

(Semestre 1)

Spécialité : Génie Industriel – Management Industriel et logistique.

Intitulé du module :

Écoconception

1^{ère} Management Industriel et Logistique
Génie Industriel



Par Dr. Naima BOUBOU.

Experte en gestion conseil - spécialiste des projets à vocation technologique et des projets en économie verte

Polycop élaboré par :
Dr. BOUBOU-BOUZIANI Naima.

Préambule :

Le contexte mondial actuel caractérisé par une mondialisation généralisée des biens et services engendre la nécessité pour les entreprises d'un pays de miser sur l'innovation et la créativité pour assurer sa croissance. À cela s'ajoute le volontarisme collectif de s'engager dans une démarche de développement durable, comme le témoigne la signature d'accords multilatéraux dans ce domaine.

L'éco conception se pose donc en tant que réponse à cette donne, alliant créativité, innovation et respect de l'environnement. Néanmoins, l'adoption de stratégies liées à l'environnement suscite encore un scepticisme auprès d'industriels parce qu'ils doutent de sa rentabilité. En effet, de tous les leviers favorisant l'intérêt pour l'éco conception, c'est l'argument économique auquel la majorité des entreprises est le plus sensible. Il s'agit d'intégrer l'éco conception dans les priorités de l'entreprise.

Le module « **écoconception** » intervient en 1^{ème} semestre de la spécialité « **Génie Industriel – Management Industriel et logistique** » (Deuxième année du second cycle). Cette formation s'articule essentiellement autour d'enseignements à la fois en ingénierie des systèmes industriels et en sciences fondamentales et techniques, ainsi qu'en disciplines transversales. C'est une formation d'ingénieurs ayant des aptitudes d'intégration et d'adaptation en entreprise et pouvant répondre à toute préoccupation dans le domaine du management industriel à savoir les sciences, la technologie, management des opérations et de la production (Logistique, ordonnancement, gestion de projets etc...), management de projets et d'innovation et l'amélioration continue.

Ce cours est représenté sous la forme du présent polycop élaboré par le Docteur BOUBOU Naima, Maître de conférences classe « A » en Management.

Sommaire:

Préambule	2
Sommaire	3
Introduction générale.....	4
Partie 1: Le pourquoi d’une réflexion sur l’écoconception.....	5
Partie 2: Introduction à l’écoconception et aux problématiques énergétiques et environnementales.....	14
Partie 3: Ecoconception et entreprise.....	26
Partie 4: Etapes et niveaux d’écoconception.....	32
Partie 5: Outils d’écoconception.....	42
Partie 6: Analyse et réalisation d’un inventaire d’un cycle de vie.....	58
Partie 7: Développement durable, TIC et écoconception.....	67
Conclusion générale.....	73
Bibliographie.....	74
Table des matières.....	76

Introduction générale

L'**écoconception** est une approche nouvelle qui consiste à intégrer les principes du développement durable à toutes les étapes du cycle de vie d'un produit. Elle peut être appliquée à tous types de marchandises, et s'adapte aux spécificités de chaque entreprise.

Cette **démarche écologique** incite les entreprises à s'interroger sur l'impact négatif des produits sur l'environnement et la santé humaine. Elle permet de développer des alternatives durables, sans renoncer à la qualité du produit fini. Si elle doit parfois concilier des objectifs contradictoires, l'écoconception représente une véritable **source d'innovation et de croissance**.

Elle vise à minimiser les impacts environnementaux des produits et services dès leur conception et sur l'ensemble de leurs chaînes de valeur. Elle prend en compte l'ensemble des effets sur l'environnement : consommation d'eau, d'énergie, de matières premières, impacts sur la biodiversité, sur le réchauffement climatique...et elle touche toutes les étapes du cycle de vie du produit ou service : depuis la fourniture de matières premières en passant par la fabrication, la logistique, l'utilisation et jusqu'à la fin de vie.

L'**écoconception** est une démarche destinée à proposer des **produits ou des services plus durables**. Cette approche écologique part d'un constat sans appel : les modes de consommation actuels ne sont pas compatibles avec les objectifs de réduction de gaz à effet de serre pris à l'échelle mondiale.

Partie 1:

Le pourquoi d'une réflexion sur l'écoconception

1. Introduction :

Dans un monde confronté au défi du changement climatique et de la raréfaction des ressources, l'écoconception s'impose comme une solution clé. Ce concept consiste à intégrer les critères environnementaux dès la conception du produit, service ou système, afin de minimiser leur impact écologique tout au long de leur cycle de vie (Baudry, 2020). IL se s'agit pas seulement de protéger l'environnement, mais aussi d'optimiser les performances économiques et de répondre aux attentes des consommateurs et des réglementations

Les entreprises publiques et privées sont aujourd'hui concernées par les problèmes environnementaux tels que le changement climatique, la destruction de la couche d'ozone, l'épuisement des ressources, l'eutrophication, l'acidification, l'écotoxicité, la distribution des terres, etc. Donc il y a une nécessité de changement de techniques de production, réduction de l'utilisation des matières et d'énergie et des modifications dans les produits finis.

Face à l'émergence de ces problématiques environnementales issues des activités humaines, l'écoconception s'attache à offrir une réponse satisfaisante dans le domaine de la conception de produits et services. Cette réponse qui repose sur une approche globale et multicritère de l'environnement est fondée sur la prise en compte de toutes les étapes du cycle de vie d'un produit.

2. Définition de l'écoconception :

L'écoconception désigne la conception de produits en intégrant des critères environnementaux dès la phase de création, de manière à réduire les impacts écologiques tout au long de leur cycle de vie. Cela inclut des étapes comme la sélection des matériaux, les procédés de fabrication, l'emballage, l'utilisation, ainsi que la fin de vie du produit, en visant à limiter les ressources utilisées et à faciliter le recyclage. La prise en compte de l'environnement dès la phase de conception permet non seulement de réduire les coûts mais aussi d'améliorer l'image de l'entreprise et de répondre aux exigences réglementaires.

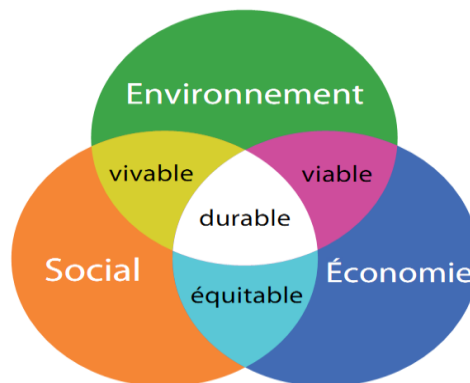
3. Pourquoi l'écoconception

Produire des biens jetables et non réparables, surconsommer, acheter des marchandises fabriquées de l'autre côté de la planète, tous ces comportements doivent évoluer. Afin de réduire l'impact négatif des produits et services sur l'environnement, il est essentiel de **développer une offre alternative.**

L'écoconception s'inspire directement des grands principes fondateurs du développement durable, à savoir :

- 6 La **solidarité** entre les populations et le partage des ressources naturelles de la planète ;
- 6 La **précaution**, qui consiste à agir pour préserver l'environnement contre des dommages éventuels ;
- 6 La **responsabilité**, qui implique d'assumer les conséquences de ses actes sur l'environnement ;
- 6 La **participation** de tous à la protection de l'environnement et à la préservation des ressources naturelles.

Figure 1 : schéma du développement durable



Sources : Rapport Bruntland, 1987

4. Objectifs de l'écoconception

L'écoconception s'inscrit avant tout dans une démarche écologique. Elle permet de contribuer à **alléger le bilan carbone des entreprises**, et en conséquence celui des consommateurs. Elle accompagne une prise de conscience généralisée qu'il faut consommer moins, mais mieux. Elle remet le produit ou le service au centre de l'acte d'achat.

“Un produit bien conçu est un produit qui respecte l'environnement et les attentes des utilisateurs” (VERCUEIL, 2021)

Plutôt que de se concentrer uniquement sur sa fabrication ou son utilisation, l'écoconception développe une approche plus globale. Elle offre une **vue d'ensemble de la pollution générée par un produit** ou un service tout au long de sa durée de vie. Elle prend en compte toutes les grandes étapes du cycle de vie, soit :

- La conception (quel produit, pour qui, pour quel usage et avec **quelles ressources** ?) ;
- La fabrication (**consommation d'énergie**, ressources nécessaires à la production, etc.) ;
- Le transport (distance entre le site de production et les distributeurs/consommateurs, moyen de transport utilisé) ;
- L'utilisation du produit ou du service par le consommateur ;
- La fin de vie (**recyclage et valorisation des matières premières**).

5. Les avantages de l'écoconception :

Cette démarche s'attache à étudier le cycle de vie du produit pour en minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et minimiser l'empreinte écologique. De la matière première jusqu'à sa fin de vie, en passant par sa consommation d'énergie, chaque étape est analysée pour réduire les effets nocifs.

Elle autour de plusieurs axes, dont la réduction de la consommation d'énergie, la limitation des ressources utilisées, et la diminution des déchets générés.

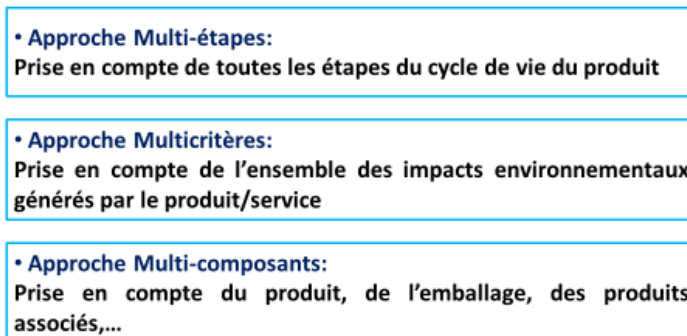
- A. Réduction des impacts environnementaux :** en optimisant la consommation d'énergie, en sélectionnant des matériaux moins polluants, ou en améliorant la recyclabilité des produits, les entreprises peuvent significativement diminuer leur empreinte environnementale (GIROD, 2019).
- B. Optimisation du cycle de vie des produits :** en pensant à la fin de vie du produit dès sa conception, les entreprises peuvent anticiper les problématiques de recyclage ou de valorisation.
- C. Positionnement stratégique :** dans un marché de plus en plus concurrentiel, l'écoconception permet aux entreprises de se positionner comme acteurs responsables, attirant ainsi une clientèle soucieuse de l'environnement.
- D. Anticiper les contraintes réglementaires :** l'ADEME et d'autres organismes internationaux encouragent fortement cette démarche. Les régulations étant de plus en plus strictes, les entreprises anticipent les contraintes futures en adoptant l'écoconception.
- E. Répondre à la demande des consommateurs :** les consommateurs sont de plus en plus conscients des enjeux environnementaux. Ils recherchent des produits dont

l'impact sur l'environnement est faible, faisant de l'écoconception un avantage concurrentiel pour les entreprises.

6. Une approche globale du concept :

L'écoconception est une approche **multi étapes, multi critères et multi composants**

Figure 2 : approches de l'écoconception

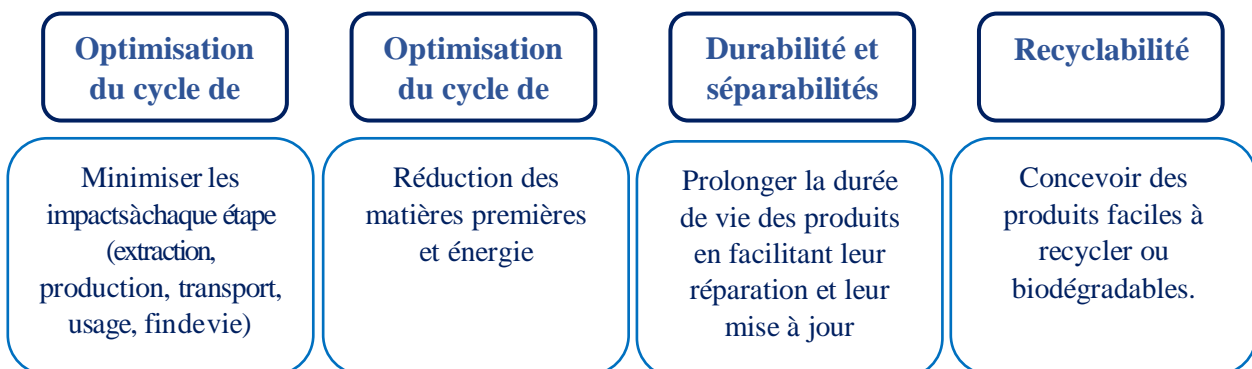


Sources : établi par l'auteure

7. Les principes de l'écoconception :

Selon GIROD (2019), elle repose sur les principes suivants :

Figure 3 : Les principes de l'écoconception



Sources : GIROD, 2019

8. Approche produit et la norme ISO 14062 :

L'écoconception n'est pas une nouvelle méthode de conception, mais l'intégration de l'environnement dans les méthodes classiques de conception. C'est une approche en développement depuis les années 1990.

L'ISO 14062 est le standard normatif de l'écoconception : cette norme décrit les concepts et les pratiques ayant trait à l'intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits ou services. Cette norme est principalement destinée aux concepteurs et développeurs de produits. Elle énonce les principes de base pour prendre en compte l'environnement lors de la phase de conception de produits.

L'idée générale, reprise dans cette norme est de mettre en place un processus basé sur :

- L'amélioration continue ;
- Le retour d'expérience.

9. Cycle de vie d'un produit

Chaque produit suit un cycle de vie, de l'extraction des matières premières pour le fabriquer, en passant par sa fabrication, jusqu'à sa fin de vie.

A chacune des étapes de ce cycle, il y a des impacts sur l'environnement : **épuisement des ressources, pollution de l'air, de l'eau des sols, ...**

L'écoconception intègre les principes de **Prévention** et de **Précaution** et porte sur tous les sites et étapes **de production, transport, usage et élimination et sur le produit ou service, mais aussi sur les emballages, commodités de transport, d'usage et de recyclage, l'utilisation de produits toxiques, explosifs, dangereux, etc.**

L'objectif est de prioriser les impacts environnementaux les plus importants

Figure 4 : Cycle de vie d'un produit



10. Choix de stratégies d'éco conception

La stratégie d'éco conception peut être considérée comme une ligne directrice destinée à tenir compte du comportement d'un produit vis-à-vis de l'environnement, au cours de son cycle de vie. C'est une intervention de conception qui doit, en général, avoir comme objectif principal l'optimisation de la répartition des flux de ressources et des émissions par le moyen de :

- La réduction des volumes de matériaux utilisés et l'extension de leur durée de vie,
- La fermeture des cycles de flux des ressources grâce à des interventions de récupération,
- La réduction au minimum des émissions et de la consommation d'énergie dans la production, l'utilisation et l'élimination.

11. Conclusion :

L'écoconception est une approche qui aide à réduire les déchets, utiliser les ressources de manière plus efficace et allonger la vie des produits. Selon LEHMAN (LEHMAN, 2022), elle fait partie de l'économie circulaire et aide les entreprises à relever les défis environnementaux tout en étant rentables. Wilson (WILSON, 2020) montre que l'écoconception stimule l'innovation durable en transformant les problèmes écologiques en opportunités d'affaires. Elle permet aux entreprises de répondre à la demande de produits responsables tout en restant compétitives et en respectant l'environnement, l'écoconception est donc devenue une véritable stratégie de développement durable pour les entreprises

Hélas, Certaines entreprises hésitent encore à adopter l'écoconception en raison de la complexité des processus et du manque de sensibilisation (CAZALOT & LEMOINE, 2018).

Partie 2:

Introduction à l'écoconception et aux problématiques énergétiques et environnementales

1. Introduction :

La conjoncture économique, le réchauffement climatique et la question de l'indépendance énergétique rendent incontournables les acteurs des énergies renouvelables dans le monde. La croissance impressionnante du marché mondial des énergies éolienne, solaire ou tirée de la biomasse et le développement de ces secteurs offre des alternatives sûres de développement durable pour les pays. La recherche et le développement s'en trouvent également stimulés (BOUBOU, 2017).

La transition énergétique constitue un enjeu majeur face aux défis climatiques actuels et à la raréfaction des ressources fossiles. Deux axes essentiels se dessinent pour relever ce défi : l'efficacité énergétique, qui vise à réduire les pertes et optimiser l'utilisation des ressources, et les énergies renouvelables, comme l'éolien et le solaire, qui offrent des alternatives durables

2. Problèmes énergétiques et environnementaux :

Avec un degré de certitude de 90%, les plus grands scientifiques s'accordent à dire que le réchauffement climatique a pour origine: l'être humain (PENNEQUIN G. & MOCILNIKAR A. T. 2011). Ces changements climatiques provoquent, entre autres, des sécheresses en Méditerranée et les pays en situation de stress hydrique y sont de plus en plus nombreux tandis que les besoins de leurs populations ne cessent de croître. Le nombre de personnes y disposant de moins de 1000 m³ par habitant et par an (situation de pénurie chronique), s'élève à 108 millions dans les pays du pourtour Méditerranéen (PNUE, 2007) et pourrait atteindre 165 millions en 2025 en raison de la croissance démographique que connaît la région. L'augmentation de la population méditerranéenne suppose une intensification de l'usage des ressources physiques, notamment **l'eau et l'énergie** et les nuisances environnementales croissent dramatiquement

2.1 Les enjeux environnementaux :

Nos choix en matières de consommation, de production et d'énergie ont des impacts sur l'écosystème et sur le fonctionnement général de la planète.

Le réchauffement climatique entraîne des **gaz à effet de serre**.

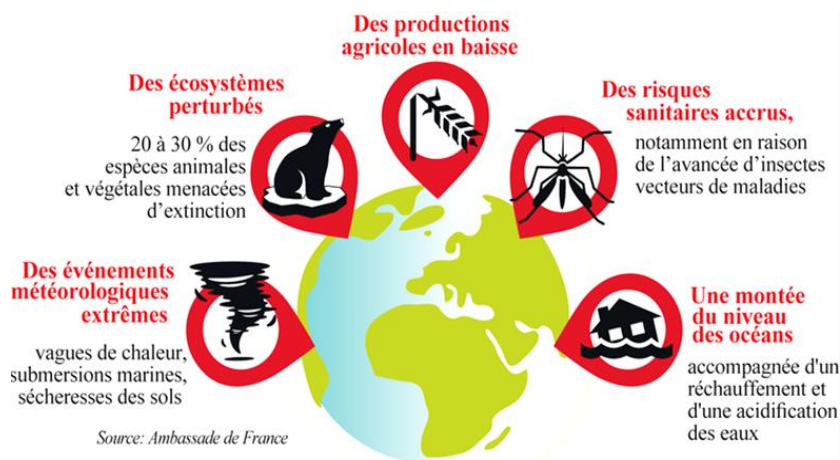
Ces gaz se retrouvent dans la couche **stratosphérique** et empêchent la réflexion **des rayons infrarouges** pour repartir dans l'espace. En Conséquences:

1. Accélération de la fonte des glaces avec augmentation du niveau de la mer

2. Déséquilibre ionique avec augmentation de l'acidité, son PH entraine une modification de l'écosystème marin.

Les carburants sont les principaux responsables du **réchauffement**. Les scientifiques s'accordent à penser que pour éviter la zone de plus grand danger, il faudrait absolument contenir celui-ci en dessous de **2°C**, et si possible à **1,5°C**. Pour se faire, il faudrait stabiliser la quantité de **CO₂** présente dans l'atmosphère, ce qui implique une réduction significative de nos émissions.

Figure 5 : Conséquences du réchauffement climatique



Source : cité par BOUBOU, 2019

2.2 Raréfaction des ressources :

Les biens et services que l'homme produit nécessite des ressources. L'eau, l'énergie, les matières premières et matériaux transformés exercent une pression sur les ressources naturelles.

- Criticité sur la disponibilité de certains matériaux comme **l'aluminium** d'où la **promotion de la réutilisation (recyclage)**
- D'autres matériaux sont de plus en plus difficiles à atteindre comme **le gallium** utilisé sur les panneaux photovoltaïques, ou **l'indium** utilisé sur les écrans LCD, ...
- Criticité sur la disponibilité des **terres RARES**.
- Augmentations des prix de certains matériaux comme **l'Or**

Figure 6 : Etat des ressources



Source : établis par l'auteure

2.3 Lien entre efficacité énergétique et énergies renouvelables :

“Les deux approches sont complémentaires. Une meilleure efficacité énergétique réduit la demande d'énergie, facilitant ainsi l'intégration des énergies renouvelables.” (LUND, 2014). Par exemple, l'amélioration de l'efficacité des bâtiments permet de mieux exploiter les ressources renouvelables disponibles et de réduire les coûts énergétiques. La gestion intelligente de l'énergie (smart grids) aide à intégrer efficacement ces deux éléments dans les réseaux électriques

Cependant, ces deux approches ne suffisent pas individuellement. Comme le souligne HERRING (2017), «les gains d'efficacité énergétique peuvent être renforcés en combinant ces efforts avec des investissements dans les énergies renouvelables pour créer un système énergétique intégré».

3. Energies et énergies renouvelables:

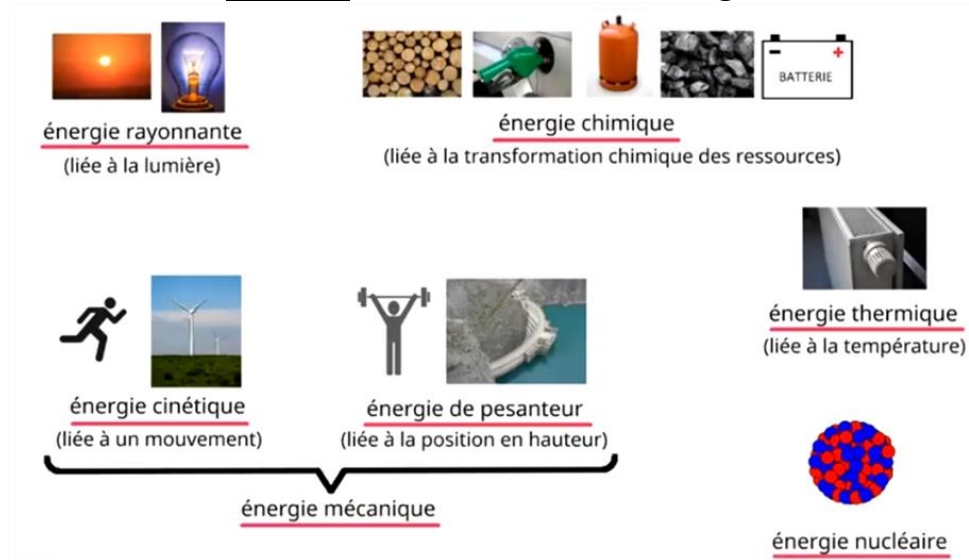
Au cours de la première moitié du XIX^e siècle, les découvertes se sont succédé dans un ordre opposé à celui que nous estimons actuellement logique ou pédagogique. C'est ainsi qu'avec les études de **Joseph FOURIER (1768-1830)** sur la *propagation de la chaleur*, la notion de **flux d'énergie**, qui sous-tend la dynamique des processus irréversibles, est apparue une cinquantaine d'années avant celle d'énergie. Le concept d'énergie ne fut introduit en toute généralité qu'en 1847 Par le médecin prussien **Hermann VON HELMHOLTZ (1821-1892)**.

L'énergie est une grandeur en physique qu'on peut mesurer. **C'est par, définition, la grandeur qui caractérise le changement d'état d'un système.** Elle obéit à un certain nombre de lois en physique. L'énergie résulte de:

1. Une modification de température
2. Une modification de la vitesse
3. Une modification de forme
4. Une modification de la composition chimique
5. Une modification de la position dans un champ (magnétique, électrique, gravitationnel)
6. Un changement de composition atomique
7. Interaction entre matière et rayonnement

L'énergie n'est donc rien d'autre que l'unité de compte de la transformation du monde qui nous entoure.

Figure 7 : Différentes formes d'énergies



La transition énergétique constitue un enjeu majeur face aux défis climatiques actuels et à la raréfaction des ressources fossiles. Deux axes essentiels se dessinent pour relever ce défi : l'efficacité énergétique, qui vise à réduire les pertes et optimiser l'utilisation des ressources, et les énergies renouvelables, comme l'éolien et le solaire, qui offrent des alternatives durables.

Cependant, ces deux approches ne suffisent pas individuellement. Comme le souligne Herring (2017), « les gains d'efficacité énergétique peuvent être renforcés en combinant ces efforts avec des investissements dans les énergies renouvelables pour créer un système énergétique intégré »

3.1. Définition de l'énergie :

D'après le dictionnaire de l'Académie française, énergie vient du grec **energeia**, « **force en action** ».

- Pour les scientifiques et les ingénieurs**, ce terme désigne **la capacité qu'a un corps, un système, de produire un travail susceptible d'entraîner un mouvement, une production de chaleur ou d'ondes électromagnétiques (dont la lumière).**
- En thermodynamique**, on distingue deux principales formes d'énergie : **le travail** (énergie fournie par une force lorsque son point d'application se déplace, souvent énergie cinétique macroscopique ou énergie électrique) et **la chaleur** (énergie cinétique microscopique).
- En économie**, on désigne par énergie tant **la matière première ou le phénomène naturel pouvant fournir un travail, que le travail ainsi produit et le secteur**

d'activité chargé de sa conversion (production de combustibles et de carburants comme l'extraction de houille, de lignite, de tourbe, d'hydrocarbure ou de minerais d'uranium, cokéfaction et industrie nucléaire, raffinage de pétrole).

3.2. Mesure de l'énergie :

- a) **Pour les physiciens**, l'énergie se mesure simplement en joules ou en ses multiples : méga, giga, Téra (soit 1000 gigas).
- b) **Pour un électricien**, on utilisera plutôt le Watt-heure ou ses multiples (un Watt-heure WH vaut 3600 joules).
- c) **Concernant les économistes**, ces derniers utilisent comme unité de mesure la tonne équivalent-pétrole (TEP), qui est l'énergie dégagée par la combustion d'une tonne de pétrole.

Tableau 1 : Équivalences entre les unités d'énergies les plus courantes.

Unité de mesure	Giga joules	Giga wattheure GWh	Tonne équivalent pétrole
1 GJ	1	2,78 x 10 ⁻³	0,0238
1 GWh	3600	1	85,7
1 TEP	42	0,0117	1

Source : établi par l'auteure

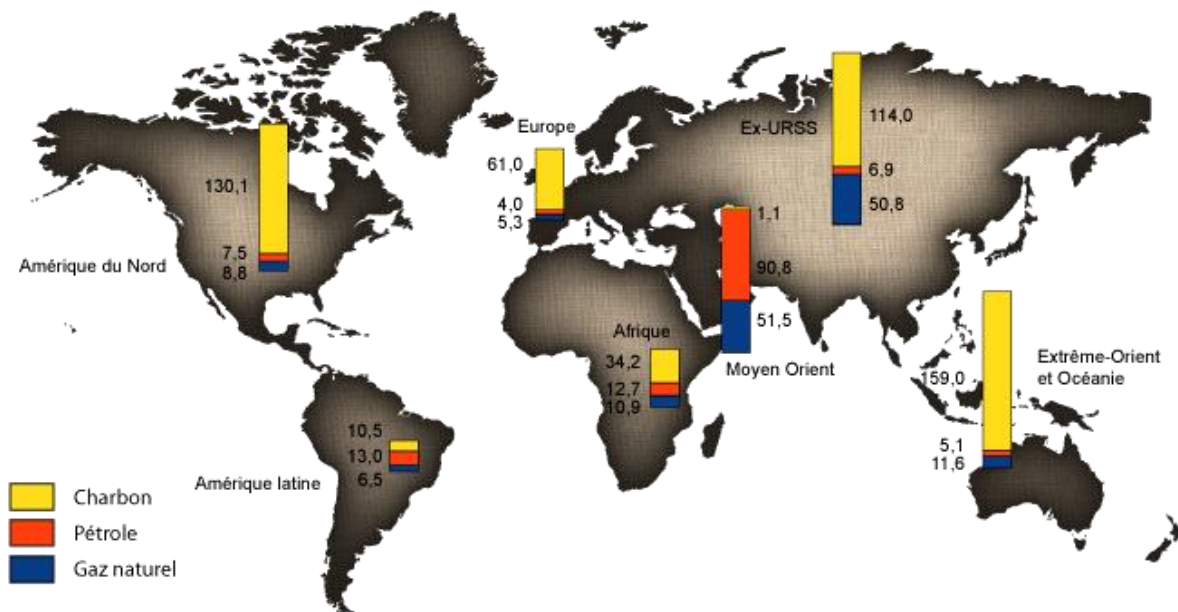
4. Types d'énergies :

Aujourd'hui l'énergie utilisable par l'homme se présente sous de formes multiples : les **énergies fossiles, l'énergie nucléaires et les énergies renouvelables**

4.1. Les énergies fossiles :

Désignent l'énergie produite à partir de composés issus de la décomposition sédimentaire des matières organiques, c'est à dire principalement composés de carbone. Elles englobent: **le pétrole, le gaz naturel et le charbon.**

Figure 8 : Quantité des ressources d'énergies fossile prouvées et probables par groupe géographique (en milliards de TEP)



4.2. L'énergie nucléaires :

Une réaction nucléaire, en transformant les édifices des noyaux atomiques, s'accompagne d'un dégagement de chaleur. C'est ce mécanisme qui produit au cœur du Soleil, par fusion des noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium, la chaleur qui sera ensuite rayonnée. Une partie de la chaleur produite (33%) est convertie en électricité.

L'énergie nucléaire est de loin une forme d'énergie beaucoup plus concentrée, puisque 1 kg d'uranium naturel fournit une quantité de chaleur de 100000 kWh dans une centrale électrique courante. Elle est aussi celle qui produit le moins de gaz à effet de serre

4.3. Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables désignent les sources d'énergie qui se régénèrent naturellement à un rythme supérieur à leur consommation. Elles incluent principalement l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et la biomasse. Ces sources sont considérées comme durables car elles ne s'épuisent pas à l'échelle humaine et ont un impact environnemental beaucoup moins important que les combustibles fossiles. Elles permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de contribuer à la transition énergétique vers des systèmes plus écologiques et résilients. Elles se présentent comme suit:

- a) L'énergie solaire

- b) L'énergie éolienne
- c) L'énergie hydraulique ou hydroélectricité
- d) La biomasse
- e) La géothermie (utilise la chaleur du sous-sol)

Tableau 2 : avantages et inconvénients des différents types d'énergies

		Définition	Incidences sur la pollution et inconvénients.	Intérêts
Énergie renouvelables	Énergie solaire	Le soleil reflète vers la Terre 6 700 fois plus d'énergie que l'humanité n'en utilise	Peu d'incidences	Ne contribuent pas au renforcement de l'effet de serre (pas de rejets de CO ₂ ou de méthane), aux pluies acides (pas de rejets de soufre ou d'azote), et à la production de déchets toxiques ou radioactifs.
	Énergie hydraulique	Une éolienne d'une puissance de 1 MW produit annuellement l'équivalent de la consommation électrique de 1000 à 1500 foyers	La construction d'un barrage hydroélectrique, en inondant une vallée entière, modifie l'écosystème local.	
	Énergie éolienne	<p>L'énergie hydraulique est à la fois la plus ancienne et la plus utilisée de toutes les énergies renouvelables</p> <p>Avec des coûts de production très bas, l'hydraulique est l'énergie renouvelable la plus compétitive.</p>	<p>Peu d'incidences</p> <p>Cependant, les éoliennes présentent des risques d'accidents : un fort vent est susceptible de rompre les structures des éoliennes</p> <p>Elles présentent un danger pour certaines espèces ornithologiques.</p>	

	<p>Énergie de la biomasse</p>	<p>La biomasse représente l'ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine végétale ou animale.</p> <p>C'est la 4^{ème} source d'énergie sur le plan mondial, et constitue la 1^{ère} source d'énergie dans les pays en développement en répondant à 80% des besoins énergétiques</p>	<p>La culture intensive de végétaux entraîne une utilisation massive d'engrais et de pesticides et représente une menace pour la biodiversité.</p>	<p>Lors de la combustion, il y a libération de CO₂ comme pour les combustibles fossiles à la différence près que ce CO₂ a été préalablement fixé dans l'atmosphère et non enfuit dans un gisement fossile.</p> <p>L'énergie issue de la combustion de la biomasse est propre, à condition que la consommation ne soit excessive et permette à la flore de réabsorber tout le CO₂ dégagé.</p>
<p>Énergie fossile</p>	<p>Elles englobent: le pétrole, le gaz naturel et le charbon</p>	<p>La combustion des sources fossiles produit notamment du CO₂ (responsable de l'augmentation de l'effet de serre) et du dioxyde de soufre (responsable de pluies acides).</p>	<p>Facile d'utilisation.</p>	
<p>Énergie nucléaire</p>	<p>Une réaction nucléaire, en transformant les édifices des noyaux atomiques, s'accompagne d'un dégagement de chaleur</p>	<p>La fission de l'uranium produit de déchets nucléaires, qu'on ne sait pas encore éliminer.</p>	<p>Lors de la réaction de fission, il ya libération d'une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur, sans dégager de CO₂.</p>	

Source : établi par l'auteure

5. L'efficacité énergétique :

La demande mondiale d'énergie devrait doubler d'ici 2050. Et même si on multipliait les centrales de production on n'arriverait pas à la satisfaire, ni à pallier la diminution des ressources fossiles.

Deux types de définitions existent: l'une **passive** et l'autre **active** :

- La première s'intéresse beaucoup à l'**isolation et la ventilation** alors que la seconde **évalue les types de gestion et de contrôle d'énergie installés**.
- Ces deux types d'énergie renvoient à la performance énergétique et au concept d'efficacité énergétique pour un quelconque système

L'efficacité énergétique vise à utiliser moins d'énergie pour accomplir la même tâche. Cela inclut la réduction des pertes énergétiques à tous les niveaux, du bâtiment aux transports. Des technologies telles que l'isolation améliorée ou les appareils à faible consommation sont des exemples d'optimisation. L'efficacité énergétique offre des avantages environnementaux, en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, et économiques, en diminuant les coûts énergétiques (LUND, 2014), (GOSWAMI, 2015).

L'efficacité énergétique est devenue au fil des années un des piliers des politiques énergétiques, et plus récemment des politiques de lutte contre le changement climatique. Quand l'efficacité énergétique s'améliore, l'énergie nécessaire pour faire face aux besoins des gens et aux diverses activités économiques baisse.

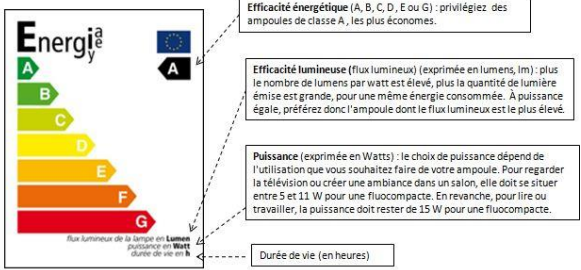
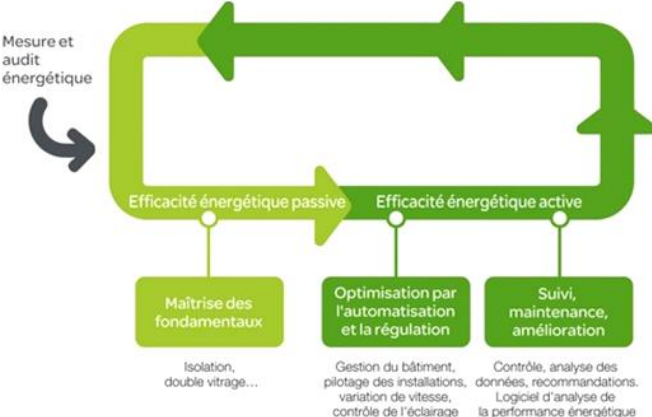

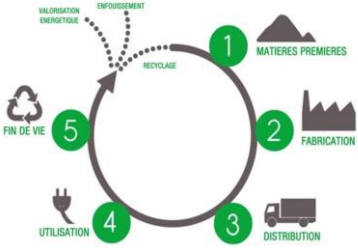

C'est un concept clé dans la lutte contre le changement climatique et la gestion des ressources naturelles. Elle consiste à optimiser l'utilisation de l'énergie tout en minimisant les pertes. Ce rapport examine les principes de l'efficacité énergétique, les technologies modernes qui y contribuent, et les stratégies pour surmonter les défis

5.1 Outils et politiques pour renforcer l'efficacité énergétique :

A travers le monde, les gouvernements ont mis en place différentes politiques et réglementations pour promouvoir l'efficacité énergétique. Ces politiques visent à encourager les entreprises et les particuliers à adopter des pratiques et des technologies économes en énergie. En plus de contribuer à la réduction de la consommation d'énergie, ces politiques ont également un impact positif sur l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (BOUBOU, 2017).

- Normes et réglementations pour l'efficacité énergétique
- Incitations financières pour l'efficacité énergétique
- Sensibilisation et éducation pour l'efficacité énergétique
- Investissements et financement pour l'efficacité énergétique
- Politiques de recherche et développement pour l'efficacité énergétique

Tableau 3 : Outils et politiques pour renforcer l'efficacité énergétique

outils	Désignation	
<p>L'étiquette-énergie</p>	<p>indique le classement du produit en fonction de son efficacité énergétique sur une échelle allant de A (efficacité énergétique maximale) à G</p>	 <p>Diagram of the Energy label (Energie) showing classes A (green) to G (red). Text boxes explain: 'Efficacité énergétique (A, B, C, D, E ou G) : privilégiez des ampoules de classe A, les plus économes.', 'Efficacité lumineuse (flux lumineux) (exprimée en lumens, lm) : plus le nombre de lumens par watt est élevé, plus la quantité de lumière émise est grande, pour une même énergie consommée. À puissance égale, préférez donc l'ampoule dont le flux lumineux est le plus élevé.', 'Puissance (exprimée en Watts) : le choix de puissance dépend de l'utilisation que vous souhaitez faire de votre ampoule. Pour regarder la télévision ou créer une ambiance dans un salon, elle doit se situer entre 5 et 11 W pour une fluocompacte. En revanche, pour lire ou travailler, la puissance doit rester de 15 W pour une fluocompacte.', and 'Durée de vie (en heures)'.</p>
<p>L'efficacité énergétique des bâtiments</p>	<p>Une classification énergétique des bâtiments a été mise en place, comme pour les appareils ! Le principe est le même que celui de l'étiquette-énergie et s'appelle diagnostic de performance énergétique (DPE)</p>	 <p>Diagram showing 'Mesure et audit énergétique' leading to 'Efficacité énergétique passive' and 'Efficacité énergétique active'. Passive measures include 'Maîtrise des fondamentaux' (Isolation, double vitrage...). Active measures include 'Optimisation par l'automatisation et la régulation' (Gestion du bâtiment, pilotage des installations, variation de vitesse, contrôle de l'éclairage) and 'Suivi, maintenance, amélioration' (Contrôle, analyse des données, recommandations, Logiciel d'analyse de la performance énergétique).</p>
<p>Le label écologique</p>	<p>Le label écologique garantit que le produit ou service est l'un des plus écologiques de son secteur</p>	 <p>Logo of the EU Ecolabel, featuring a green leaf and the text 'EU Ecolabel www.ecolabel.eu'.</p>
<p>L'écoconception</p>	<p>Les critères de l'écoconception sont un autre outil permettant d'améliorer l'efficacité énergétique</p>	 <p>Circular diagram of the eco-design process with 5 stages: 1. MATIERES PREMIERES, 2. FABRICATION, 3. DISTRIBUTION, 4. UTILISATION, 5. FIN DE VIE. It also includes 'VALORISATION ENERGETIQUE' and 'ENFOURSEMENT'.</p>
<p>L'efficacité énergétique des transports</p>	<p>Les transports ont été identifiés comme l'un des secteurs où d'importantes économies d'énergie peuvent être faites.</p>	 <p>Photograph of several modern orange trams parked in a station.</p>

Source : établi par l'auteur.

5.2 Le programme algérien d'efficacité énergétique :

Ce programme contient des actions qui privilégient le recours aux formes d'énergies qui sont les mieux adaptées aux différents usages et nécessitant la modification des comportements et l'amélioration des équipements. Ce plan d'action se présente comme suite (BOUBOU, 2016) :

- 1- L'isolation thermique des bâtiments.
- 2- Développement du chauffe-eau ;
- 3- Généralisation d'usage des lampes à basses consommation ;
- 4- Introduction de la performance énergétique dans l'éclairage public ;
- 5- Promotion de l'efficacité énergétique dans le secteur industriel;
- 6- Promotion du Gaz Pétrole Liquéfié Carburant (GPL/C) ;
- 7- Promotion du Gaz Naturel Carburant (GN/C) ;
- 8- Introduction des principales techniques de climatisation solaire.

6 Conclusion :

Toute production d'énergie présente à la fois un impact environnemental et un bilan économique. La recherche de la performance optimale dans l'utilisation de l'énergie permet de réduire la quantité nécessaire de ressources énergétiques sur celles non renouvelables, de limiter les pollutions engendrées et d'atténuer les coûts économiques

C'est ainsi que l'efficacité énergétique se manifeste comme étant un objectif politique affirmé. Tous les pays, quelle que soit leurs situations énergétiques, doivent baser leurs développements sur d'autres types d'énergie tout en essayant de maîtriser par ailleurs leur consommation énergétique par la mise en place de politiques d'efficacité énergétique volontaristes et adaptées.

Prévenir des dommages causés à l'environnement, préserver les ressources naturelles et s'orienter vers une économie à faible émission de carbone constitue un défi pour toute société. Ce défi offre également des débouchés aux entreprises commercialisent des produits et services écologiques ou exercent dans le domaine des énergies renouvelables ou des technologies propres.

Partie 3:

Ecoconception et entreprise

1. Introduction :

Caractérisé par une mondialisation et une concurrence accrue, les marchés nationaux comme mondiaux poussent les entreprises à se démarquer pour survivre, croître et poursuivre son activité.

D'un autre côté, Notre société de consommation est confrontée à une incertitude croissante forte quant aux conséquences négatives de l'activité industrielle. L'écoconception propose une réponse des entreprises qui intègre les conséquences pour l'environnement du moment de la conception jusqu'à la fin de vie du produit

2. Ecoconception et entreprise :

La rentabilité de l'écoconception est bien au rendez-vous des entreprises qui l'ont choisie : amélioration de l'image ou de la notoriété, meilleure relation avec le client, augmentation de la motivation ou de la fierté des employés, plus grande capacité à développer de nouveaux produits sont les quatre retombées les plus citées (résultats d'une enquête du Pôle Ecoconception de Saint-Etienne).

Par ailleurs, l'argument économique sera également un résultat de la démarche pour certains produits ou services, qui, à l'issue de l'écoconception, seront proposés avec des impacts et des consommations inférieures lors de leur phase d'utilisation et/ou une durée de vie supérieure. Tout bénéfique pour son acheteur si on l'amène à raisonner en coût global : moins de consommation d'eau, d'énergie, ... égal moins de dépenses. Mais également un produit démontable, réparable, recyclable, dont la fin de vie sera la moins coûteuse possible.

Le contexte d'apparition est quant à lui multiple :

1. Répondre aux attentes naissantes du marché.
2. Imaginer de nouvelles pistes d'innovation
3. Anticiper les contraintes réglementaires
4. Mieux maîtriser les impacts environnementaux
5. Optimiser les coûts de production
6. Engager une démarche citoyenne et mobiliser les équipes.

3. Pourquoi intégrer l'écoconception en entreprise :

3.1 Les bénéfices économiques :

- **Réduction des coûts** : moins de matières premières et d'énergie

- **Conformité réglementaire** : anticipation des normes environnementales comme la Directive européenne 2008/98/CE
- **Valorisation de la marque** ; certains consommateurs cherchent des produits durables et responsables (Baudry, 2020)

3.2 Les bénéfices environnementaux :

- Réduction des gaz à effet de serre
- Diminution des déchets et utilisation des matériaux recyclés (Girod, 2019)

4. Comment intégrer l'écoconception dans une entreprise :

Toutes les entreprises peuvent intégrer l'écoconception et les principes du développement durable à leur mode de fonctionnement. La mise en place de cette nouvelle façon de produire repose sur plusieurs grandes étapes : structurer, évaluer, améliorer et communiquer.

4.1 Structurer le projet :

La réussite d'un projet d'écoconception commence par une première phase de construction. L'entreprise doit réfléchir à son projet et en dessiner les contours. Il est nécessaire d'**analyser les opportunités** afin de sélectionner le produit ou le service à améliorer. L'entreprise doit ensuite constituer une équipe dédiée au projet, et mettre en place des **actions de formation** si nécessaire.

4.2 Évaluer la performance environnementale du produit/service :

Dans un deuxième temps, il convient d'évaluer la performance environnementale du produit ou du service retenu. Cette évaluation a pour objectif de **mesurer les impacts environnementaux et sociaux** des produits et de définir vos objectifs. Elle repose sur une approche globale et multicritères, tout au long du cycle de vie du produit.

Les **référentiels déjà établis par certains labels** ou organismes éco-responsables peuvent être utilisés pour faciliter le travail d'évaluation. Selon les recommandations de l'ADEME, vous pouvez vous orienter vers :

- L'Écolabel européen ;
- Le Product Environmental Footprint ;
- La Base Empreinte.

4.3 Améliorer la performance environnementale du produit/service :

Cette troisième étape correspond à une phase d'action et de transformation. L'entreprise doit mettre en œuvre des **actions concrètes pour améliorer la performance environnementale** du produit ou service sélectionné, en intégrant les principes du développement durable.

Des matières premières utilisées à leur acheminement en passant par la consommation d'énergie du produit, de nombreux paramètres sont à prendre en compte. La **pertinence des actions déployées** doit être régulièrement questionnée, afin d'**ajuster la stratégie** ou de redéfinir certains objectifs

4.4 Communiquer sur l'écoconception au sein de l'entreprise

Cette dernière phase consiste à **valoriser la nouvelle stratégie de l'entreprise**, en communiquant sur l'écoconception de ses produits ou services. Afin de renforcer votre attractivité auprès de vos clients et partenaires, vous devez être en mesure de justifier que votre produit a bien été éco-conçu.

Les actions de communication doivent **respecter les normes de communication environnementales** de la catégorie ISO 14020. Elles ont pour objectif de différencier les réels engagements environnementaux de la pratique du greewashing. Vous devez fournir aux consommateurs des éléments pertinents, exacts, vérifiables et non trompeurs.

En France, l'écoconception s'impose de plus en plus comme une démarche nécessaire pour **développer des produits respectueux de l'environnement**. Elle repose sur une approche globale des impacts environnementaux d'un produit, et incite les entreprises à trouver des alternatives écologiques. Une réelle opportunité pour l'ensemble des parties prenantes

5. L'écoconception: un atout pour la stratégie de l'entreprise et un levier de performance économique :

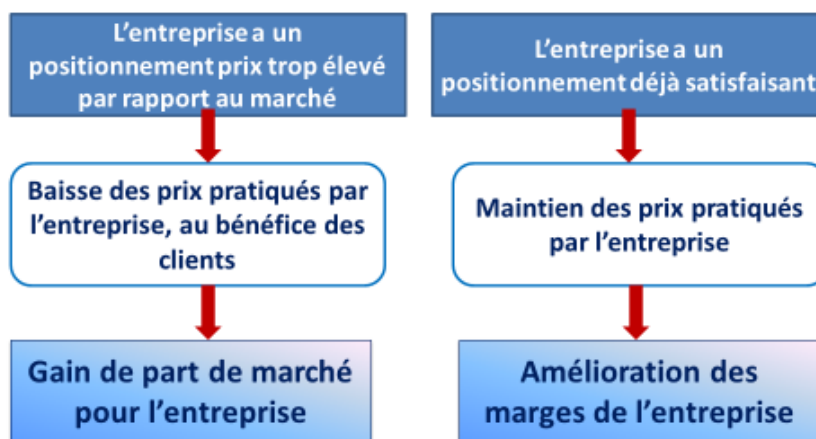
5.1 Des gains sur les coûts :

Selon une enquête l'ADEME, l'écoconception permet une réduction des coûts qui résulte de:

1. La réduction des quantités de matières premières utilisées
2. Les économies sur les postes de transport et logistique induites par l'allègement.
3. L'optimisation et la simplification des processus de production, qui permettent de diminuer le temps nécessaire à la fabrication et à l'installation

Deux stratégies possibles pour exploiter les gains de coûts générés par l'écoconception résumée dans le schéma suivant :

Figure 9 : les stratégies pour exploiter les gains de l'écoconception

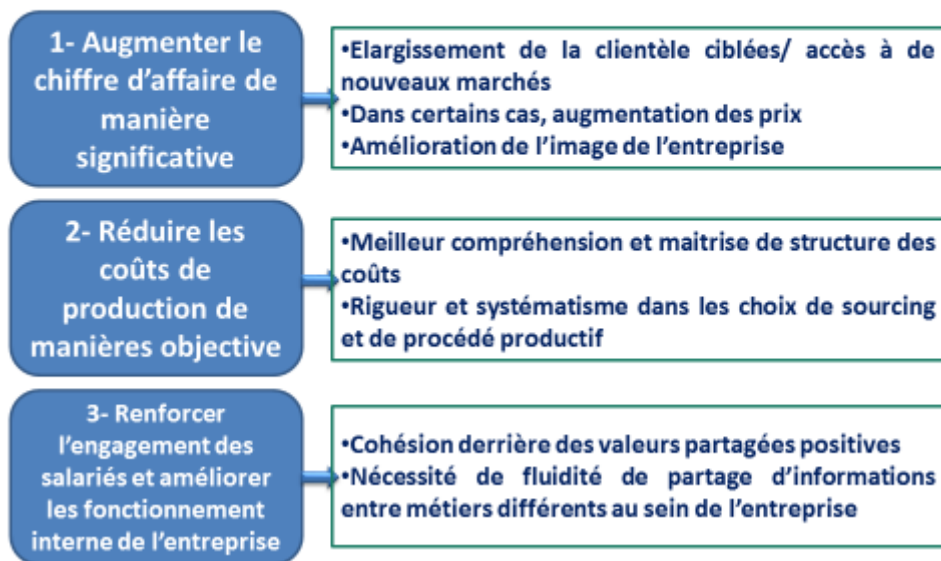


Sources : établi par l'auteure

5.2 Un atout pour la stratégie de l'entreprise

L'écoconception permet à l'entreprise de:

1. Augmenter le chiffre d'affaire de manière significative
2. Réduire les coûts de production de manière objective
3. Renforcer l'engagement des salariés et améliorer le fonctionnement interne de l'entreprise

Figure 10 : Atouts de la stratégie d'écoconception

Source : établi par l'auteure

5. Intérêts des produits/services éco-conçus pour l'entreprise :

- Se différencier des concurrents
- Anticiper les attentes naissantes du marché
- Dynamiser l'entreprise en interne et en externe
- Susciter de nouvelles collaborations
- Imaginer de nouvelles pistes d'innovation
- Anticiper les contraintes réglementaires
- Mieux maîtriser les impacts environnementaux
- Optimiser les coûts de production
- Engager une démarche citoyenne et mobiliser les équipes

6. Conclusion :

L'écoconception permet aux entreprises de répondre à la demande de produits responsables tout en restant compétitives et en respectant l'environnement, elle est donc devenue une véritable stratégie de développement durable pour les entreprises.

Partie 4:

Étapes et niveaux d'écoconception

1. Introduction :

L'écoconception permet aux entreprises de réduire l'empreinte environnementale de leurs produits et services. L'idée est d'avoir une vision sur toutes les étapes du cycle de vie. C'est une stratégie capitale dans un contexte de pression sur les ressources naturelles, qui a des bénéfices pour tous : les entreprises elles-mêmes, mais aussi les collectivités et les consommateurs.

Pour mettre en place une démarche d'écoconception et ainsi créer de la valeur, les entreprises vont adopter une vision cycle de vie, tout en conservant les qualités d'usage de leurs produits et services.

2. Les étapes de la démarche d'écoconception :

L'écoconception se caractérise par une vision globale du cycle de vie d'un produit, c'est une démarche en six étapes:

1. Identification des besoins
2. Evaluation environnementale
3. Recherche de piste d'écoconception
4. Aide à la décision
5. Deuxième évaluation environnementale.
6. Mise sur le marché

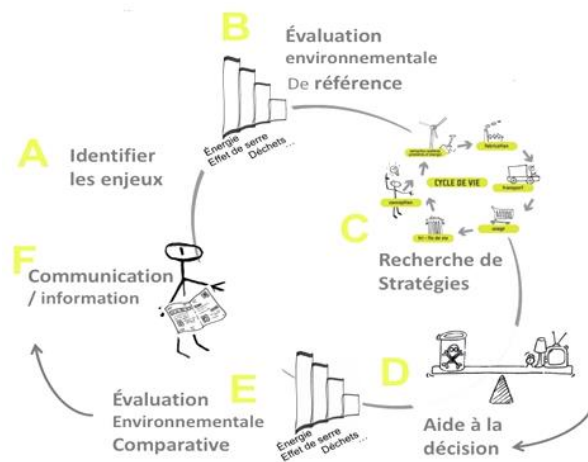


Figure 11 : Etapes d'écoconception



Source : établi par l'auteure

3. Niveaux de maturité de la démarche écoconception :

Il peut être commode de définir des niveaux de maturité de la démarche d'écoconception

Niveau 1 : Amélioration de produits existant

Amélioration environnementale progressive de produits existants, en travaillant sur un ou plusieurs composants, sans modification majeure de technologie employée. Il peut s'agir d'optimiser le processus de conception du produit.

Niveau 2 : Reconception de produits, basée sur une technologie existante mais sensiblement améliorée du point de vue environnemental :

Approfondissement et temps de développement plus important que le niveau 1 pour reconcevoir le produit. Le concept du produit reste le même, il s'agit de repenser l'architecture du produit, en développant ou remplaçant certaines parties par de nouvelles.

Niveau 3 : Innovation fonctionnelle

Création d'un nouveau concept de produit ou d'une nouvelle technologie, en changeant la façon dont la fonction du produit est remplie. Il s'agit d'une innovation de rupture. **Concept à fonctionnalité identique mais déjà largement modifié (exemple : passage d'énergies fossiles à renouvelables).**

Niveau 4 : Innovation du système produits/services

Proposition de nouvelles organisations ou de nouveaux systèmes produits/services. Ce niveau peut nécessiter des modifications sur la chaîne de valeur, des infrastructures voire un changement culturel. Le modèle économique peut être modifié en passant, par exemple, de la vente du produit à la vente d'une fonction sous forme de service.

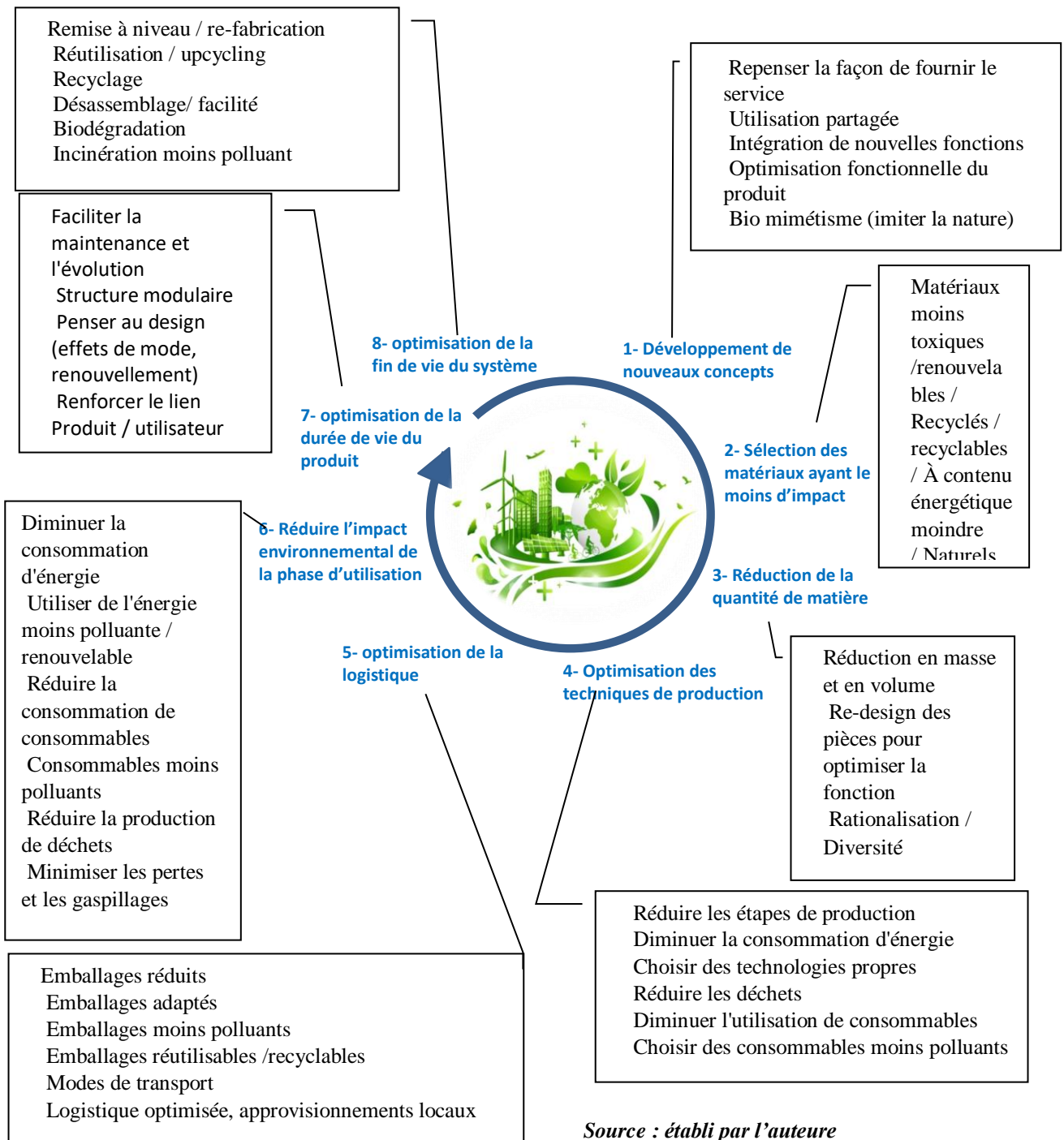
Niveau 5 : nouveau concept (par exemple passage d'une logique produit à une logique service)

4. Stratégie de la démarche d'écoconception :

La **roue de BREZET** permet de définir une stratégie d'écoconception par le choix d'axes d'amélioration du produit.

C'est une sorte de check-list pour l'éco-concepteur balayant l'ensemble du cycle de vie d'un produit et proposant diverses stratégies. A l'équipe projet, d'étudier la pertinence et d'imaginer les solutions envisageables concernant le produit

Figure 12 : La roue de BREZET



Source : établi par l'auteure

Figure 13 : Exemples de produits Eco conçus



5. L'analyse fonctionnelle dans l'écoconception

L'analyse fonctionnelle est primordiale dans le processus de conception. Il en est évidemment de même en écoconception, sauf qu'il faut tenir compte, en plus des contraintes classiques, d'une contrainte environnementale.

Figure 14 : exemple d'une analyse fonctionnelle

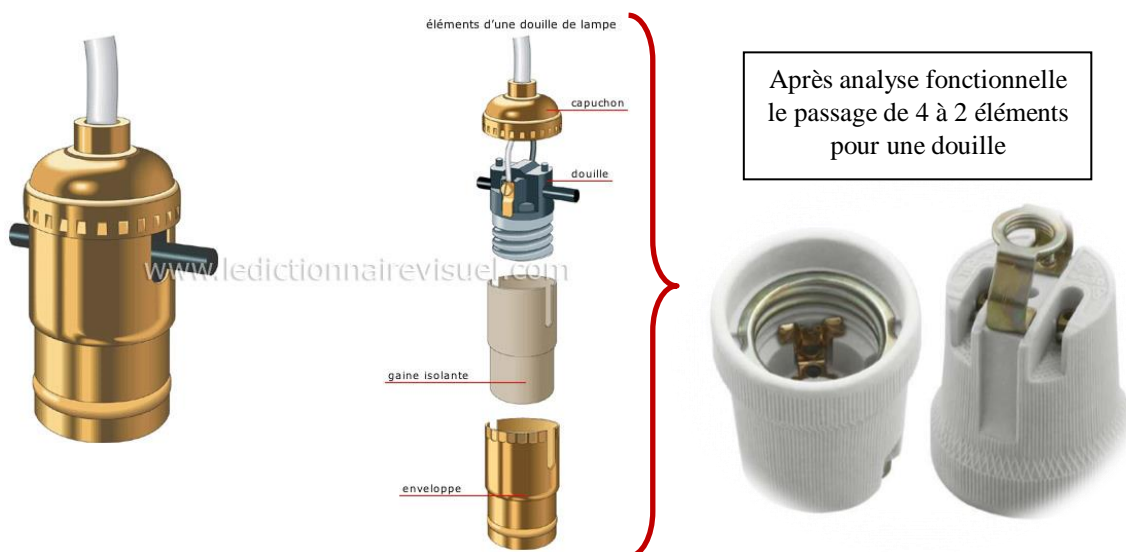


Figure 15 : Exemple sur l'analyse fonctionnelle sur une chaise de bureau



Dans le domaine de la gestion de projet et de l'ingénierie, le **cahier des charges fonctionnel (CCF)** et l'**analyse fonctionnelle (AF)** jouent un rôle primordial. Ils permettent de structurer les besoins des utilisateurs et de garantir que le produit ou le système répond aux attentes, tout en respectant les contraintes imposées.

5.1 Le cahier de charges fonctionnels :

Le CCF est un document structurant qui formalise les besoins et les exigences fonctionnelles d'un projet. Contrairement à un cahier des charges technique, il se concentre uniquement sur le « *quoi* » et non sur le « *comment* », c'est-à-dire les fonctionnalités attendues et les critères de réalisation, sans préjuger des solutions techniques. L'objectif étant :

- **Clarifier les besoins** des utilisateurs et des parties prenantes.
- **Délimiter le périmètre du projet**, en identifiant les fonctionnalités à réaliser.
- **Servir de base contractuelle** entre le client et les équipes de conception.
- **Faciliter la validation des livrables**, en établissant des critères objectifs de performance.

Le Cahier des Charges Fonctionnels est utilisé à plusieurs niveaux :

- **Outil de communication** entre le client, les équipes internes, et les prestataires externes.
- **Base contractuelle** pour formaliser les engagements mutuels.
- **Support pour le développement** : Il oriente les choix techniques et fonctionnels
- **Guide pour la validation** des livrables, permettant une recette objective.

Un cahier des charges fonctionnel doit inclure les éléments suivants :

a) **Contexte et objectifs :**

- Origine du projet.
- Enjeux stratégiques ou opérationnels.
- Finalité du produit ou du système.

1. **Périmètre fonctionnel :**

- Description des utilisateurs et de leurs besoins.
- Fonctions principales (à satisfaire absolument).
- Fonctions secondaires (à valeur ajoutée, mais non critiques).

2. **Contraintes :**

- Contraintes réglementaires (normes, certifications, etc.).
- Contraintes techniques (compatibilité, équipements existants).
- Contraintes ergonomiques ou environnementales.

3. **Critères de performance :**

- Délais de traitement.
- Niveau de disponibilité ou fiabilité attendu.
- Mesures quantitatives ou qualitatives.

4. **Livrables attendus :**

- Documents intermédiaires (rapports, prototypes).
- Produit final.

5. **Planning et budget :**

- Jalons clés.
- Enveloppe budgétaire prévue.

5.2 L'analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle est une démarche systématique qui consiste à identifier, organiser et hiérarchiser les fonctions que le produit ou système doit remplir. Elle repose sur une compréhension approfondie des besoins des utilisateurs et des contraintes imposées. L'objectif est de :

- **Identifier les besoins réels** des utilisateurs.
- **Distinguer les fonctions principales** (finalité) des fonctions contraintes (normatives ou environnementales).
- **Optimiser la conception** en se concentrant sur les attentes fonctionnelles essentielles.

Sa démarche se décline sous les étapes suivantes :

a) **Expression du besoin :**

- Utilisation de méthodes comme la "bête à cornes" (qui répond à « Pour quoi ? Pour qui ? Contre quoi ? »).

b) **Identification des fonctions :**

- **Fonctions principales (FP)** : Ce que le produit doit obligatoirement accomplir.
- **Fonctions contraintes (FC)** : Limites externes ou internes, comme les réglementations ou les ressources disponibles.

c) **Hierarchisation des fonctions :**

- Organisation des fonctions sous forme d'un arbre fonctionnel ou d'un diagramme.

d) **Critères de performance :**

- Définir les niveaux d'exigence pour chaque fonction (ex. : vitesse, durée de vie, précision).

Le *cahier des charges fonctionnel* et l'*analyse fonctionnelle* sont deux outils complémentaires indispensables dans la gestion de projet. L'analyse fonctionnelle permet de définir clairement les besoins et de hiérarchiser les fonctions, tandis que le CCF formalise ces attentes dans un document contractuel. Leur mise en œuvre conjointe garantit une meilleure communication, une conception optimisée, et une validation objective des livrables.

6 Conclusion :

L'écoconception est accessible à toute entreprise. En fonction des enjeux, des marges de conception et de la volonté de l'entreprise, l'écoconception peut être intégrée dans l'entreprise de différente façon, d'une « aide à l'optimisation » à une évolution du modèle économique.

Entre ces deux extrêmes, c'est à l'entreprise de déterminer son engagement en privilégiant la stratégie la plus pertinente

Partie 5:

Outils d'écoconception

1. Introduction :

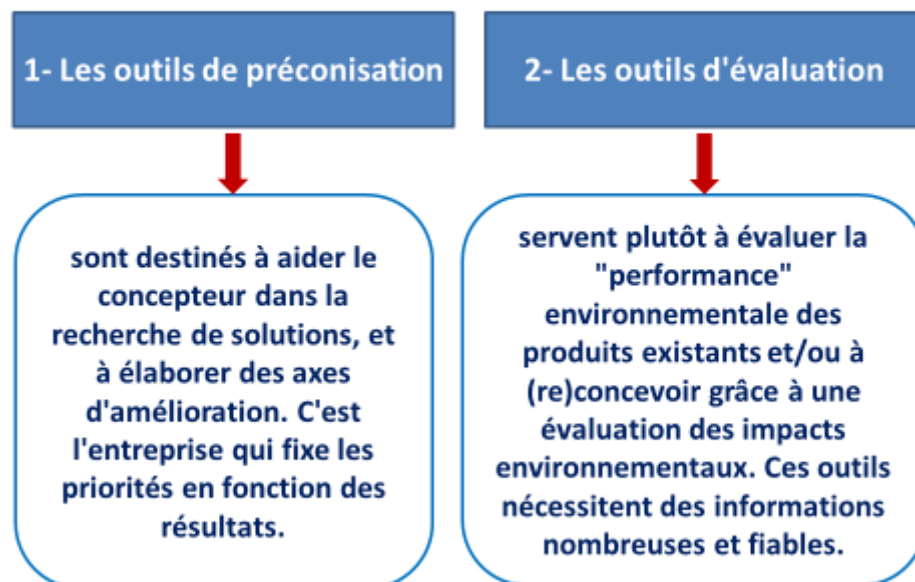
De manière générale, une démarche d'écoconception, implique d'utiliser des méthodes plus ou moins élaborées, déclinées sous forme d'outils divers, plus ou moins complexes, gratuits ou non, développés par des spécialistes du domaine.

2. Les outils d'écoconception :

On trouve des dizaines d'outils de l'écoconception, qui vont du bon sens écologique aux méthodes d'analyse de cycle de vie les plus poussées

Qu'ils soient monocritère ou multicritères, il existe classiquement deux grands types d'outils d'écoconception, suivant qu'ils soient à vocation stratégique ou technique :

Figure 16 : Les types d'outils d'écoconception



(Source : établi par l'auteure)

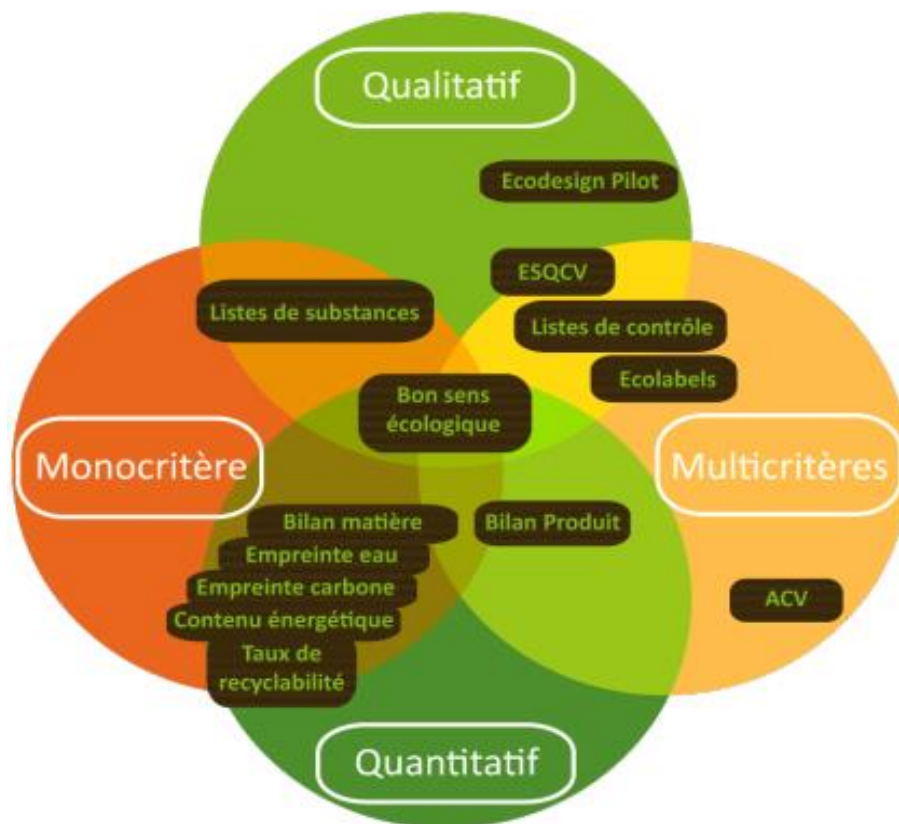
Les outils utilisés sont choisis en fonction des objectifs souhaités et/ou attendu. Parmi ceux (ci nous citons par exemple :

- **Les guides et check lists (listes de contrôle).**
- **Design for environment (Règle des 6 Re)**
- **La roue d'écoconception.**
- **Analyse du cycle de vie**
- **L'ESQCV (évaluation simplifiée et qualitative du cycle de vie du produit)**
- **Eco-design Pilot.**

- **Bilan Produit ou Bilan Carbone de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)**
- **Approche matricielle ; ...**

Ces outils peuvent finalement être placés sur une grille qui les classe selon le nombre de critères pris en compte et en fonction du type de démarche : dominante plutôt **quantitative** (à validité scientifique forte) ou **qualitative** (qui ne permet pas une quantification des impacts mais fait apparaître les grandes tendances).

Figure 17 : Etat de l'art des outils disponibles



(Source: BELLINI B. & al.2011)

3. Design for environment (Règle des 6 Re) :

Cet outil est une méthode qualitative. Il s'agit là de Bon sens écologique.

L'idée est de concevoir un produit en pensant dès le début aux six points suivants:

- **Re-penser** le produit et ses fonctions.
- **Ré-parer** le produit (rendre sa réparation aisée).
- **Remplacer** les substances dangereuses par des substances plus saines.

- **Réutiliser** (rendre facile le désassemblage du produit et prévoir la réutilisation de tout ou partie de ses éléments).
- **Réduire** les consommations d'énergie, de matière et les impacts en général, y compris socio-économiques.
- **Re-cycler** (sélectionner des matériaux recyclés et/ou recyclables)

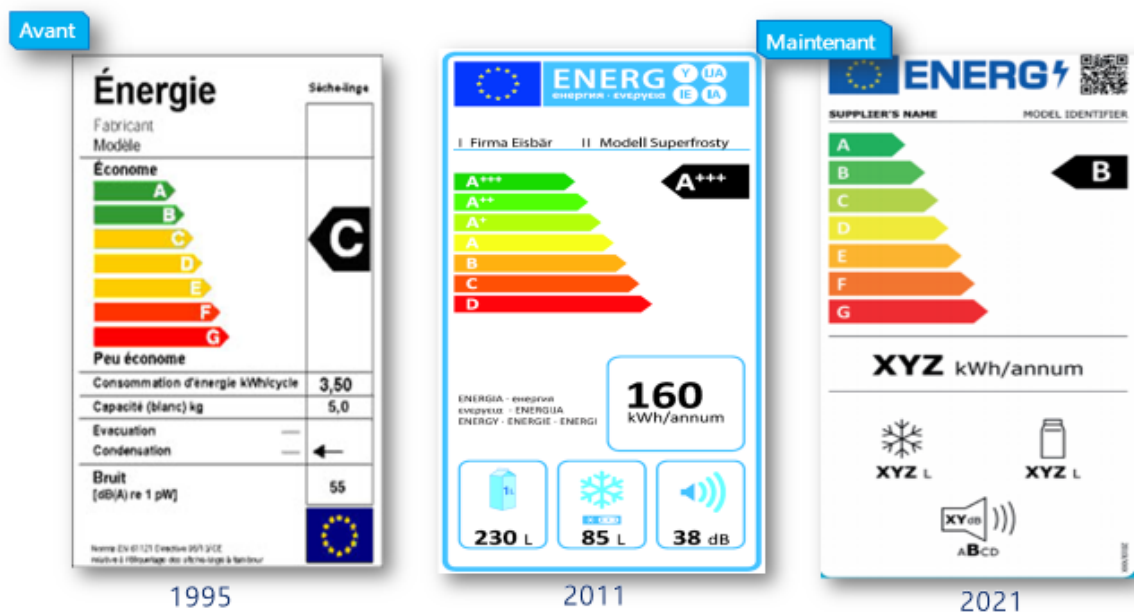
4. L'étiquette énergétique :

Conçue pour fournir aux consommateurs des informations sur la consommation d'énergie et les performances, l'étiquette énergétique établit une classification des appareils à partir d'une échelle constituée d'un code lettre/couleur, allant d'A+++/vert foncé (plus économe, moins énergivore) à G/rouge (moins économe, plus énergivore).

Le but est d'informer le consommateur sur la consommation énergétique des appareils et de faciliter la comparaison des appareils entre eux. Les règles uniformes concernant ces étiquettes énergétiques sont fixées par l'Union européenne, après consultation avec les Etats membres.

Le but est d'informer le consommateur sur la consommation énergétique des appareils et de faciliter la comparaison des appareils entre eux. Les règles uniformes concernant ces étiquettes énergétiques sont fixées par l'Union européenne, après consultation avec les Etats membres (GIFAM, 2020).

Figure 18 : évolution de l'étiquetage



(Source : établi par l'auteure)

La consommation énergétique, l'efficacité d'aspiration d'un aspirateur ou même le niveau de bruit produit sont mesurés exactement de la même manière par tous les fabricants pour une même catégorie d'appareils ! Grâce à l'étiquette énergétique, il est possible de comparer des appareils étiquetés sur la base de chiffres exacts et comparables (ADEME, 2012).

Grâce à l'étiquette énergétique, nous pouvons faire nos comptes avant l'achat d'un appareil et non pas des années après.

5. L'empreinte écologique :

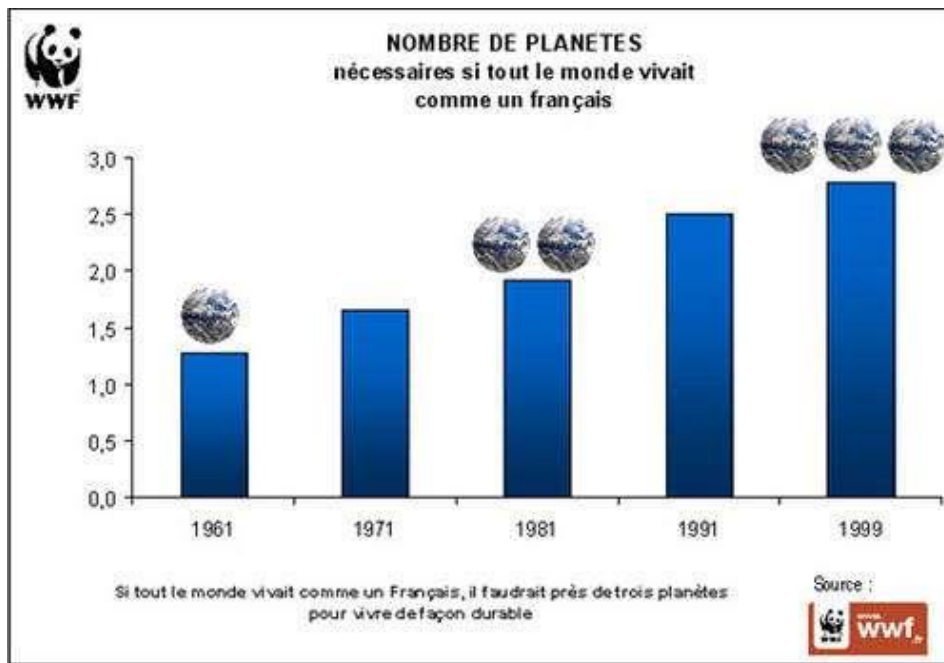
L'empreinte écologique a été développée au Canada par Mathis Wackernagel et William Rees **au milieu des années 1990** et a depuis été mise en œuvre comme un indicateur de durabilité. Elle représente les impacts sur l'écosystème et les ressources naturelles.

L'empreinte écologique indique combien d'hectares de forêts, de pâturages, de terres agricoles et de terres marines sont nécessaires pour renouveler les ressources consommées et absorber les déchets produits. Elle permet de comparer les effets de notre consommation actuelle avec les ressources disponibles sur la planète.

C'est un outil **quantitatif** et **monocritère (la consommation de ressources de la population donnée)** qui permet de traduire les **impacts sur l'environnement en termes de surface équivalente**. On peut l'exprimer **en hectares par habitant ou en hectares par nation**

Le comportement de consommation de la population mondiale provoque actuellement un déficit total, ce qui signifie que l'humanité aurait besoin de 1,7 terre pour compenser ce comportement.

Figure 19 : exemple sur le mode de vie d'un français

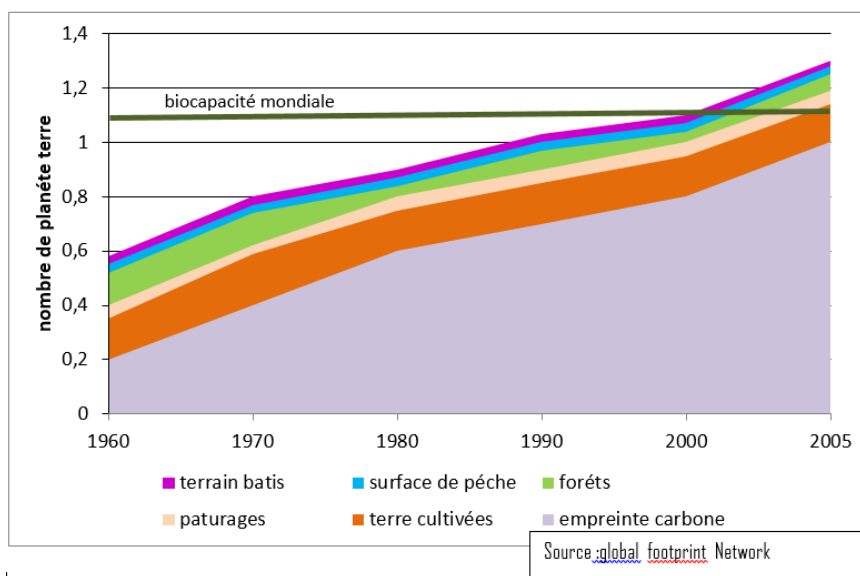


5.1 Calcul de l’empreinte écologique :

Pour calculer l'empreinte écologique, on s'intéresse à 6 composantes (empreintes partielles) :

1. L'empreinte due au carbone qui représente la surface de forêt nécessaire pour absorber les émissions de CO₂ dues à la consommation d'énergie fossile et à la consommation de produits manufacturés. L'empreinte carbone représente la moitié de l'empreinte écologique de l'humanité.
2. L'empreinte due aux cultures correspond à la surface nécessaire pour produire les matières premières pour la consommation ou l'industrie.
3. L'empreinte due aux pâturages représente la surface nécessaire pour produire du bétail qui donnera de la viande et des produits dérivés tels que le lait, les œufs, le cuir ou la laine...
4. L'empreinte due aux forêts qui correspond à la surface nécessaire pour répondre aux besoins de produits issus de la filière bois (le bois en tant que source d'énergie n'est pas pris en compte mais celui pour le papier l'est).
5. L'empreinte due à la pêche qui correspond à la surface nécessaire pour produire les poissons et fruits de mer.
6. L'empreinte due à l'artificialisation des terres qui représente la surface utilisée pour les villes et les infrastructures humaines.

Figure 20 : exemple d’empreinte carbone



Il faut souligner l'importance de l'analyse de l'empreinte écologique et de son rôle dans l'élaboration de politiques adaptées, ce que l'auteur met en évidence : « L'analyse de l'empreinte écologique peut aider à développer des réactions politiques adaptées dans un large éventail de contextes qui vont de la technologie, les politiques et les évaluations environnementales, la planification locale, régionale et nationale, jusqu'à la préparation de traités internationaux » (Wackernagel & all. 1999). La prise de conscience de la population est essentielle pour relever les défis écologiques. En comprenant l'impact de leurs actions, les individus peuvent adopter des comportements plus durables et influencer les décisions politiques et économiques. L'éducation et la sensibilisation jouent un rôle crucial dans ce processus, permettant une transition vers un avenir plus respectueux de l'environnement, comme montré dans *Notre empreinte écologique* : « il lui faut un solide appui de la population » (Wackernagel & all. 1999)

6. L'empreinte carbone (Inventaire GES) :

La pollution est apparue avec la sédentarité de l'homme, lorsque celui-ci abandonna le nomadisme. Mais cette dernière prit de l'ampleur au 19^{ème} siècle avec l'essor de la chimie et de l'industrie.

L'empreinte carbone correspond au volume de GES que rejette un être vivant (une personne, un animal ou un végétal), une entreprise, un pays, ou encore un objet dans ses actions et son fonctionnement. C'est un outil quantitatif et monocritère.

6.1 Classification des GES :

Il existe 5 GES qui sont naturellement présents dans l'atmosphère :

- La vapeur d'eau (H₂O) qui contribue à 75% de l'effet de serre sur terre.
- Le dioxyde de carbone (CO₂).
- Le méthane (CH₄).
- Le protoxyde d'azote (N₂O).
- L'ozone (O₃).

Mais depuis l'ère industrielle, nous avons remarqué l'apparition de 3 nouvelles familles de gaz qui n'étaient pas présents naturellement dans l'atmosphère, mais qui sont plutôt dues à l'activité humaine. Il s'agit des gaz fluorés :

- Les hydrofluorocarbures (HFC).
- Les hydrocarbures perfluorés (PFC).
- L'hexafluorure de soufre (SF₆).

6.2 Calcul des GES :

La mesure des émissions de CO₂ se fait en prenant en considération deux types de facteurs d'émission : les facteurs physiques et monétaires (Watrinet, 2022).

a) Les ratios physiques :

Le facteur d'émission physique précise la quantité de CO₂ émise par une unité consommée. Partout où c'est possible, on utilise l'équation suivante :

$$\text{Quantité GES} = \text{Quantité consommée} \times \text{Facteur d'émission physique}$$

Où la quantité consommée s'exprime par l'unité du produit (litres, kilogrammes, m²...).

b) Les ratios monétaires :

Le facteur monétaire permet d'estimer le contenu en CO₂ d'un produit ou service à partir de son prix. Il est exprimé en kgCO₂e/k€ HT. Pour le calculer, on se fie à l'équation suivante :

$$\text{Quantité GES} = \text{Prix} \times \text{Facteur d'émission monétaire}$$

Mais il existe aussi des calculateurs en ligne, qui simplifient le travail, même si leur utilisation peut s'avérer fastidieuse, car elle se base sur des questionnaires.

Quant à l'estimation de l'impact carbone d'un produit, il est nécessaire d'analyser tout son cycle de vie ; de son développement à sa production jusqu'à son recyclage, en passant par son conditionnement.

6.3 Calcul selon l'équation de Kaya:

Yoichi Kaya, économiste japonais, développe cette équation en 1993 dans son ouvrage *Environment, Energy, and Economy : strategies for sustainability*. (Kaya)

Cette formule permet de calculer nos GES et donc plus précisément d'effectuer des analyses quantitatives passées et présentes et ainsi conjecturer sur les trajectoires à venir. La formule sert aux politiques climatiques, à l'économie et permet de voir l'évolution de la situation.

Cette équation part du principe, très simple :

$$CO_2 = CO_2$$

Si l'on note:

NRJ : est la quantité d'énergie consommée dans le monde (par référence à l'unité « tep », ou « tonne équivalent pétrole »)

PIB : c'est le produit intérieur brut, autrement dit l'unité qui mesure l'activité économique.

POP : la population

Et en multipliant et divisant le côté droit par PIB, NRJ et POP, on obtient:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{NRJ} \times \frac{NRJ}{PIB} \times \frac{PIB}{POP} \times POP$$

L'équation de Kaya

The diagram shows the Kaya equation with arrows pointing to each term and its definition:

- CO_2 (top left): émissions de carbone
- NRJ (bottom left): intensité carbone de l'énergie
- PIB (bottom middle): intensité énergétique de la production
- POP (bottom right): population
- PIB (top right): PIB par habitant

Dans certains pays du monde, le calcul de ce qu'on appelle un *bilan carbone* peut même être obligatoire. La loi oblige donc les entreprises à effectuer des rapports annuels, à fixer des objectifs de réduction des émissions de GES, et à tâcher de les atteindre. Toutes ces mesures afin d'arriver à diviser par 5 nos émissions d'ici 2050.

7. L’empreinte eau :

« Le concept d’**empreinte eau** a été créé pour l’UNESCO en 2002, par le professeur hollandais en gestion de l’eau, Arjen Hoeskra. Il s’agit d’un indicateur de l’usage direct ou indirect de l’eau par le producteur ou le consommateur. La mise au point de cet indicateur a conduit à la création en 2008 du Water Foodprint Network, une organisation composée d’un réseau de partenaires chargés de promouvoir ce concept et de développer des outils de mesure pour encourager une utilisation durable de l’eau.

L’empreinte eau est le volume total d’eau virtuelle utilisé pour produire un produit ou un service. En d’autres termes, il s’agit de l’eau utilisée pour produire des biens exportables dans un endroit et consommée **virtuellement** dans un autre espace, d’où l’appellation **eau virtuelle**.

L’empreinte eau est une mesure des impacts de l’activité humaine sur l’eau au niveau domestique, agricole ou industriel ». (Comment améliorer l’empreinte eau, 2020)

C’est un outil quantitatif et monocritère. Il s’agit d’évaluer toute l’eau consommée et polluée directement et indirectement lors de la production d’un bien ou d’un service, ce qui permet aux entreprises de mesurer leur degré de dépendance à cette ressource

A titre d’exemple, Considérons qu’un bœuf arrivé à l’âge adulte peut produire 200 kg de viande. Quel volume d’eau sera nécessaire à la production de cette viande tout au long de la vie de l’animal ?

L’animal aura besoin de boire 24 000 litres d’eau

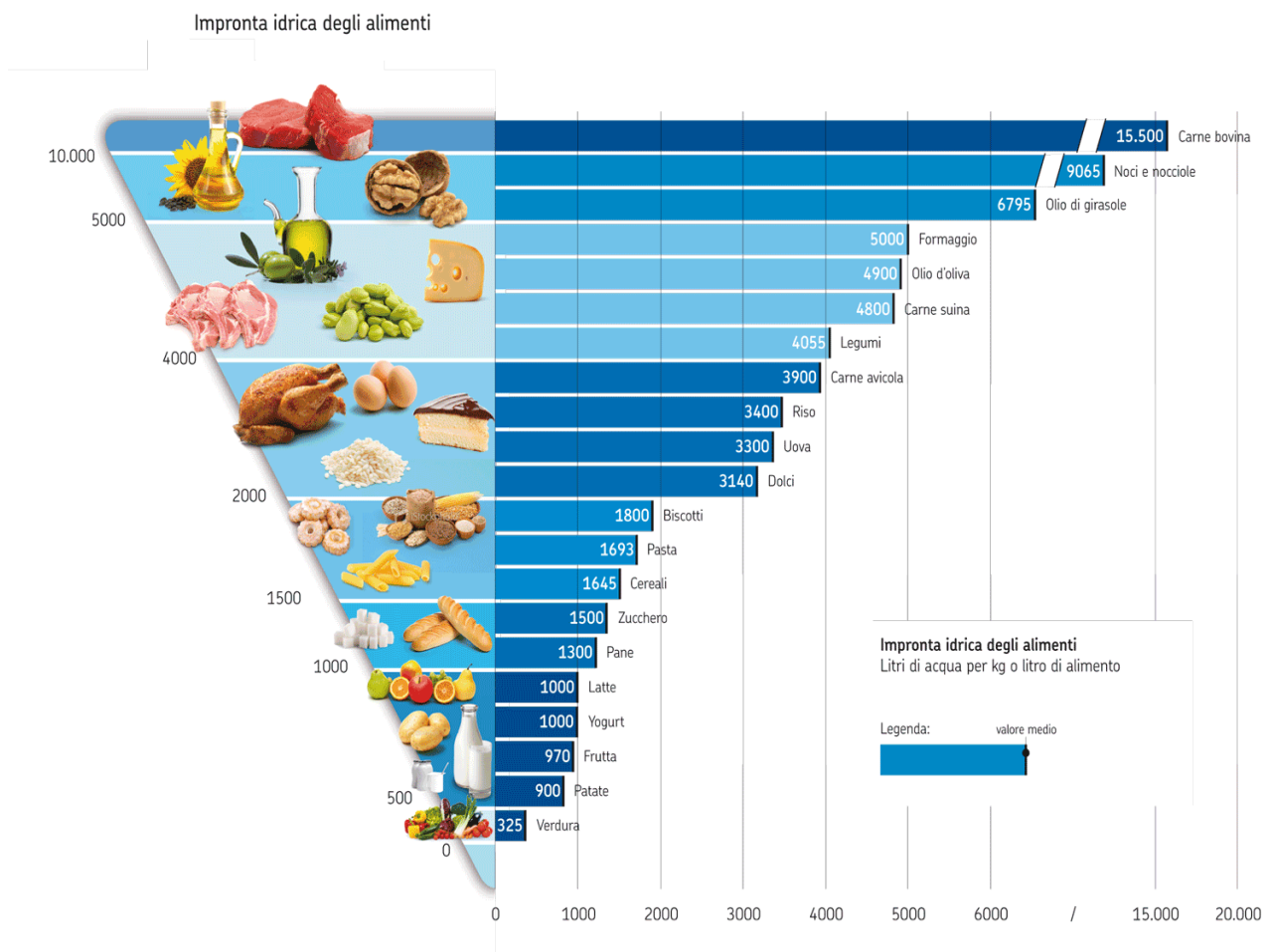
Il faudra 7 000 litres d’eau pour assurer son entretien

L’intégralité de sa nourriture (1 300 kg de grains, 7 200 kg d’herbe) implique l’utilisation de 3 millions de litres d’eau

Soit un total de **3 031 000 litres d’eau pour produire 200 kg de viande**.

Ce qui signifie qu’il faut **15 000 litres d’eau pour produire un seul kilo de viande**, soit l’équivalent de **30 baignoires pleines !**.

Figure 21 : La quantité d'eau nécessaire pour la production de certains aliments



L'empreinte eau de production se décompose en trois éléments, correspondant à de l'eau consommée, évaporée ou polluée :

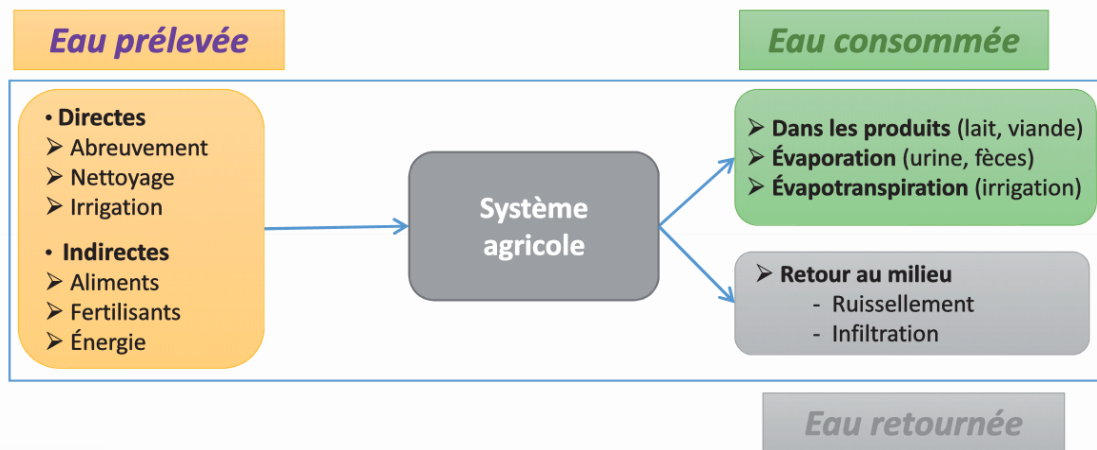
- a) **L'eau verte** est le volume d'eau consommée ou évaporée par les plantes lors du phénomène naturel d'évapo-transpiration.
- b) **L'eau bleue** est le volume d'eau prélevé dans les cours d'eau ou dans les eaux souterraines pour des usages domestiques, industriels ou agricoles.
- c) **L'eau grise** est la quantité d'eau qu'il est nécessaire d'utiliser pour diluer les « polluants » utilisés dans l'entreprise afin de répondre à la réglementation (normes d'eau potable)

La norme **ISO 14046** indique l'impact de la production d'1 kilo de viande sur l'environnement. On calcule l'empreinte eau consommative, c'est-à-dire l'eau consommée pour produire 1 kilo de viande en soustrayant de la quantité d'eau prélevée la quantité d'eau retournée au milieu

On calcule l’empreinte eau qualitative grâce à la méthode de l’Analyse de Cycle de Vie (ACV) qui comprend de nombreux indicateurs.

Figure 22 : Calcul de l’empreinte

► Eau Consommée = Eau Prélevée – Eau Retournée



Que ce soit à travers des solutions dans les secteurs de l'agriculture, de l'industrie textile, ou dans nos usages domestiques, chaque effort compte pour minimiser notre impact. En adoptant une approche collective et éco-responsable, nous pouvons assurer une gestion durable de l'eau, garantissant ainsi sa disponibilité pour les générations futures.

8. Le bilan matière :

Le bilan matière consiste à faire l'inventaire de tous les flux de matières intervenant dans le cycle de vie d'un produit. Il est intégré à une Analyse de Cycle de Vie complète ou simplifiée, mais l'écoconception peut ne s'intéresser qu'à ce bilan, avec par exemple comme objectif de diminuer les quantités de matière utilisées.

La méthode est donc à la fois simple et complexe dans la mesure où il faut connaître l'ensemble des produits et procédés utilisés pour avoir suffisamment de précision. Cependant, dans une première approche d'écoconception, on peut se limiter à une ou plusieurs étapes du cycle de vie, jugées les plus "impactantes", ou même ne s'intéresser qu'à quelques matériaux parmi ceux qui sont utilisés (par exemple pour en limiter le coût et les nuisances).

Les outils dédiés au bilan matière sont les outils de l'Analyse du Cycle de Vie, mais en fait, chaque entreprise ou organisation est à même de faire une "comptabilité" analytique des matériaux utilisés pour un produit, sans investir dans un outil spécifique. Ainsi un bilan matière peut consister à renseigner une grille du type de celle apparaissant dans la figure ci-après. Une

fois ces données disponibles, une démarche d'écoconception peut alors commencer dans la mesure où elle permet de prioriser les actions à mettre en œuvre.

Le bilan matière peut aussi être une partie de l'inventaire nécessaire à l'ACV.

8.1 Les étapes principales d'un bilan de matière :

a) Définition du système :

- **Délimiter le système :** Identifier clairement les limites du système étudié (un procédé, un équipement, une usine...).
- **Choisir la base de calcul :** Définir la quantité de matière ou le temps de référence pour les calculs.

b) Collecte des données :

- **Identifier les flux :** Déterminer tous les flux de matière entrant et sortant du système (matières premières, produits, déchets, effluents).
- **Quantifier les flux :** Mesurer ou estimer les quantités de matière de chaque flux (masse, débit).
- **Caractériser les flux :** Déterminer la composition chimique de chaque flux.

c) Établissement des équations :

- **Principe de conservation de la masse :** Appliquer le principe de conservation de la masse à chaque élément ou composé chimique présent dans le système.
- **Écrire les équations :** Établir les équations de bilan pour chaque élément ou composé, en tenant compte des réactions chimiques éventuelles.

d) Résolution des équations :

- **Résoudre le système d'équations :** Utiliser des méthodes mathématiques (algèbre linéaire, logiciels de calcul) pour résoudre le système d'équations et déterminer les inconnues.
- **Vérification des résultats :** Vérifier la cohérence des résultats obtenus en comparant les entrées et les sorties total

e) Analyse des résultats :

- **Interprétation des résultats :** Analyser les résultats du bilan pour identifier les pertes, les accumulations, les inefficacités du procédé.
- **Identification des points d'amélioration :** Proposer des améliorations pour optimiser le procédé et réduire les pertes de matière.

Tableau 4 ; tableau de bilan matière

CONSOMMATION DES RESSOURCES		NATURE
Naturelles		
Eau de distribution	m3	
Eau souterraine	m3	
Bois	m3	
Etc.		
Energétique		
Mazout	litres	
Gaz naturel	m3	
Electricité	kWh	
Diesel & Essence pour les véhicules	litres	
Biomasse	kg	
Matérielles		
Peintures	kg	
Solvants	kg	
Matériel d'emballage	kg	
Lubrifiants	litres	
Produits d'entretien	litres	
Papier	kg	
Ordinateurs	unités	
Etc.		
PRODUCTION		NATURE
Rejets dans l'air		
Dioxyde de carbone (CO2)	kg	
Oxydes de soufre (SOx)	kg	
Oxydes d'azote (NOx)	g	
Composés organiques volatiles (COV)	ppm	
Poussières fines	ppm	
Rejets dans l'eau		
Eaux usées	m3	
Produits solides	kg	
Produits liquides	litres	
Rejets dans le sol		
Engrais	m3	
Pesticides	kg	
Etc.	litres	
Déchets		
Déchets solides	kg	
Déchets liquides	litres	
Déchets dangereux	kg	
Déchets recyclables	kg	
Déchets biodégradables	kg	
Déchets électroniques	kg	
Produits et services		
Produits finis	unités	
Produits semi-finis	unités	
Services	unités	

Le bilan matière consiste à faire l'inventaire de tous les flux de matières intervenant dans le cycle de vie d'un produit.

Il est intégré à une Analyse de Cycle de Vie complète ou simplifiée, mais l'éco-conception peut ne s'intéresser qu'à ce bilan, avec par exemple comme objectif de diminuer les quantités de matière utilisées.

9. Liste de contrôle ou radar de VENTERE:

C'est un outils qualitatifs et multi-critères. Les listes de contrôle permettent au concepteur d'évaluer si un produit est plus ou moins respectueux de l'environnement par la réponse à des questions précises pour chaque étape du cycle de vie

Si elle est bien conçue, une liste de contrôle conduit à des améliorations environnementales rapides du produit.

Les check-lists sont des outils dont l'objectif est de **se poser les bonnes questions** prédéterminées dans une liste lors du processus de réflexion des stratégies d'écoconception et balayant l'ensemble du cycle de vie.

Principalement utilisée en phase de **Brainstorming ou de recherches de pistes d'écoconception**

9.1 L'élaboration des listes de contrôle :

- Elle ne peut se faire sans des connaissances avérées sur les produits considérés.
- Elle nécessite des compétences en matière d'évaluation environnementale.
- Elle doit s'appuyer sur des méthodes quantitatives d'évaluation des impacts.
- Elle doit mettre en place des indicateurs quantitatifs ou qualitatifs des principales caractéristiques environnementales des produits considérés.
- Elle ne peut pas être générale. Elle est donc spécifique à un type de produit.
- A ce titre, chaque entreprise/organisation est amenée à élaborer ses propres listes de contrôles pour les produits qu'elle déploie

9.2 La forme du radar de VENTERE :

L'idée générale est d'adopter La roue de stratégie de BREZET qui, mise sous forme de radar, est appelée Check-list ou Radar De VENTERE (dans ce cas, la méthode, qui reste qualitative, tente de quantifier chacun des items de la roue de stratégie, d'où la nécessité d'indicateurs précis et de méthodes d'évaluation de ces indicateurs)

Figure 23 : Forme du radar de VENTERE



10. Conclusion :

Pour conclure, Certains outils peuvent suffire au concepteur pour engager une démarche d'écoconception.

Mais d'autres outils existent, à la fois plus pertinents et plus lourds. Car dès lors qu'il faut garder une pensée cycle de vie, dans la mise en œuvre d'une démarche d'écoconception, il paraît naturel de s'orienter vers la méthodologie Analyse du Cycle de Vie, méthode qui présente l'avantage d'être normalisés et reconnue

Partie 6:

Analyse et réalisation d'un inventaire d'un cycle de vie

1. Introduction :

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode essentielle dans l'écoconception. Elle permet d'évaluer l'impact environnemental d'un produit depuis son extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie. L'ACV offre une vision globale et complète, ce qui permet de cibler les zones critiques où des améliorations peuvent être apportées. L'objectif est de réduire l'empreinte écologique en évaluant la consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation de l'eau et d'autres facteurs environnementaux.

2. Définition de l'ACV :

L'analyse du cycle de vie (écobilan) est l'outil le plus abouti en matière d'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux. Cette méthode normalisée permet de mesurer les effets quantifiables de produits ou de services sur l'environnement

L'analyse de cycle de vie est un outil d'évaluation environnemental quantitatif, défini par les normes internationales ISO 14040 et 14044.

« L'analyse du cycle de vie (ACV) est une technique d'évaluation des aspects environnementaux et des impacts environnementaux potentiels associés à un système de produits ». (ISO 14044)

D'après la norme ISO 14040, l'ACV est une *« compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie »*.

L'ACV permet d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit ou d'un système sur l'ensemble de son cycle de vie avec une approche multicritère. Pour cela, les flux entrants et sortants du produit ou du service étudié, pour chacune de ses étapes de vie, sont comptabilisés et associés à des impact environnementaux (changement climatique, eutrophisation, raréfaction des ressources, etc...).

L'analyse de cycle de vie est une prise en compte exhaustive de tous les flux comptabilisés de manière significative dans l'ensemble du cycle de vie, dans le but est de connaître les impacts enregistrés sur l'environnement et ce pour plusieurs critères d'impacts.

Pour chacune des étapes du cycle de vie d'un produit, il faut recenser les flux de matières et d'énergie. Les impacts environnementaux sont ensuite quantifiés sur l'ensemble du cycle de vie.

3. Pourquoi faire un ACV :

Les entreprises sont de plus en plus nombreuses à avoir saisi l'importance d'avoir une bonne compréhension de l'impact environnemental de leurs produits. La réalisation d'un bilan carbone permet d'avoir une première vision de cet impact. Mais c'est une vision très globale, à l'échelle de l'entreprise et uniquement sur l'indicateur changement climatique. C'est là que l'ACV prend tout son intérêt : elle permet de zoomer sur l'impact non plus climatique mais environnemental d'un ou de plusieurs produits ou services.

4. Cadre méthodologique :

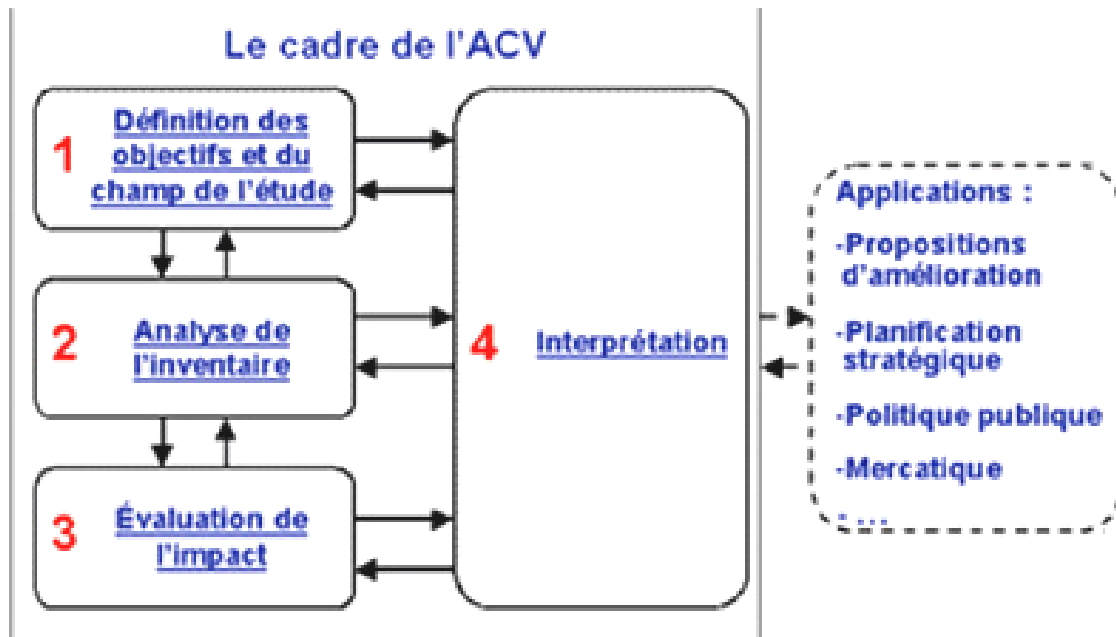
Le cadre méthodologique de l'ACV a été normalisé entre 1997 et 2000 par la série de normes ISO 14040 et ISO 14044 (regroupant les norme ISO 14041, 14042 et 14043) et comprend quatre étapes:

- La définition des objectifs et du champ de l'étude (frontières de l'étude, objectifs, unités fonctionnelles);
- L'analyse de l'inventaire du cycle de vie (ICV) (collecte d'information pour renseigner l'étude) ;
- L'évaluation des impacts environnementaux du cycle de vie (EICV qui comprend la classification, la caractérisation et l'évaluation globale des impacts) (renseigner tous les flux et l'inventaire pour intégration dans le logiciel, faire le choix des méthodes de calcul et lancer le calcul);
- L'interprétation des résultats (interpréter les graphiques et tableaux de chiffre sortis par le logiciel)

5. Comment réaliser un ACV :

La méthodologie de l'analyse du cycle de vie s'articule autour de quatre étapes. Celles-ci sont à la fois distinctes et interdépendantes, car tout au long de l'étude de fréquents retours sont nécessaires, ce qui rend la démarche générale itérative

Figure 24 : Les 4 étapes de l'ACV selon les normes ISO 14040 et 14044



1.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude :

Définition des objectifs de l'ACV, et précision des application s: **écoconception, comparaison ou déclaration environnementale.**

Préciser la cible de l'étude (**interne ou externe à l'entreprise**), ainsi que **la manière dont seront divulgués les résultats** (pour des affirmations comparatives par exemple).

Le champ de l'étude doit préciser les fonctions du produit étudié, l'unité fonctionnelle choisie (diapo suivante), **les frontières du système étudié et les limites de l'étude.**

C'est aussi à ce stade que les **différentes règles pour les calculs appliqués à l'étude seront arrêtées.**

Une définition claire de ces éléments est essentielle pour garantir la cohérence et la pertinence de l'étude (BAUMAN & all, 2004)

Exemple :

L'unité fonctionnelle est l'unité de mesure utilisée pour évaluer le service rendu par le produit: si un stylo **A** génère deux fois moins d'impacts sur l'environnement qu'un stylo **B**, mais que le stylo **A** doive être renouvelé au bout de **10 km** d'écriture alors que le stylo **B** couvre une longueur d'écriture de **20 km**, il faut multiplier les impacts du stylo **A** par deux

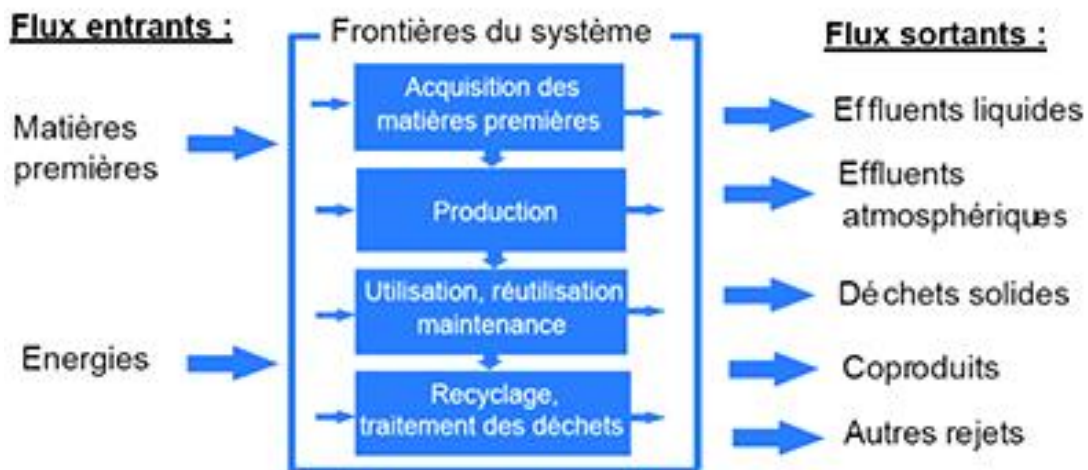
pour pouvoir les comparer à ceux du stylo **B**. Résultat : les impacts réels des deux stylos sont équivalents.

1.2 Inventaire de cycle de vie (ICV) :

Cette étape consiste à dresser l'**inventaire des flux de matières et d'énergies entrants et sortants**, associés aux étapes du cycle de vie rapporté à l'unité fonctionnelle retenue (CURRAN M.A, 2012).

L'**inventaire est donc une comptabilité analytique des flux**. Pour cela, deux types de données sont collectées : **les facteurs d'activité** (kWh consommés, km parcourus, tonnes transportées...) et **les facteurs d'émission** (g de Nox-oxydes d'azote- émis dans l'air, g de PO4 émis dans l'eau...). Ces données spécifiques (ou primaires) peuvent être complétées par des données génériques (ou secondaires), issues de la bibliographie ou de calculs, lorsque les premières ne suffisent pas ou lorsqu'elles ne sont pas accessibles.

Figure 25 : inventaire de cycle de vie (Selon ADEME)



L'inventaire est une collecte de données et est généralement effectué à l'aide **d'un logiciel d'ACV**, mais **peut aussi l'être artisanalement, sous un tableur**.

C'est l'étape la plus délicate de l'ACV car les risques d'erreurs sont importants.

Elle requiert une attention particulière et un contrôle extérieur.

1.3 Evaluation des impacts :

Elle consiste à transformer les données de l'inventaire en impacts environnementaux potentiels en les reliant à des catégories d'impact pertinentes, telles que le réchauffement climatique, l'appauvrissement de la couche d'ozone, l'acidification et la toxicité humaine, ce qui permet de mieux comprendre d'ampleur des effets environnementaux des flux identifiés lors de l'ICV à l'aide des logiciels (SimaPro, Gabi, OpenLCA...) (Pennington, D.W & all, 2004).

À partir **des flux de matières et d'énergies recensés**, et en fonction des indicateurs et de **la méthode de caractérisation** sélectionnée, on va évaluer les impacts potentiels.

Différentes façons existent pour caractériser les flux inventoriés en indicateurs d'impact environnemental de différents niveaux.

Les plus reconnues et utilisées aujourd'hui caractérisent **les flux en indicateurs d'impacts potentiels « mid-point »** ; d'autres vont à un second niveau de caractérisation pour obtenir des **indicateurs de dommages potentiels « endpoint »**.

Exemples d'indicateurs: le risque sur la santé humaine, le risque pour les écosystèmes,.

1.3.1 Les méthodes orientées problèmes et la quantification des impacts intermédiaires (mid-point) :

Généralement on distingue en termes d'impacts :

- **Des effets primaires**, dont les origines sont liées directement aux activités étudiées (ex.: l'émission de gaz,)
- **Des effets secondaires**, qui sont en fait les conséquences des activités (par exemple la déplétion de l'ozone stratosphérique génère une augmentation des rayons UV touchant le sol, ce qui cause ensuite des problèmes de santé : cataracte et cancer).

$$SI_i = \sum_s F_{s,i} * M_s$$

- **SI_i**: Le score de caractérisation intermédiaire pour la catégorie *i*.

- $FI_{s,i}$: Le facteur de caractérisation intermédiaire de la substance s dans la catégorie intermédiaire i .
- M_s : La masse émise ou extraite de la substance " s ".

Exemple: Le potentiel à effet de serre de 7 pour le méthane (CH₄) signifie qu'une émission de 1 kg de méthane équivaut à 7 kg de CO₂.

1.3.2 Les méthodes orientées dommages et la quantification des impacts finaux (end-point)

Les méthodes orientées dommages ont pour principale vocation de regrouper les impacts en fonction des résultats dans la chaîne de cause à effet.

Ainsi, au lieu de parler d'émissions de gaz, les catégories d'impact vont quantifier l'impact comme le dommage sur la santé humaine (cancers, cataractes, etc.)

La caractérisation des dommages permet d'évaluer la contribution des impacts *mid-point* à **une ou plusieurs catégories de dommages sur un sujet à protéger**

Joliet et al proposent de **quantifier les dommages engendrés par unité des différentes substances de référence** (facteurs de caractérisation des dommages) **et de les multiplier par les scores d'impacts intermédiaires**, ce qui donne par somme le score de caractérisation des dommages pour chaque catégorie

$$SD_d = \sum_i FD_{i,d} * SI_i$$

- SD_d : le score de caractérisation de dommages pour la catégorie d
- $FD_{i,d}$: le facteur de caractérisation de dommages reliant la catégorie intermédiaire i à la catégorie de dommages d
- SI_i : Le score de caractérisation intermédiaire pour la catégorie i .

1.3.3 La caractérisation des dommages (mid-point) :

Généralement on distingue en termes d'impacts :

- a) Des effets primaires, dont les origines sont liées directement aux activités étudiées (ex.: l'émission de gaz...),

- b) Des effets secondaires, qui sont en fait les conséquences des activités (par exemple la déplétion de l'ozone stratosphérique génère une augmentation des rayons UV touchant le sol, ce qui cause ensuite des problèmes de santé : cataracte et cancer).

1.3.4 La caractérisation des dommages end-point :

Dans les méthodes *end-point*, les impacts sont agrégés en quatre catégories (d) distinctes ;

Pour les **quatre catégories de dommages** prises en compte, les résultats pouvant être obtenus sont respectivement :

- a) **Les facteurs de dommages sur la santé humaine** (destruction de la couche d'ozone stratosphérique, radiations ionisantes, effets respiratoires et effets cancérogènes et/ou non-cancérogène) qui transforment les **kg** de substance équivalente en années de vie perdues.
- b) **Les dommages sur la qualité des écosystèmes** qui permettent d'évaluer la fraction d'espèce disparue sur un **m²** durant une année.
- c) **Les unités de dommages des catégories "acidification" et "eutrophisation aquatique" ainsi que le "changement climatique"** qui sont identiques aux unités de score *mid-point* (intermédiaires)
- d) **Pour ce qui concerne les ressources** (extraction de minerais et des énergies non renouvelables), les scores intermédiaires sont transformés en **MJ/unité extraite**, représentant l'énergie additionnelle devant être utilisée dans le futur à cause de la baisse des quantités de minerai dans les mines

1.4 Interprétation des résultats obtenus en fonction des objectifs retenus :

C'est la phase finale qui consiste à analyser les résultats obtenus en identifiant les points critiques, en évaluant la qualité des données et en vérifiant la cohérence de l'étude, ce qui permet de formuler des conclusions et des recommandations tout en identifiant les limitations éventuelles de l'AVC réalisée (Guinée J.B, 2002).

Cette étape est itérative avec les trois précédentes, de manière à toujours valider que les résultats obtenus répondent aux objectifs de l'étude (par exemple, il arrive que la non

disponibilité de certaines données puisse conduire, en cours d'étude, à restreindre le champ de l'étude). C'est également ici que l'on évaluera la robustesse des résultats.

6. Avantages et inconvénients de l'ACV :

Nous pouvons résumer les avantages et inconvénients de l'ACV dans le tableau suivant :

Tableau 5

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Outil le plus puissant permettant d'évaluer les impacts environnementaux de manière la plus exhaustive - Outil abordable à différents secteurs d'activités en modifiant les bases de données - Outil le plus normalisé, et le plus scientifique, qui permet une analyse la plus précise possible des impacts environnementaux d'un produit. - Outil le moins critiquable qui permet une communication plus sûre (à condition de respecter scrupuleusement les recommandations des normes) 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'acquisition du logiciel de l'ACV - Résultats dépendants des hypothèses du champ d'étude et de la qualité des données, la rigueur de l'étude - Logiciel ne donne pas de solutions d'éco-conception seulement une analyse des impacts sur l'environnement qu'il faudra traduire pour développer une stratégie d'éco-conception

7. Conclusion :

La démarche de l'ACV et la réalisation de l'inventaire permet non seulement d'identifier les points critiques où des améliorations peuvent être apportées, mais aussi de prendre des décisions éclairées en matière de développement durable. Cependant, il reste encore des défis à relever, notamment ce qui concerne la collecte des données précises et la standardisation des méthodes d'évaluation. En somme l'ACV et la réalisation de l'inventaire constituent un levier essentiel pour une transition vers les bonnes pratiques.

Partie 7:

Développement durable, TIC et écoconception

1. Introduction :

Le développement durable **n'est ni une discipline ni une matière au sens académique du terme.**

Même si une culture générale sur les enjeux sociétaux est nécessaire pour être un citoyen ou un professionnel responsable, le développement durable va bien au-delà d'une simple somme de connaissances ou de bonnes conduites prédéfinies, il s'agit **avant tout d'un processus impliquant l'agir.**

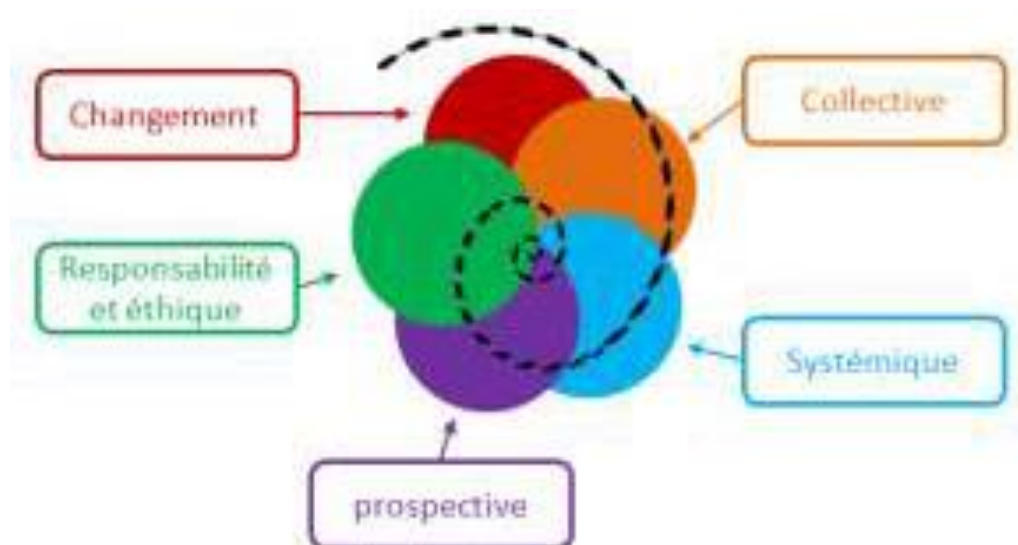
Ce processus dépend donc de **compétences que l'on peut baliser.** La notion de compétence (Le Boterf) **intègre les savoirs, savoirs faire, savoir être mais aussi le devoir, vouloir, savoir et pouvoir agir en situations.**

2. Le guide/référentiel des futurs acteurs du développement durable :

Former les futurs acteurs d'un développement durable dans le supérieur signifie former à une vision systémique, prospective et collective du monde de demain, en intégrant une prise de responsabilité tout en conservant une vision éthique, et en permettant et en accompagnant les changements nécessaires pour vivre ensemble demain (MULNET, 2017).

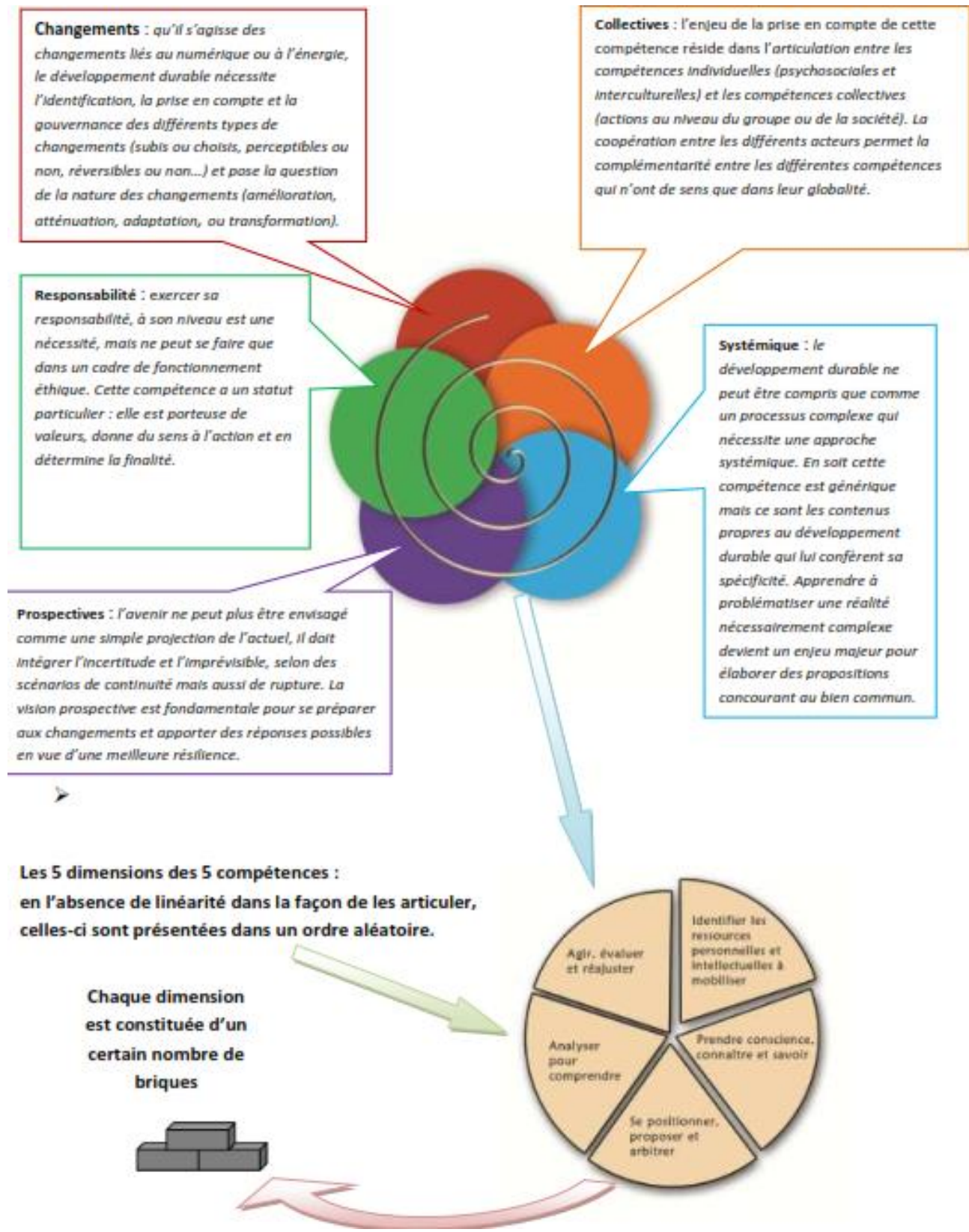
Le guide est un référentiel de compétences transversales adaptable dans tous les cursus de formation de l'ingénieurs dont l'objectif est de répondre à l'objectif suivant : *« former à une vision systémique, prospective et collective du monde de demain, en intégrant une prise de responsabilité tout en conservant une vision éthique, et en permettant et en accompagnant les changements nécessaires pour vivre ensemble demain »*

Figure 26 : La spirale des cinq compétences transversales



La dynamique générale d'acquisition des cinq compétences du guide/référentiel peut être schématisée par une spirale :

Figure 27 : Les 5 compétences en quelques mots



Chaque compétence prend appui sur plusieurs **principes** fondamentaux qui permettent d'en saisir le sens profond.

Chaque compétence comporte cinq **dimensions** (Prendre conscience ; connaître et savoir ; identifier les ressources mobilisées nécessaires ; analyser pour comprendre ; se positionner, proposer et arbitrer ; agir, évaluer et réajuster). Le cheminement entre ces dimensions n'est pas linéaire : sauts et rétroactions sont possibles voire inévitables. C'est ainsi que **la prise de conscience peut intervenir à chacune des dimensions** et pas seulement dans celle intitulée : « Prendre conscience, connaître et savoir ».

Dans chacune de ces cinq dimensions de chacune des cinq compétences, on retrouve des éléments constitutifs qualifiés de **briques**. La mobilisation d'un certain nombre d'entre elles permet de construire les différentes compétences au fur et à mesure de l'action.

Former aux compétences revient à construire une action avec ces briques. La méthodologie consiste donc à mobiliser certaines briques dans ces différentes dimensions pour aboutir finalement à l'action. Sans action la compétence ne peut être considérée comme acquise. Si l'utilisation de toutes les briques n'est pas une obligation, l'action mobilise toutes les compétences à des degrés différents. Pour une formation donnée, le développement durable est alors une spirale d'acquisition de cinq compétences transversales, sur des dimensions données à l'aide de briques choisies par les formateurs qui scénarisent et mettent en scène les formations sans changer les objectifs professionnels initiaux.

3. Les compétences psychosociales :

Nous faisons référence ici à la définition de l'Organisation Mondiale de la Santé :

« Les compétences psychosociales sont la capacité d'une personne à répondre avec efficacité aux exigences et aux épreuves de la vie quotidienne. C'est l'aptitude d'une personne à maintenir un état de bien-être mental, en adaptant un comportement approprié et positif, à l'occasion des relations entretenues avec les autres, sa propre culture et son environnement... » (O.M.S., 1993)

Cette même organisation en liste 10 compétences psychosociales associées deux par deux :

- a) **Savoir prendre des décisions / Savoir résoudre les problèmes**
- b) **Savoir se faire comprendre / Etre habile dans les relations**
- c) **Avoir une pensée critique /Avoir une pensée créative**

- d) **Se connaître soi-même/ Avoir de l'empathie pour les autres**
- e) **Savoir gérer le stress / Savoir gérer ses émotions**

4. Lexique à connaître et à développer :

Définitions adoptées par les concepteurs de ce guide de référence pour certains concepts cités.

- **Action** : dans une optique compétence l'action est en tension (dialectique et dialogique) avec les approches purement intellectuelles.
- **Agilité** : l'agilité est une perpétuelle recherche d'équilibre entre une dimension active, réactive et proactive. L'agilité qui n'est pas un état stable et définitif alimente constamment l'action.
- **Attitudes** : c'est l'ensemble des dispositions individuelles et collectives acquises par l'expérience vécue.
- **Culture** : l'idée de culture renvoie à la diversité des mœurs, des comportements et des croyances partagées et valorisées dans une société.
- **Créativité** : Être créatif, c'est avoir des idées ; la créativité relève tout autant de la réflexion que de l'intuition.
- **Décision** : décider suppose d'avoir le choix entre plusieurs solutions permettant de résoudre un problème. Les processus mis en œuvre sont à la fois conscients et inconscients ce qui peut poser la question du libre arbitre.
- **Ethique** : l'éthique minimale (reposant sur la liberté, l'équité, la vérité et la solidarité) est le socle sur lequel, en dépit de nos différences, nous pouvons nous accorder pour fonder ce qui constitue l'humanité.
- **Innovation** : être innovant, c'est mettre en œuvre des idées; l'innovation relève de l'action.
- **Morale** : c'est l'ensemble des règles qui permet aux sociétés humaines de durer en protégeant l'homme. La morale diffère du moralisme qui correspond à la propension de certains à vouloir universaliser les principes qui découlent de leur propre opinion.
- **Norme** : la norme renvoie à la moyenne et à ce qui est socialement admis dans un groupe ou une société.

- **Principes d'action** : ce sont des principes qui définissent les modes d'action, en permettant la mise en œuvre des autres principes (en cohérence avec les objectifs et les valeurs qui les sous-tendent).
- **Principes organisateurs** : ce sont des principes qui régissent le fonctionnement global et sur lesquels reposent toute l'organisation de ce système. □
- **Résilience** : c'est la capacité d'un système à absorber les perturbations et à se réorganiser pour conserver une structure et un fonctionnement qui peut être différent.
- **Responsabilité**: qu'elle soit de nature juridique ou éthique, individuelle ou collective, c'est la capacité à répondre à et de quelque chose devant quelqu'un.
- **Valeur** : il s'agit d'une représentation ou d'un énoncé porteur d'affects, qui détermine nos jugements en désignant le bien, le bon, le beau ou le vrai de manière plus ou moins explicite.

5. Conclusion :

L'Intégration de la "**Pensée durabilité**" dans la réflexion et l'action de l'élève permet une prise de **responsabilité sociale** tout en conservant une vision **éthique**, et en permettant et accompagnant les **changements** nécessaires pour un « *vivre ensemble demain* ». L'objectif de cette démarche est de former des ingénieurs **responsables envers la société** et d'instaurer un **sens civique** et de **stimuler le comportement écologique de l'apprenant**. Ceci le conditionnera dès sa première année de formation d'ingénieur pour un changement de paradigmes et une vision systémique des ODD dès son entrée de parcours de formation. **Évaluer pour anticiper et limiter l'impact sur l'environnement des produits** qu'il concevra durant ses stages pratiques en entreprises, mais aussi après intégration du monde du travail renvoie à la finalité de cette démarche.

Conclusion générale :

La terre ayant perdu son équilibre il y a bien longtemps, ne peut survivre ainsi. Et l'humain, étant le premier responsable de la fragilité de sa planète, n'a plus le droit de continuer à vivre de cette manière. Des conséquences irréversibles ne tarderont pas à devenir des vérités, si l'on ne tire pas le frein à main afin de changer de conduite.

Tenir compte de ses émissions de carbone, établir des bilans et des calculs, faire la transition énergétiques... Ce ne sont que des outils qui nous servent à gagner du temps. Mais si nous ne faisons pas face aux faits tels qu'ils sont et ne mettons pas en place un système de réforme de nos anciennes habitudes nocives, la terre comme ses habitants ne seront plus qu'une vieille étoile qui s'est éteinte.

Enfin, C'est par ces actions **collectives**, **systémiques** et **prospectives** que doivent être formés les ingénieurs/acteurs d'aujourd'hui et de demain pour une prise de **responsabilité sociale** tout en conservant une vision **éthique**, et en permettant et en accompagnant les **changements** nécessaires pour un *“vivre ensemble demain”* car *“la meilleure façon de prédire l'avenir est de le créer”* (Drucker P.)

Bibliographie :

- « Extrait de la Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable relatif à la gestion intégrée des ressources et demandes en eau ». (Décembre 2007). *In Plan Bleu PNUE*
- « Guide Compétences Développement Durable & Responsabilité Sociétale », MULNET Didier, 2017.
- Baudry, M. (2020). *L'éco-conception : un enjeu stratégique pour les entreprises*. Presses Universitaires de France
- Baudry, M. (2020). *L'écoconception : un enjeu stratégique pour les entreprises*. Presses Universitaires de France
- BAUMAN H. & TILLMAN A-M. 2004. (the hitch hicker's) guide to LCA: An orientation in life cycle assessment Methodology and Application .
- BELLINI, B., JANIN, M. *Écoconception : état de l'art des outils disponibles*. Techniques de l'Ingénieur, 2011, G6010-v2.
- Cazalot, L., & Lemoine, P. (2018). *Éco-conception et développement durable : concepts et applications*. Presses de l'Université du Québec
- *Comment améliorer l'empreinte eau*. (2020, juillet 24). Consulté le décembre 11, 2024, sur Centre d'information eau: <https://www.cieau.com/eau-transition-ecologique/solutions/comment-ameliorer-lempreinte-eau/>
- CURRAN M.A (2012) (Life cycle assessment handbook: a guide for environmentally sustainable products)
- Girod, B. (2019). *Les entreprises face à l'environnement : écoconception et responsabilité sociétale*. Dunod
- Goswami, D. Y. (2015). *Principles of Solar Engineering (3rd ed.)*. Taylor & Francis.
- Guinée, J.B. 2002. (Handbook of life cycle assessment: operational guide to the ISO standards)
- Herring, H. (2017). *Energy Efficiency and the Transition to Sustainability*. Springer
- Herring, H. (2017). *Energy Efficiency and the Transition to Sustainability*. Springer
- Kaya, Y. *Environment, Energy, and Economy : strategies for sustainability*.
- L'étiquette évolue, GIFAM, Edition 2020: Page 7
- La nouvelle étiquette énergie, ADEME, Edition 2012
- Lehman, M. (2022). *Circular Economy and Sustainable Design*. Springer.

- Les énergies renouvelables et l'eau en Algérie », BOUBOU-BOUZIANI Naima, In Revue COST « Communication Science & technology», N° 17, Juillet 2016, pp : 100-112. Oran, Algérie
- Lund, H. (2014). *Renewable Energy Systems: A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions*. Academic Press
- Norme ISO 14020
- Norme ISO 14040
- Norme ISO 14044
- Norme ISO 14046
- Norme ISO 14062
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 1993.
- PENNEQUIN G. & MOCILNIKAR A. T. (2011). *L'atlas du développement durable*. Groupe Eyrolles. Édition d'Organisation
- Pennington, D.W., Potting, J., Finnveden, G., & Jolliet, O. 2004 (life cycle impact assessment)
- Rapport Bruntland, « *Le développement durable répond aux besoins du présent sans compromettre les capacités des générations futures aux leurs* », 1987
- VERCUEIL, A. (2021). *L'éco-conception, un levier stratégique pour l'entreprise*. Eyrolles.
- Wackernagel & Rees, 1999, *Notre empreinte écologique : Comment réduire les conséquences de l'activité humaine sur Terre*, p. 207, Écosociété
- Watrinet, E. (2022, octobre). *Empreinte carbone: définition, principes et méthodes de calcul*. Récupéré sur Carbo academy
- Wilson, E. S. (2020). *Green Innovation: Sustainability through Design*. Wiley-Blackwell

Table des matières :

Préambule	2
Sommaire	3
Introduction générale.....	4

Partie 1:

Le pourquoi d'une réflexion sur l'écoconception

1. Introduction	6
2. Définition de l'écoconception	6
3. Pourquoi l'écoconception.....	6
4. Objectifs de l'écoconception.....	7
5. Les avantages de l'écoconception	8
6. Une approche globale du concept	9
7. Les principes de l'écoconception	9
8. Approche produit et la norme ISO 14062	9
9. Cycle de vie d'un produit.....	10
10. Choix de stratégies d'éco conception.....	11
11. Conclusion	11

Partie 2:

Introduction à l'écoconception et aux problématiques énergétiques et environnementales

1. Introduction.....	13
2. Problèmes énergétiques et environnementaux.....	13
2.1 Les enjeux environnementaux	13
2.2 Raréfaction des ressources	14
2.3 Lien entre efficacité énergétique et énergies renouvelables	15
3. Energies et énergies renouvelables	16
3.1 Définition de l'énergie	17
3.2 Mesure de l'énergie	18
4. Types d'énergies.....	18
4.1 Les énergies fossiles	18

4.2 L'énergie nucléaires	19
4.3 Les énergies renouvelables	19
5. L'efficacité énergétique	22
5.1 Outils et politiques pour renforcer l'efficacité énergétique	22
5.2 Le programme algérien d'efficacité énergétique	25
6. Conclusion.....	25

Partie 3:

Ecoconception et entreprise

1. <u>I</u>ntroduction.....	27
2. Ecoconception et entreprise	27
3. Pourquoi intégrer l'écoconception en entreprise	27
3.1 Les bénéfices économiques	28
3.2 Les bénéfices environnementaux	28
4. Comment intégrer l'écoconception dans une entreprise	28
4.1 Structurer le projet	28
4.2 Évaluer la performance environnementale du produit/service	28
4.3 Améliorer la performance environnementale du produit/service	29
4.4 Communiquer sur l'écoconception au sein de l'entreprise.....	29
5. L'écoconception: un atout pour la stratégie de l'entreprise et un levier de performance économique	29
5.1 Des gains sur les couts	29
5.2 Un atout pour la stratégie de l'entre.....	30
6. Intérêts des produits/services éco-conçus pour l'entreprise.....	31
7. Conclusion.....	31

Partie 4:

Etapas et niveaux d'écoconception

1. Introduction.....	33
2. Les étapes de la démarche d'écoconception.....	33
3. Niveaux de maturité de la démarche écoconception	34
4. Stratégie de la démarche d'écoconception	35
5. L'analyse fonctionnelle dans l'écoconception.....	37
5.1 Le cahier de charges fonctionnels.....	38

5.2 L'analyse fonctionnelle	39
6. Conclusion.....	40

Partie 5:

Outils d'écoconception

1. Introduction.....	43
2. Les outils d'écoconception	43
3. Design for environment (Règle des 6 Re)	44
4. L'étiquette énergétique.....	45
5. L'empreinte écologique	46
5.1 Calcul de l'empreinte écologique	47
6. L'empreinte carbone (Inventaire GES).....	48
6.1 Classification des GES.....	49
6.2 Calcul des GES	49
6.3 Calcul selon l'équation de Kaya.....	50
7. L'empreinte eau	51
8. Le bilan matière	53
8.1 Les étapes principales d'un bilan de matière.....	54
9. Liste de contrôle ou radar de VENTERE.....	56
9.1 L'élaboration des listes de contrôle	56
9.2 La forme du radar de VENTERE	56
10. Conclusion	57

Partie 6:

Analyse et réalisation d'un inventaire d'un cycle de vie

1. Introduction.....	59
2. Définition de l'ACV	59
3. Pourquoi faire un ACV	60
4. Cadre méthodologique	60
5. Comment réaliser un ACV	60
5.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude	61
5.2 Inventaire de cycle de vie (ICV)	62
5.3 Evaluation des impacts	63
5.3.1 Les méthodes orientées problèmes et la quantification des impacts intermédiaires (mid-point).....	63

5.3.2 Les méthodes orientées dommages et la quantification des impacts finaux (end-point).....	64
5.3.3 La caractérisation des dommages (mid-point)	64
5.3.4 La caractérisation des dommages end-point.....	65
5.4 Interprétation des résultats obtenus en fonction des objectifs retenus	65
6. Avantages et inconvénients de l'ACV	66
7. Conclusion	66

Partie 7:

Développement durable, TIC et écoconception

1. Introduction	68
2. Le guide/référentiel des futurs acteurs du développement durable.....	68
3. Les compétences psychosociales	70
4. Lexique à connaître et à développer	71
5. Conclusion.....	72
Conclusion générale.....	73
Bibliographie.....	74
Table des matières.....	76