
1 Introduction

En 2019 la teneur en CO₂ dans l'atmosphère a été 410 ppm. La dernière fois que la Terre a connu une teneur en CO₂ comparable a été il y a 3 à 5 millions d'années. Même pendant l'année 2020 (Confinement à cause de la pandémie du COVID) le niveau du CO₂ dans l'atmosphère a augmenté (OMM* de l'ONU).

L'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère est la conséquence des activités humaines (Combustion des énergies fossiles, ...) ce qui a été prouvé par le GIEC[†] (2023). Elle a comme conséquence un réchauffement de la terre (selon les scénarios sur la base de 6000 études scientifiques de 0,3 à 4,8 K en 100 ans. Donc en 2070 _____ de la population vivra dans des zones si chaudes et invivables comme le Sahara aujourd'hui.

En plus, une élévation de la température s'accompagne d'une élévation du niveau moyen _____ dû à la fonte de calottes de neige et des glaciers (3 m/an) ce qui aura comme conséquence que 2/3 du Bangladesh sera submergé. En 2019 on comptait 20 millions de _____ et on prévoit en 2050 250 millions et une augmentation des catastrophes naturelles :

* Organisation Météorologique Mondiale

† Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du climat

Déjà aujourd'hui les catastrophes naturelles ont augmenté au cours des 40 dernières années : des vagues de chaleur ont augmenté de 3,5 fois, des inondations de 2,5 fois, ... (surtout en Chine (577), USA (467) et Inde (321)) (ONU) :

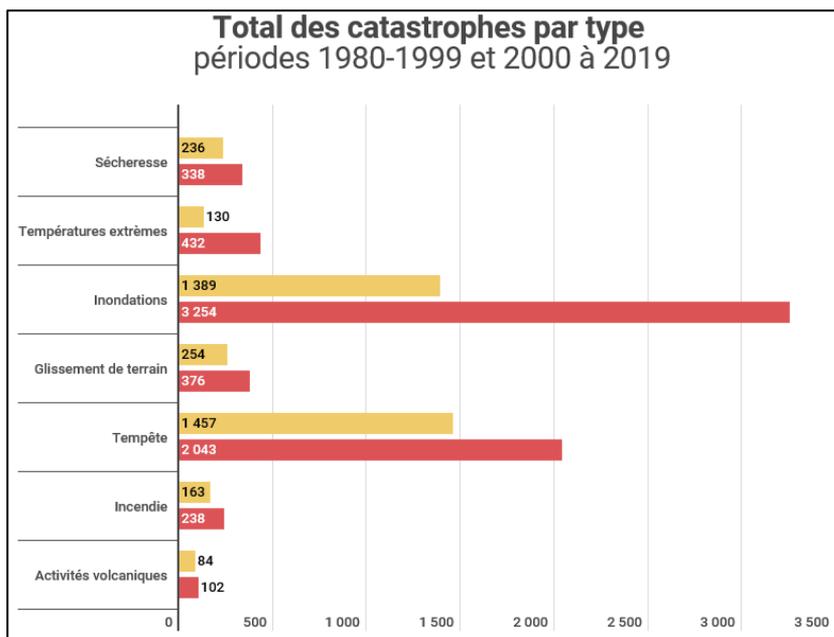


Figure 1 : Augmentation des catastrophes au cours des derniers 20 ans (ONU)

2 Démarche pour établir un bilan carbone (exemple agrocarburants)

Les agrocarburants (ou biocarburants) :

Les agrocarburants sont issus des matières végétales (biomasse) qui utilisent pour leur croissance le gaz carbonique présent dans l'atmosphère grâce au processus de la photosynthèse : Donc le gaz carbonique qui est produit quand on brûle les agrocarburants est à nouveau absorbé par la végétation utilisée pour la production des agrocarburants. _____

_____ .

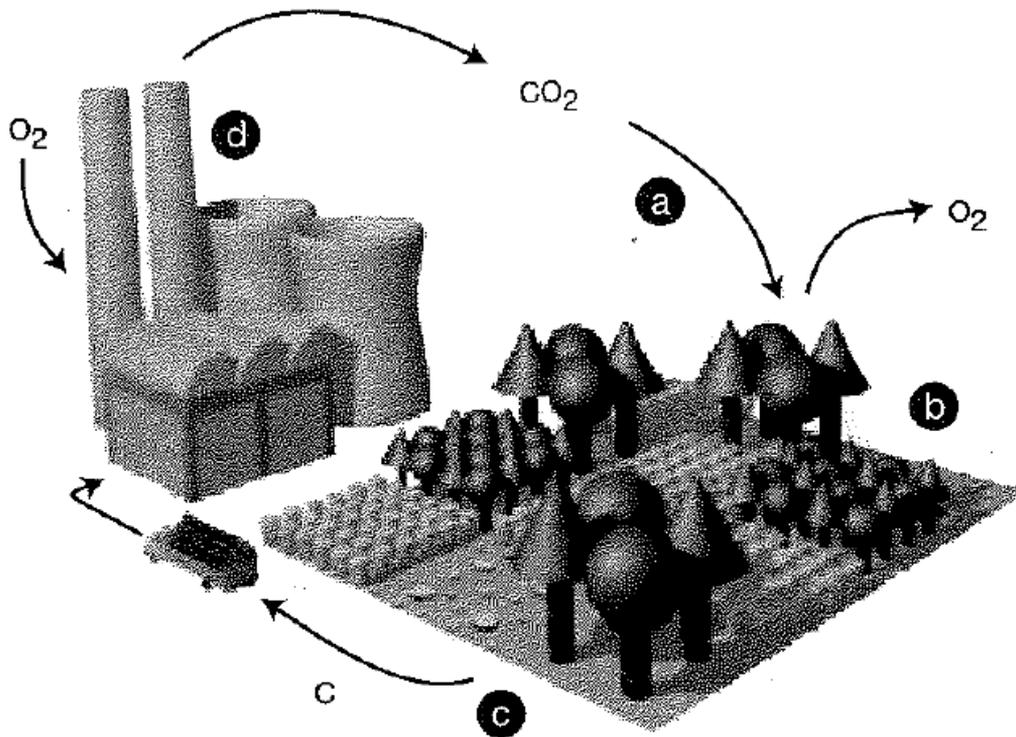


Figure 2 : L'agrocarburant : bilan CO₂ nul

Les agrocarburants sont déjà sur le marché et peuvent être achetés dans certaines stations-service.

→ I. Prendre en compte toutes les étapes

Afin d'évaluer si les agrocarburants diminuent les émissions du CO₂ une méthodologie basée sur le concept de _____ (ACV ; norme ISO 14040 à 44 ; en anglais : Life cycle analysis (LCA)) est utilisée. Cette méthode, appelée _____, repose sur l'étude de l'ensemble des étapes élémentaires d'une filière allant de l'obtention des matières premières à l'élaboration d'un produit jusqu'à la fin de vie du produit étudié (recyclage, valorisation thermique ou encore mise en décharge) :

- _____ - *extraction/production du pétrole brut dans le cas des carburants pétroliers ;*
- _____ - *culture, récolte et collecte de la biomasse dans le cas des agrocarburants*
- _____ étape de transport de la ressource depuis le lieu de production jusqu'au lieu de transformation de cette ressource en carburant
- _____ - *raffinage du pétrole brut en essence ou gazole dans le cas des carburants pétroliers ;*
- _____ - *raffinage de la biomasse en bioéthanol ou biogazole pour les agrocarburants*
- _____ combustion du carburant dans le moteur pour parcourir le cycle européen normalisé avec une voiture.

Cette approche globale de l'analyse est tout à fait indispensable pour éviter tout transfert de pollution. En effet, l'étude et l'optimisation d'une étape indépendamment des autres peuvent engendrer en contrepartie une augmentation des impacts sur une autre étape et donc une augmentation de l'impact sur le cycle de vie. Il faut donc rigoureusement définir le cadre de l'étude pour un carburant.

→ II. Prendre en compte l'impact des Intrants et Sortants (Impact négatif)

Il est important de préciser que les étapes d'approvisionnement en matières auxiliaires (_____ par exemple) et énergie auxiliaire (_____ par exemple) ainsi que celle du _____ sont également prises en compte :

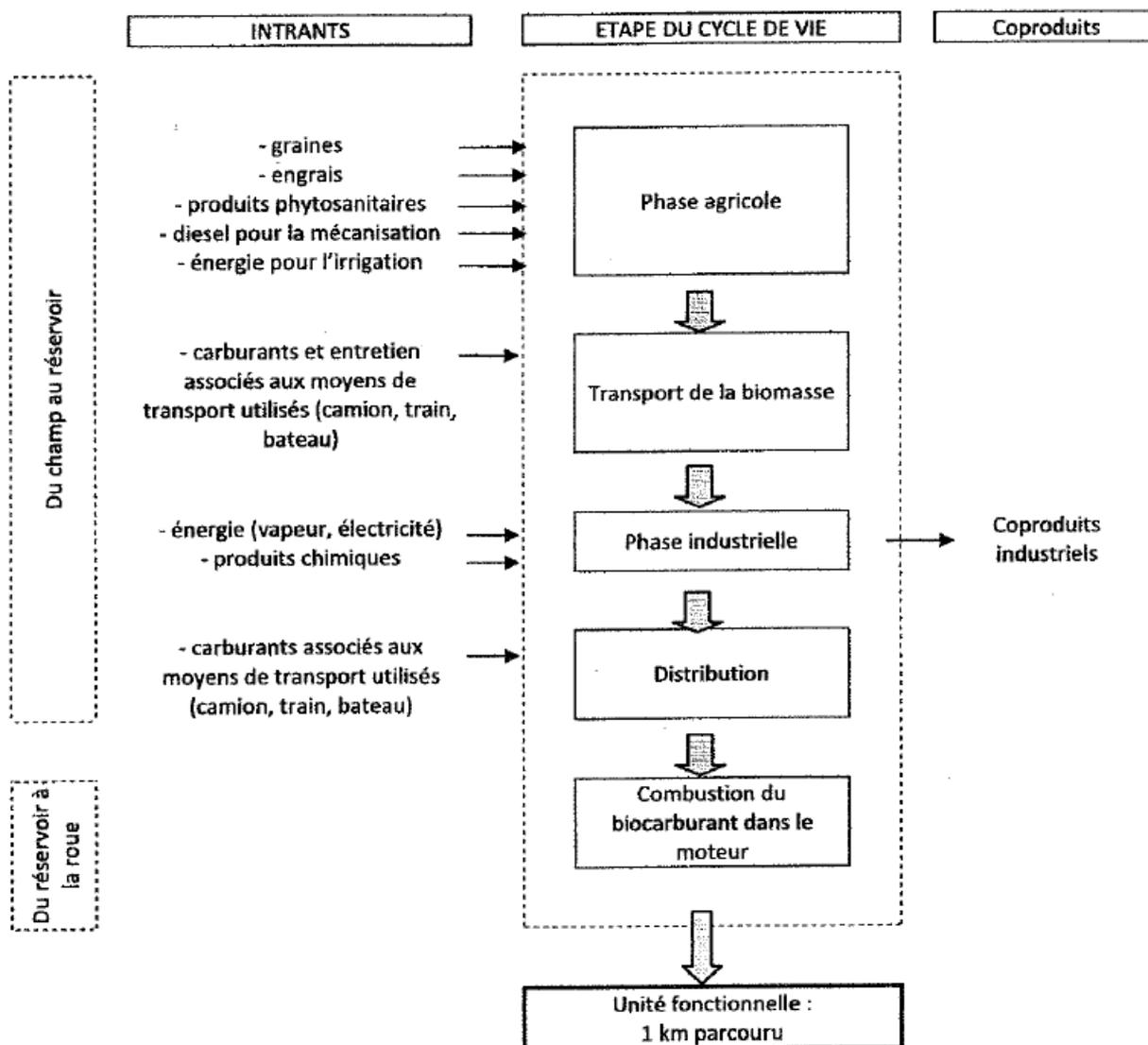


Figure 3 : Description du cycle de vie des filières biocarburants

→ III. Prendre en compte l'impact des coproduits (Impact positif)

Dans le cas de la production des agrocarburants, plusieurs coproduits de natures très distinctes sont générés en quantités importantes : en moyenne _____ par tonne d'agrocarburant. Par exemple, au cours de la production de biogazole (EMHV) à partir d'huile végétale de colza sont également produits pailles, tourteaux (dédiés à l'alimentation animale) et glycérine. Certaines études ignorent ces coproduits, _____

Une des possibilités est d'affecter les impacts (émissions de CO₂ ; consommation d'énergie fossile pour la transformation) aux différents produits au prorata de leurs valeurs économiques, de leurs masses ou encore _____ :

Etape	produit intermédiaire coproduit	Masse valorisée		PCI MJ/kg ms	Calcul	facteur d'allocation
Culture -> trituration	huile brute	0,44	kg hb/kg gr	36,0	$(0,44*36)/(0,44*36+0,49*17,1)$	65%
	tourteau	0,49	kg trt/kg gr	17,1		$(0,49*17,1)/(0,44*36+0,49*17,1)$
Semi-raffinage	huile neutre	0,98	kg hn/kg hb	36,0		98%
	huiles acides	0,02	kg ha/kg hb	36,0		2%
Wintérisation	huile neutre pure					100%
Estérification	biodiesel	0,99	kg bc/kg hn	37,2		94%
	glycérine	0,12	kg gl/kg hn	16,6		5%
	huiles acides	0,01	kg ha/kg hn	36,0		1%
Distribution	biodiesel				100%	100%

Tableau 1 : Détail du calcul d'allocation pour du biogazole à partir de tournesol
(kg ms ≙ kg masse ; kg gr ≙ kg grains ; kg bc ≙ kg biocarburant)

* PCI : Pouvoir calorifique inférieur : chaleur dégagée par la combustion de 1 kg de combustible [MJ/kg]

Exemple : admettons que la production de 1 l de biogazole (+ ses coproduits) engendre l'émission de 0,7 kg de CO₂. Dans ce cas on attribue

- au biogazole $0,65 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 0,7 \text{ kgCO}_2 = 0,42 \text{ kgCO}_2$,
- au coproduit « tourteau » $0,35 \cdot 0,7 \text{ kgCO}_2 = 0,245 \text{ kgCO}_2$,
- au coproduit « huile acide » (du Semi-raffinage) $0,65 \cdot 0,02 \cdot 0,7 \text{ kgCO}_2 = 0,009 \text{ kgCO}_2$
- au coproduit « glycérine » $0,65 \cdot 0,98 \cdot 0,05 \cdot 0,7 \text{ kgCO}_2 = 0,022 \text{ kgCO}_2$
- et au coproduit « huile acide » (de l'Estérification) $0,65 \cdot 0,98 \cdot 0,01 \cdot 0,7 \text{ kgCO}_2 = 0,004 \text{ kgCO}_2$

La somme de toutes les allocations de CO₂ donne à nouveau 0,7 kg.

Une seconde méthode dite « _____ » est également employée : elle consiste à affecter l'intégralité des impacts au seul agrocarburant et à retrancher de cette valeur un « _____ » correspondant aux impacts qu'aurait généré

Exemple : si on considère que la glycérine coproduite lors de la production du biogazole se substitue à une glycérine produite dans l'industrie chimique, on utilisera le bilan de cette dernière filière pour calculer le crédit à allouer au biogazole. Admettons qu'on obtient 0,12 kg de glycérine pendant la production d'1 l de biogazole et la production de 0,12 kg de glycérine dans l'industrie chimique engendre une émission de CO₂ de 0,05 kgCO₂. Dans ce cas les 0,7 kg de CO₂ engendré pendant la production d'1 l de biogazole sont diminués de 0,05 kgCO₂ : le biogazole n'engendre donc plus que 0,65 kgCO₂. On fait pareil pour le tourteau et les huiles acides et on obtient la valeur finale pour la masse de CO₂ émis pour la production d'1 l de biogazole.

Bien que la méthode du prorata soit la plus facile à mettre en œuvre, la _____ est la méthode la plus juste.

→ IV. Prendre en compte l'impact des coproduits (Impact négatif)

La démarche consiste à lister et quantifier les flux entrants (matières, énergie, ...) et sortants (produits, rejets, ...) de chacune des étapes du cycle de vie et à calculer ensuite l'impact possible de ces consommations et émissions sur l'environnement. Par exemple pour _____ on comptabilise les trois principaux gaz à effet de serre : le CO₂

d'origine fossile*, le méthane CH₄ et le protoxyde d'azote (N₂O). Le bilan total est exprimé en _____ en utilisant des facteurs de conversion (appelés _____) traduisant l'effet de chacun de ces gaz à effet de serre sur 100 ans comparativement au CO₂[†]. Les résultats sont ensuite présentés en _____ (bilan émission CO₂) ou en MJ / km (bilan de consommation d'énergie fossile).

→ V. Contexte géographique

La définition du cadre de l'étude nécessite également la définition d'un _____ : Par exemple consommer 1 kWh d'électricité (80 % issus des centrales nucléaires) en France représente une émission de 100 g CO₂ par rapport à la consommation de 1 kWh (50 % issus des centrales à carburant fossile) en Allemagne représentant 500 g CO₂. Par ailleurs, les pratiques d'aujourd'hui ne sont pas nécessairement celles de demain : le bilan d'effet de serres des filières européennes de production de bioéthanol pourrait être grandement amélioré par l'usage de combustibles renouvelables comme énergie auxiliaire.

Les points énoncés dans les paragraphes précédents expliquent les écarts observés entre les différentes études d'évaluation des agrocarburants. Ils expliquent qu'on ne peut pas obtenir les mêmes chiffres du bilan environnemental pour le bioéthanol fabriqué au Brésil par rapport à celui des Etats-Unis ou de l'Europe.

* Le CO₂ issu de la combustion des agrocarburants n'est pas comptabilisé dans le bilan car on considère que ce CO₂ a été capté préalablement par la biomasse lors de sa croissance.

† Le PRG du CH₄ vaut 23 (Le PRG du CH₄ est plus élevé dans les 20 premières années : 85) et celui du N₂O 296

→ VI. Bilan carbone

	Emission de gaz à effet de serre [kg _{éq} CO ₂ /km]	Gain par rapport au carburant pétrolier de référence
Essence	0,198	0 %
Ethanol (issu de maïs)	0,096	52 %
Ethanol (issu de blé)	0,11	44 %
Ethanol (issu de betteraves)	0,075	62 %
Ethanol (issu de la canne à sucre)	0,064	68 %
Gazole	0,155	0 %
Biogazole (issu de tournesol)	0,043	72 %
Biogazole (issu de colza)	0,063	59 %
Huile végétale pure	0,057	63 %
Biogazole (issu de déchets (graisses animales))	0,014	90 %
Biogazole (issu de déchets (huile alimentaire usagée))	0,015	90 %
Biogazole (issu de l'huile de palme)	0,037	76 %
Biogazole (issu de soja)	0,036	77 %

Tableau 2 : Bilan « Energie primaire non renouvelable » et « Emission de gaz à effet de serre » pour différents agrocarburants

L'étude complète porte encore sur trois autres critères : le potentiel de toxicité humaine (surtout les polluants dans les gaz d'échappement), le potentiel de formation de l'ozone au sol et le potentiel d'eutrophisation.

3 Démarche pour établir un bilan carbone pour analyser les émissions de gaz carbonique d'une entreprise*

Le _____, développé par l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) et ensuite par l'ABC (Association Bilan Carbone), vise _____ (Gaz à Effet de Serre[†]) pour des organisations (entreprises, évènements, etc.) ou des territoires. Cette méthode permet d'identifier les sources de GES et de quantifier leurs émissions afin de pouvoir mettre en place un plan d'action d'atténuation (réduction des émissions) ou d'adaptation (réduction des conséquences du changement climatique).

La démarche Bilan Carbone[®] comporte 5 étapes citées dans la figure ci-dessous.

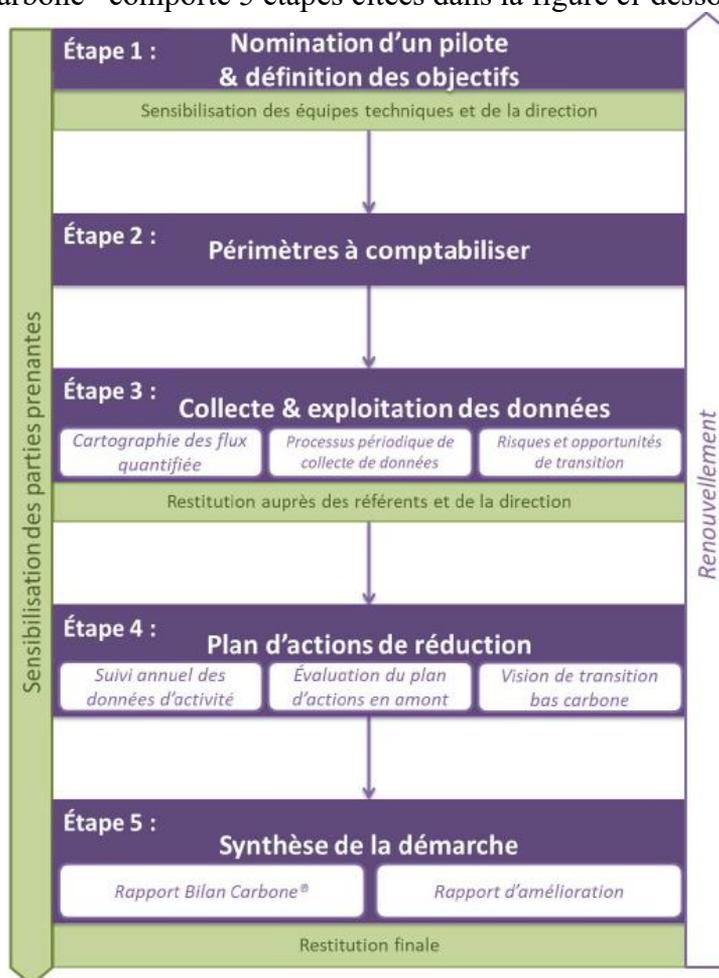


Figure 4 : La démarche Bilan Carbone[®] (Source : IFC)

* Chapitre issu du rapport de projet 2A des étudiants E. Gauvin, P. Burst, T. Decarroz et A. Franceschi

[†] Le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O, pendant la production de l'engrais), l'ozone (O₃) et la vapeur d'eau (H₂O) sont les gaz à effet de serre de l'atmosphère terrestre

- **Etape 1 : Nomination d'un pilote et définition des objectifs**

Lorsque la direction d'une entreprise décide d'entamer un Bilan Carbone[®], il faut désigner un pilote au projet. Il s'agit ensuite d'identifier les objectifs et les motivations (obligation réglementaire de quantification des émissions de GES incluant les catégories 1, 2 et 3 tous les 4 ans pour les entreprises de plus que 500 salariés ; volonté d'engagement dans la lutte contre le changement climatique ; ...) de ce projet **afin de faire adhérer les décideurs, les détenteurs de données et l'ensemble des salariés**. Pour le premier objectif l'entreprise peut faire un appel à un cabinet spécialisé. Pour le deuxième objectif le Bilan Carbone[®] peut être réalisé en interne en réunissant une équipe autour du pilote.

- **Etape 2 : Définition des périmètres**

Tout d'abord, l'entreprise établit une **cartographie des flux** internes et externes d'énergie, de matières premières, de déchets et de produits entrants et sortants. Afin de savoir s'il faut indiquer un flux dans la cartographie ou pas il faut se demander : Est-ce que mon activité est-elle inchangée si je retire tel flux ? Rares sont les flux qui sont inutiles.

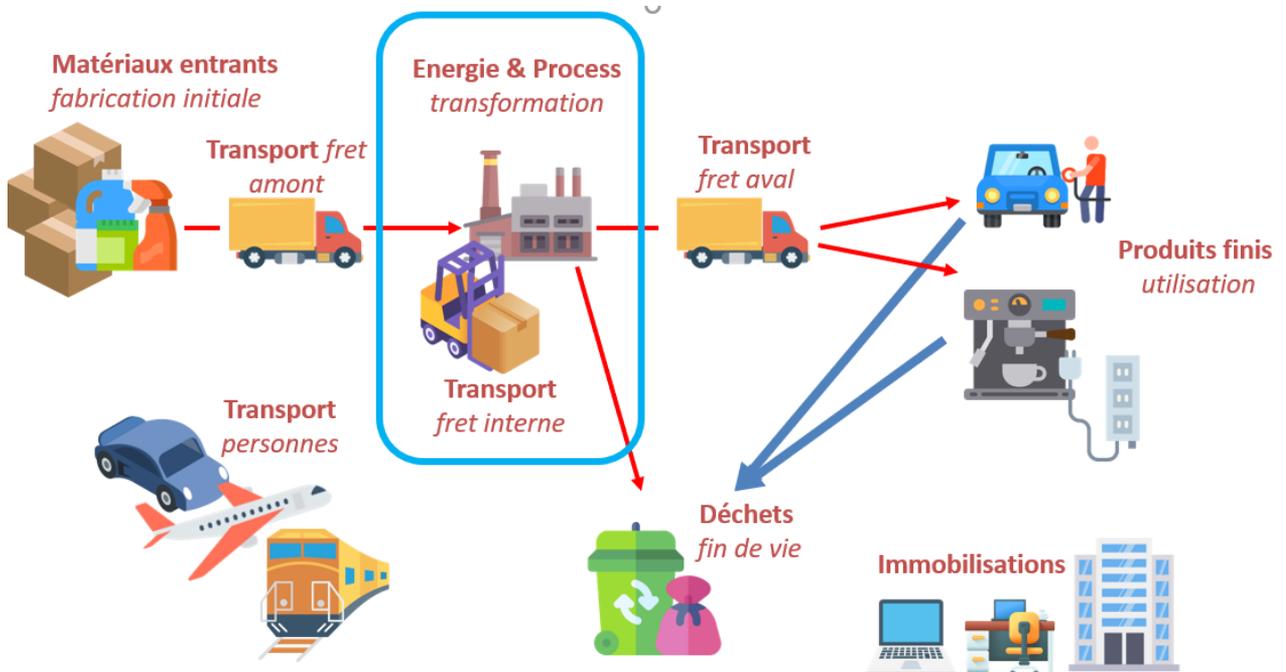


Figure 5 : Illustration de la cartographie des flux (Source : IFC)

Le **périmètre organisationnel** prend en compte

- les _____ : émissions de GES à l'intérieur de l'entreprise (par exemple : combustion du gaz naturel pour le chauffage de l'entreprise)

Le **périmètre opérationnel** prend en compte en plus

- les _____ : émissions de GES, conséquence des activités de l'entreprise mais émis à l'extérieur de l'entreprise (par exemple : Electricité consommée, matières achetées, déchets, produits fabriqués, ...)

Émissions directes	Sources fixes de combustion
	Sources mobiles de combustion
	Procédés hors énergie
	Fugitives
	Utilisation des terres, leurs changements et la forêt (UTCF)
Émissions indirectes	Consommation d'électricité
	Consommation de vapeur, chaleur ou froid
	Énergie consommée importée à travers un réseau physique à l'exclusion de l'électricité
	Achat de produits
	Immobilisation
	Déchets
	Transport de marchandises amont
	Déplacements professionnels
	Actif en leasing amont
	Investissement
	Transport des clients et visiteurs
	Transport de marchandises aval
	Utilisation des produits vendus
	Fin de vie des produits vendus
	Franchises en aval
	Actif loués en aval
Trajets domicile-travail des employés	
Autres émissions non incluses dans les postes précédents	

Figure 6 : Postes d'émission indiqués par la norme ISO 14064-1, classés par émissions directes et indirectes

Le périmètre opérationnel peut être divisé en catégories (ou scopes) :

- Catégorie 1 : Emissions directes
- Catégorie 2 : Energie sous forme d'électricité ou chaleur (3 premières lignes des émissions indirectes de la figure 6)
- Catégorie 3 : Les autres postes des émissions indirectes (lignes 4 à 18 des émissions indirectes de la figure 6)

Enfin, il faut également définir la **durée** prise en compte dans le Bilan Carbone® : sur quelle **année** réalise-t-on le bilan ? Réitère-t-on un bilan qui a déjà été fait lors d'une année précédente ? etc.

• **Etape 3 : Collecte et exploitation des données**

C'est la phase la plus longue de la démarche. Elle consiste à collecter l'ensemble des données nécessaire à la quantification des émissions de GES.

Pour ce faire, il faut **prélever des données internes** à l'entreprise telles que

- des _____ ,
- des _____ ,
- des _____ , etc.

et _____ afin de pouvoir prendre la même source pour un bilan carbone comparatif ultérieur.

Il faut aussi **chercher des** _____ à l'entreprise (type de véhicule utilisé par le transporteur, méthode de traitement des déchets produits par l'entreprise, etc.). Dans le cas où il vous manque des informations, il faut prendre

- le plus probable
- et sinon le plus émettrice en CO₂

Il faut ensuite **multiplier ces données avec des facteurs d'émissions** (FE) qui sont répertoriés dans des bases de données, par exemple dans le fichier Excel « Bilan Carbone® », et qui permettent de convertir les données issues de la collecte (nombre de km parcourus par des véhicules, consommation d'électricité, etc.) en quantité d'émission de GES :

_____ = _____ x _____ **correspondant**

Ces données sont à classer en **différents postes d'émission** afin de rassembler les émissions provenant du même type de source. Il faut cependant faire attention à ce que chaque émission ne soit comptabilisée qu'à un seul poste. Le « fichier Excel Bilan_Carbone® » prend en compte les postes d'émission suivants (énoncés dans le « fichier Excel Bilan_Carbone® » sous forme d'**onglet**) :

Poste d'émission	Exemple	Cause de l'émission de CO ₂
Energie	Fioul, électricité	- Pendant la combustion - Fabrication et transport du combustible
Hors énergie	Gaz dans l'installation de climatisation	Fuites
Intrants	Acier	Fabrication des barres d'acier
Futurs emballages*	Cartons	Fabrication et élimination de l'emballage
Déchets directs	Copaux d'acier issus de l'usinage des barres d'acier	Elimination des copaux
Fret	Par camion, bateau	- Pendant la combustion - Fabrication et transport du combustible - Fabrication du camion

* Poste d'émission spécifique pour les cartons (normalement dans les postes spécifiques « Intrants » et « Déchets directs »)

Déplacements	- Trajet domicile – travail - Dans le cadre du travail	- Pendant la combustion - Fabrication et transport du combustible - Fabrication de la voiture
Immobilisations	Bâtiments, machines de production, véhicules	Fabrication du bâtiment
Utilisation	Consommation d'électricité pendant l'utilisation du produit	Fabrication et transport de l'électricité
Fin de vie	Acier, PVC à la fin de vie du produit	Elimination du produit

Figure 7 : Postes d'émission du fichier Excel Bilan_Carbone®

Une fois le Bilan_Carbone® établi **les postes d'émissions significatifs doivent être définis** en fonction de leur poids au sein du profil GES de l'entreprise. Les postes significatifs peuvent permettre d'identifier les actions les plus efficaces pour réduire les émissions de GES de l'entreprise :

- **Etape 4 : Plan d'actions de réduction**

A la suite de la restitution du profil GES de l'entreprise, une **série de recommandations** doit être éditée afin de **réduire les émissions de GES en cohérence avec les objectifs de l'entreprise** :

- Des **actions immédiates** peuvent être lancées toute de suite pour débiter le plan d'actions et motiver les équipes (Chasse au gaspillage, optimisation, covoiturage),
- Des **actions prioritaires** sont définies à court et moyen terme afin de réduire fortement les émissions (Eco-conception, Changement du matériel ou des machines, changement du mode de transport) et
- Des **actions stratégiques** sont définies à long terme afin de changer l'environnement (Changement de l'organisation dans l'entreprise, rassemblement des sites, changement du modèle économique)

Axes d'action	Actions	Réfèrent	Type	Indicateur de suivi	Objectif de réduction (%)	Valeur de l'indicateur	Valeur de l'indicateur	Valeur de l'indicateur
						Bilan 1 :	Bilan 2 :	Bilan 3 :
Bâtiments	Remplacer la chaudière fioul par chaudière biomasse	François	Prioritaire	Indicateur 1	30%			
	Texte par rapport à l'axe action							
	Action 1.2 :							
	Action 1.3 :							
Véhicules	Action 2.1 :							
	Action 2.2 :							
	Action 2.3 :							

Figure 8 : Tableau des différentes actions du plan d'action (Source : IFC)

Le plan d'actions doit énoncer _____

_____ :

Organisation :	
Type	AXE 1 : Texte par rapport à l'axe action
Prioritaire	Remplacer la chaudière fioul par chaudière biomasse
Réfèrent - Porteur de l'action	
François	
Objectifs de l'action	Type d'actions
	Sensibilisation
	Sobriété X
	Efficacité
	Amélioration de la comptabilité
Cible(s)	
Cible 1	
APPROFONDISSEMENTS	
Calendrier prévisionnel	Délais d'exécution
	6 mois
Objectifs de réalisation pour la fin de la période	
Coûts estimés	Gain GES estimé (% de réduction par rapport à la référence)
12 345 €	30%
Indicateur(s) de suivi de l'action	Indicateur(s) de résultat de l'action
Indicateur 1	
Signature de la direction	Signature du réfèrent de l'action

Figure 9 : Fiche détaillée d'une action (Source : IFC)

Il est important **d'impliquer des salariés de l'entreprise avec un pouvoir de décision ou d'action** dans l'établissement du plan d'action afin d'assurer que les actions sont réalisables et ne rencontrent pas la résistance des salariés.

Lors de la mise en place d'actions, des **indicateurs** (par exemple la masse d'émissions de CO₂) doivent aussi être définies afin d'analyser l'évolution des émissions de GES de l'entreprise et ainsi **mesurer l'efficacité des actions** proposées. La mesure de l'évolution des émissions de GES peut se faire lors du **renouvellement du Bilan Carbone®** ce qui est conseillé afin de rendre la démarche pérenne et de diminuer à chaque fois un peu plus les émissions de GES de l'entreprise.

- **Etape 5 : Synthèse**

A la fin de la démarche, **un document de synthèse doit présenter les enjeux du changement climatique, les objectifs du Bilan Carbone®, la description du processus de collecte de données, la quantification des émissions de GES de l'entreprise ainsi que le plan d'actions.**

- **Difficultés de la méthode Bilan carbone :**

- _____ à l'entreprise (méthode de traitement des déchets produits par l'entreprise, type de véhicule utilisé par le transporteur, etc.)
- _____ (est-ce que pour toutes les données collectées existent un facteur d'émission dans la base de données ?)
- _____ sont assez _____ (Consommation moyenne d'un véhicule ; Chargement d'un camion ; Taille d'un avion)
- _____ (les facteurs d'émission de la base de données ont été déterminés en prenant en compte quelles causes et quel périmètre (pour le facteur d'émission pour la production d'électricité : est-ce que les pertes dans le réseau électrique ont été prises en compte ? Est-ce que les émissions de CO₂ lors du raffinage du combustible ont été prises en compte ?)).

L'ADEME (l'Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) a certifié les facteurs d'émission de certains logiciels Bilan carbone ce qui est indiqué **par le sigle** ® .