MIPS pour le pullover étudié et enfin nous allons voir comment améliorer l'efficacité matériel et réduire l'impact du pullover sur l'environnement.



Figure 5-5 : Produit étudié, pullover pour femme

5.2.1 La méthode – MIPS

La méthode MIPS est un outil d'évaluation des flux de matières induits par un produit, développé par Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy [26]. MIPS signifie Material Input Per Service unit. C'est une valeur qui fait le lien entre les ressources naturelles consommées par un produit tout au long de son cycle de vie et le bénéfice global qui en découle. Il fournit une approximation qui est néanmoins indicative de l'empreinte écologique potentielle du produit. Plus la valeur MIPS d'un produit est faible, plus son empreinte est faible, car il consommera moins de ressources naturelles par rapport à la quantité de service qu'il produit. MIPS est exprimé sous forme de l'équation :

$$\text{MIPS} = \frac{\text{équivalent matière}}{\text{unité de service}}$$

L'intrant matière, numérateur MIPS fait référence à la quantité totale de ressources naturelles nécessaires à la création et à l'utilisation du produit en question et à la gestion des déchets qu'il génère. Il comprend non seulement les matériaux extraits de la nature nécessaires à sa production, mais aussi tous les matériaux impliqués dans son transport et son emballage tout au long de son cycle de vie. Il

comprend également l'énergie permettant de le produire. L'équivalent matière est exprimé en unité de masse, kilogrammes. Le calcul des intrants matière utilise les facteurs MI (également appelés intensités matière) déjà calculés pour de nombreux matériaux largement utilisés, tels que l'acier, le ciment et le verre, et pour différents moyens de production et de transport d'électricité [27]. Le facteur MI exprime en kilogrammes, la quantité de ressources naturelles nécessaires pour créer un kilogramme de matière ou un kilowattheure ou une tonne-kilomètre. En pratique, l'apport de matière est calculé en multipliant la consommation de matière et d'énergie et les transports du produit par les facteurs MI correspondants. L'unité de service formant le dénominateur MIPS fait référence au service rendu par le produit. Il est défini en se basant sur l'unité fonctionnelle. On peut par exemple utiliser le nombre total de fois où on utilise le produit au cours de son cycle de vie.

5.2.2 Calcul MIPS du pullover

Le calcul du MIPS du pull est décrit étape par étape, il englobe toutes les étapes du cycle de vie du produit. L'unité fonctionnelle choisie est de porter le pull pendant 50 lavage. En effet, on peut, généralement porter un pull suffisamment longtemps avant de le laver. Le cycle de vie du pull se compose donc de sa production, son utilisation, son lavages 50 fois et enfin sa mise au rebut en décharge. Le calcul de l'apport matière commence par lister toutes les matières utilisé pour la fabrication du pullover, ensuite, les matériaux d'emballage sont répertoriés (Tableau 5-1).

Tableau 5-1 : Matériaux utilisé pour la fabrication et l'emballage du pull.

Matériaux et composants	Poids/ produit (kg)	Déchets/ produit (kg)	Poids total (kg)	Facteur MI (kg/kg),	Equivalent matière (kg)
Fil en polyester	0,1155	0,0305	0,146	3,6	0,526
Fil en coton	0,1155	0,0305	0,146	22	3,212
Colorant et produits chimiques	0	0,236	0,236	1,5	0,354
Étiquettes papier	0,0027	0,00002	0,0027	15	0,041
Etiquette sur col	0,0004		0,0004	3,6	0,001
Étiquette polyester	0,0003		0,0003	3,6	0,001
Plastique de découpe		0,0009	0,0009	5,4	0,005
Papier de découpe		0,0026	0,0026	15	0,039
Etiquette identif lot		0,0004	0,0004	15	0,007
Total Partiel : Matériaux utilisé pour la fabrication du pull					4,18
Bobine		0,005	0,005	3	0,014
Plate-forme en bois		0,016	0,016	2,2	0,035
Carton		0,014	0,014	3	0,041
Sac plastique	0,003		0,003	5,4	0,016
Cintres	0,038		0,038	7	0,266
Total Partiel : Matériaux utilisé pour l'emballage du pull					0.37

Le poids de chaque matériau et la quantité de déchets généré par le processus de production, ainsi que le poids des matériaux d'emballage et des déchets d'emballage sont exprimés en kilogrammes et additionnés. Ensuite, le poids total de chaque matériau est multiplié par le facteur MI correspondant. Le résultat obtenue est l'équivalent matière en kilogrammes.

Lors de la phase de production les principales impacts sur l'environnement sont l'Energie consommé par le processus de production du pullover ainsi que par son transport. La consommation électrique est exprimée en kilowattheures et les autres sources d'énergie en kilogrammes (Tableau 5-2). Les équivalents matière sont calculées en utilisant les facteurs MI.

Tableau 5-2 : Consommation d'énergie pour la production du pull.

Électricité (réseau public)	Energie électrique consommé (kWh)	Facteur MI (kg/kWh)	Equivalent matière (kg)
Tricotage	0,2	0,41	0,082
Teinture et finition	0,28	0,41	0,115
Découpe et couture	0,01	0,41	0,004
Total partiel : Consommation d'électricité			0,20
Source d'énergie (pétrole, gaz naturel...)	Poids (kg)	Facteur MI (kg/kg)	Equivalent matière (kg)
Gaz naturel	0,354	1,3	0,46
Total partiel : Consommation autres énergies			0,46

Les distances de transport entre les fournisseurs et l'entreprise et entre l'entreprise et les clients doivent également être prise en compte. Les distances (exprimées en kilomètres) sont multipliées par la masse des marchandises transportées (exprimées en tonnes). Les tonnes-kilomètres sont ensuite multipliées par les facteurs MI. Les différents modes de transport sont traités séparément.

Tableau 5-3 : Transports prévue lors de la fabrication du pullover.

Mode de transport,	Distance (km)	Poids transportés (t)	Distance x poids (t km)	Facteur MI (kg/tkm)	Equivalent matière (kg)
Camion, réception	1523	0,000291	0,443	1	0,443
Navire, réception	1134	0,000291	0,330	0,006	0,002
Camion, livraison	1523	0,000234	0,356	1	0,356
Navire, livraison	1134	0,000234	0,265	0,006	0,002
				Total :	0,80

Lors de l'utilisation du pullover le principal impact est généré par son lavage. Pour l'évaluation de cet impact il faudra faire une Analyse de Cycle de vie de la machine à laver. L'impact de la production de la machine à laver et la consommation d'électricité pendant l'utilisation de la machine doivent être évaluée. Une analyse MIPS a été effectué pour quantifier l'impact de la machine sur l'environnement. L'apport matière pour la production de la machine à laver est de 1588 kg. L'apport de matière causé par son transport est de 35,42 kg et la consommation d'électricité en phase de sa production est de 22,55 kg. L'équivalent total matière de la machine à laver est donc de :

$$1588 \text{ kg} + 35,42 \text{ kg} + 22,55 \text{ kg} = 1645,97 \text{ kg.}$$

Pour plus de détails voire le livre de Zbicinski et all [20]. Puisqu'une machine à laver peut effectuer plusieurs lavages durant son cycle de vie et qu'on peut laver plusieurs vêtements lors d'un même lavage, l'équivalent matière de la machine doit être allouée par pull. On suppose que la machine à laver peut laver 2 000 fois au cours de son cycle de vie et qu'on peut introduire dix pulls lors d'un même lavage dans la machine à laver. De plus on sait qu'un pull pourra être lavé 50 fois au cours de

son cycle de vie. Cela signifie que le lavage d'un pull durant son cycle de vie consomme en ressources naturelles : $(1645,97 \text{ kg} / 2000 \times 10) \times 50 = (0,823 \text{ kg} / 10) \times 50 = 0,0823 \text{ kg} \times 50 = 4.115 \text{ kg/pull}$.

Tableau 5-4 : Consommation d'électricité lors du lavage du pull (à +40°C, 50 fois).

Électricité (réseau public)	Energie électrique consommé (kWh)	Facteur MI (kg/kWh)	Equivalent matière (kg)
Électricité	9,81	0,41	4,02
		Total :	4,02

La consommation électrique pendant l'utilisation de la machine à laver doit également être prise en compte (Tableau 5-4). Si un pull est lavé 50 fois à +40°C au cours de son cycle de vie, 9,81 kWh d'électricité sont consommés. Cela correspond à 4,02 kg de ressources naturelles. Le MIPS de la machine à laver est de 8,14 kg/vêtement (si on néglige l'impact à la fin de vie)

Tableau 5-5 : Élimination des déchets générés par un pull

Élimination des déchets	Poids/produit (kg)	Facteur MI (kg/kg)	Equivalent matière (kg)
Dépôt de décharge	0,231	1,1	0,25
		Total :	0,25

On suppose que le pull finira dans une décharge à la fin de son cycle de vie. L'apport de matière relatifs au traitement des déchets est calculé dans le Tableau 5-5.

Tableau 5-6 : Flux de matières tout au long du cycle de vie du pull.

Matériaux	Equivalent matière (kg) /pull	%
Matériaux	4,18	29,0
Matériaux d'emballage	0,37	2,6
Sous-total	4,55	31,6
Production	Equivalent matière (kg) /pull	%
Consommation d'électricité	0,20	1,4
Consommation autres énergies	0,46	3,2
Transports	0,8	5,6
Sous-total	1,46	10,2
Utilisation	Equivalent matière (kg) /pull	%
Lave-linge	4,12	28,6
Consommation électrique du lave-linge	4,02	27,9
Sous-total	8,14	56,5
Fin de vie	Equivalent matière (kg) /pull	%
Dépôt en décharge	0,25	1,8
Sous-total	0,25	1,8
Total	14,40	100

Les intrants matière du pullover tout au long de son cycle de vie sont résumés dans le Tableau 5-6. Environ 57 % de la consommation de ressources provient de l'utilisation du pull. Environ 32 % de la consommation de ressources correspond aux matériaux, seuls 10 % est causée par la production. La fin de vie et le traitement des déchets ne cause que 2% de la consommation de ressources du pull.

Afin de calculer une valeur MIPS, l'unité fonctionnelle doit être définie. Dans le cas d'un pull, l'unité définie est le nombre de fois que le pull est lavé au cours de son cycle de vie. Comme mentionné, il est supposé que le pull puisse être lavé 50 fois au cours de son cycle de vie. Par conséquent, la valeur MIPS du pull est : $MIPS = MI/S = 14,40 \text{ kg}/50 \text{ lavages} = 0,288 \text{ kg/cycle de lavage} \approx 0,3 \text{ kg/cycle de lavage}$

5.2.3 Réduction du MIPS et amélioration de l'efficacité des matériaux

Afin d'augmenter l'efficacité matérielle du produit, la valeur MIPS doit être réduite. Ceci peut être réalisé soit en diminuant l'apport de matière, soit en augmentant la quantité de service rendu par le produit. L'apport de matière du produit peut être diminué ; en changeant les matériaux du produit, en diminuant la quantité de déchets de production, en optimisant l'emballage, en diminuant la consommation d'énergie ou en minimisant les transports. Le service du produit peut être augmenté en prolongeant la durée de vie du produit et en améliorant sa polyvalence. Par exemple, si le coton est remplacé par de la viscose au niveau du pull, l'apport de matière passerait de 14,4 kg à 11,9 kg par pull. Si le pull était entièrement en coton, son apport en matière serait d'environ 16,8 kg par pull. Ainsi, la stratégie d'utilisation de textiles mixtes choisie par le Finlandais Karelia Virke Oy peut être considérée comme économe en ressources. Le consommateur peut également affecter la valeur MIPS. Mettre dix pulls lors d'un lavage, comme le suppose le calcul, n'est pas la meilleure solution. Veiller à remplir la machine pour laver le linge est un bon moyen pour diminuer le MIPS. Il est également important de préserver le pull et d'éviter les lavages inutiles. De cette façon, il est possible de prolonger la durée de vie du pull et réduire la consommation d'électricité en phase d'utilisation. La stratégie choisie par le Finlandais Karelia Virke Oy de produire des textiles pouvant être lavés à basse température permet d'économiser en ressources. Le séchage du pull dans un sèche-linge augmenterait l'apport matière. De plus, la production de textiles moins enclins aux changements rapides de la mode permettrait d'assurer l'efficacité des ressources.

D'une façon générale et c'est la difficulté de l'exercice, il n'y a pas une recette unique pour intégrer l'écoconception dans le processus de conception des nouveaux produits. Il va falloir travailler sur mesure, l'objectif étant de mettre en place toute une démarche qui soit acceptée par l'entreprise, par ses acteurs, qui corresponde bien à sa culture et qui permette de travailler de façon systématique sur le produit. Le meilleur des processus du monde, s'il n'est pas accepté dans l'entreprise et pas mis en œuvre, n'a évidemment aucun intérêt.

6 Bibliographie

- [1] André P. et Al, L'évaluation des impacts sur l'environnement, Quebec: 3e édition: processus, acteurs et pratique, Presses internationales Polytechnique, 2010, p. 398.
- [2] A. Foulet, Application de l'analyse du cycle de vie lors de la conception de matériaux poreux à partir de la biomasse, Bordeaux: Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux, École doctorale des sciences chimiques, Spécialité : chimie analytique et environnement, 2015.
- [3] M. Pidwirny et S. Jones , «FUNDAMENTALS OF PHYSICAL GEOGRAPHY,» University of British Columbia Okanagan,, 20 04 2010. [En ligne]. Available: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9r.html>.
- [4] Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables Français, Catastrophes environnementales, préparer l'évaluation de leurs effets et le retour d'expérience, Paris: Comité de la prévention et de la précaution, février 2008..
- [5] Dahir n° 1-14-09 du 4 jourada I 1435 (6 mars 2014) portant promulgation, «Loi-cadre n° 99-12 portant Charte Nationale de l'Environnement et du Développement Durable,,» B.O. n° 6240 du 18 jourada I 1435, 20 mars 2014.
- [6] N. Zarrouk, «Les Services publics locaux : notion et modes de gestion,» *La lettre des Collectivités Locales, Bulletin d'Information Trimestriel de la Direction Générale des Collectivités Locales*, n° %110, pp. 9-11, 2004.
- [7] M. PERSONNE, «Contribution à la méthodologie d'intégration de l'environnement dans les PME-PMI : Évaluation des performances environnementales,» Thèse Doctorat. Institut national des sciences appliquées INSA de Lyon, Lyon, 1998.
- [8] Dahir n° 1-03-59 du 10 rabii I 1424 (12 mai 2003) portant promulgation, «Loi n° 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement.,» B.O. n° 5118 , 19 juin 2003.
- [9] Dahir n°1-03-60 du 10 rabii I 1424 (12 mai 2003), portant prtomulgation , «Loi n°12-03 relative aux études d'impact sur l'environnement,» BO n°5118 , 19/06/2003, p. 507.
- [10] B. Belkourati, «Procédure d'élaboration des projets de textes législatifs et réglementaires au Maroc - Secrétariat Général du Gouvernement,» 12 12 2011. [En ligne]. Available: <http://www.oecd.org/mena/governance/37788789.pdf>. [Accès le 25 11 2019].
- [11] Secrétariat général du Gouvernement, Guide de légistique, Paris : La Documentation française, 2017.
- [12] S. Karapetrovic et M. Casadesus, «Implementing environmental with other standardized management systems: Scope, sequence, time and integration,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, p. 533–540., 2009.
- [13] S. Faucher, Système intégré de management ; qualité sécurité environnement., Afnor, 2006.
- [14] Electricité De France EDF., « Développement durable - Normalisation et environnement,» *Norm Infos didactiques*, n° %18, Juillet 2003.
- [15] E. Moronvalle, «Le cycle de vie du produit,» ExpertinBox, 07 2013. [En ligne]. Available: <https://www.expertinbox.com/2013/07/18/le-cycle-de-vie-du-produit/>. [Accès le 03 2016].

- [16] K. T. Ulrich et S. D. Eppinger, *Product Design and Development*, New York: McGraw-Hill, Fifth Edition, 2008.
- [17] J. Woo, «A short History of the development of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology,,» 2020. [En ligne]. Available: <https://www.ob-ultrasound.net/index.html>. [Accès le 12 10 2020].
- [18] J. K. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, 2004.
- [19] D. Cavallucci, «TRIZ : l'approche altshullerienne de la créativité,» *Techniques de l'Ingénieur, traité Génie industriel*, n° %1A 5 211 - 1, 1999.
- [20] I. Zbicinski, J. Stavenuite, B. Kozłowska et H. P. van de Coevering, , *Product Design and Life Cycle Assessment*, Uppsala, suède,: The Baltic University Press, Book 3 in a series on Environmental Management,, 2006.
- [21] Herman Miller. , «Setu by Studio 7.5 [Vidéo]. YouTube,» 10 11 2009. [En ligne]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=y6rR10yC1wY>.
- [22] H. Brezet et C. Van Hemel, *Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption.*, Paris, France: UNEP, 1997.
- [23] C. Telenko, C. C. Seepersad et M. E. Webber, «A Compilation of Design for Environment Principles and Guidelines,,» chez *ASME 2008 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*,, New York, USA, August 3-6, 2008.
- [24] MBDC McDonough Braungart Design Chemistry, «BUILT ENVIRONMENT Herman Miller,» MBDC, 2021. [En ligne]. Available: <https://mbdc.com/case-studies/herman-miller/>.
- [25] ADEME, «Base IMPACTS ®,» Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 24 07 2020. [En ligne]. Available: <http://www.base-impacts.ademe.fr/>.
- [26] M. Ritthoff, H. Rohn et C. Liedtke, «Calculating MIPS. Material productivity of products and services. Wuppertal Spezial 27e,» Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy at the Science Centre North Rhine-Westphalia. 52 p., 2002. [En ligne]. Available: <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/1577/file/WS27e.pdf> . [Accès le 2020].
- [27] Wuppertal, «Material intensity of materials, fuels, transport services, food,» Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 3rd February 2014. [En ligne]. Available: https://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/MIT_2014.pdf. [Accès le 2020].