



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université d'El Oued

Faculté des sciences et de la Technologie

Département de Génie des Procédés et Pétrochimie

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Génie des Procédés et Pétrochimie

Option : Génie Raffinage

*Analyse du cycle de vie d'un Dérivé du pétrole
(plastique) l'aide du logiciel SimaPro*

Soutenu le 13/06/2022

Présenté par :

- BRAMKI Taki Eddine
- RAHMANI Djamel Eddine
- KHETTA Mahrez

DEVANT LE JURY

Président	GUERRAM Abdelmadjid	M.A.A	Université d'El Oued
Examineur	LAMI Nasima	M.A.A	Université d'El Oued
Rapporteur	BOUHOREIRA Abdealaziz	M.A.A	Université d'El Oued

Promotion : 2021/2022

Résumé

Les entreprises de fabrication de plastiques devraient s'efforcer avec diligence dans la recherche scientifique et développer son aspect industriel productif afin de réduire et de limiter les émissions qui affectent négativement l'environnement, l'homme et l'océan en général. Dans ce contexte, il semble que l'utilisation de différents types de plastique soit les premiers à recourir à d'autres solutions alternatives. Certes, cela peut avoir un impact sur la qualité des produits et peut être moins rentable économiquement, mais c'est plus adapté à l'environnement.

Considérant que le plastique est le matériau industriel le plus exploité au monde, nous proposons dans cette étude d'analyser le cycle de vie (ACV) du plastique en ne prenant en compte que l'étape de production

Nous effectuerons une analyse du cycle de vie (ACV) de la bouteille en plastique 1.5L

Mots clé : Analyse Cycle de vie, Dérivés du pétrole, plastique, SimaPro

Abstract

Plastics manufacturing companies should strive diligently in scientific research and develop its productive industrial aspect to reduce and limit emissions that negatively affect the environment, humans and the ocean in general. In this context, it seems that the use of different types of plastic is the first to resort to other alternative solutions. Admittedly, this may have an impact on the quality of the products and may be less economically profitable, but it is more adapted to the environment.

Considering that plastic is the most exploited industrial material in the world, we propose in this study to analyze the life cycle (LCA) of plastic taking into account only the production stage.

We will perform a life cycle analysis (LCA) of the 1.5L plastic bottle

Key words: Life Cycle Analysis, Petroleum Derivatives, Plastic, SimaPro

Table des matières

Résumé	
Abstract	
Table des matières	
Listes des figures	
Listes des tableaux	
Remerciements	
Introduction	1
I . L'Analyse du Cycle de Vie	3
1. Historique	3
2. Définition	4
3. A quoi sert une ACV ?	4
4. Étapes de réalisation de l'ACV	6
4.1. Définition des objectifs et du champ d'étude	6
4.2. Inventaire du cycle de vie	7
4.3. Évaluation des impacts	7
4.3.1. Comment choisir une méthode d'évaluation de l'impact environnementale	9
4.4. Interprétation des résultats	10
II . Dérivés de Pétrole	11
1. Définition du pétrole brut	11
2. Composition chimique	11
3. Raffinage	12
3.1. Fonctionnement technique ou scientifique	12
3.1.1. La distillation du pétrole brut	12
3.1.2. La distillation atmosphérique	13
3.1.3. distillation sous vide	13
4. Pétrochimie	14
4.1. Les procédés de la pétrochimie	14
4.2. utilisation de pétrochimie	15
III . Matière plastique	16
1. Définition de la matière plastique	16
2. Historique	16

3.	Les polymères	20
4.	Polymérisation	20
5.	Monomères	20
6.	Tyeps de métiers plastiques	21
6.1.	Thermoplastiques	21
6.2.	Thermodurcissables	21
6.3.	Les Elastomères	22
7.	Caractéristiques physiques moyennes de quelques polymères thermoplastiques usuels	23
8.	Recyclage	24
9.	Répartition de la consommation par type de matière plastique	25
IV . SimaPRO		26
1.	Définition	26
2.	Fonctionnalités et spécificités des logiciels d'ACV	26
3.	Caractéristiques de logiciel	26
4.	La bases des données	27
5.	Méthodes de calcul	27
6.	Principe de modélisation avec SimaPro	28
7.	Réalisation de l'ACV à l'aide du logiciel SimaPro	29
V. Analyse Cycle de vie d'un Bouteille Plastique - PET -		42
1.	Explication du processus de fabrication	42
2.	Objectif et Champ d'étude	43
	2.1. Objectif d'étude	43
	2.2. Champ d'étude	43
	2.3. Fonction de produit	43
3.	Attributs de la fonction	44
4.	Analyse de l'inventaire du cycle de vie	44
	4.1. l'inventaire	44
	4.2. Sources de données	45
	4.3. Impact	46
	4.4. Taux de Pertes (OU FREINTE)	47
5.	Toutes les entrées et sorties de l'étude	47
6.	utiliser logiciel SimaPRO pour ACV Bouteille PET 1.5L	48
6.1.	Évaluation des impacts	49

7. Interprétation des résultats	49
7.1. Analyse des apports	49
7.2. Identification of the Most relevant impact catégories	49
7.3. Contrôle de cohérence	50
7.4. Quelques solutions proposées	50
7.5. Conclusion	51
Conclusion	
ANNAXE	

Listes des figures

Figure I.1 : Étapes du cycle de vie d'un produit	4
Figure I.2 : l'impact d'un changement d'étapes sur d'autres étapes	5
Figure I.3 : Le processus de réalisation de l'ACV	6
Figure I.4 : Principe de l'inventaire sur un processus élémentaire	7
Figure I.5 : les effets que la majorité de la méthode d'évaluation	8
Figure II.1: Structure moléculaire de base des principaux hydrocarbures pétrolière	12
Figure II.2 : Principe de fonctionnement d'une tour de distillation de pétrole brut (©Connaissance des Énergies)	14
Figure III.1 : Procédé de génération de plastiques et exemples	22
Figure III.2 : En 2020, dans l'Union européenne + Norvège, Royaume Uni et Suisse (source : Plastics Europe)	24
Figure III.3 : Exploitation du plastique dans la vie	25
Figure IV.1 : Icône logiciel SimaPro	29
Figure IV.2 : La première interface de SimaPro	30
Figure IV.3 : Sélection du mode logiciel	30
Figure IV.4 : ACV Wizard et production	31
Figure IV.5 : Productions system de SimaPro	31
Figure IV.6 : Etaps de ACV	32
Figure IV.7 : Inventory dans SimaPro	33
Figure IV.8: La Processes dans SimaPro	34
Figure IV.9 : Les Matrials dans SimaPro	35
Figure IV.10 : Energys dans SimaPro	36
Figure IV.11 : La Transport dans SimaPro	37
Figure IV.12 : La processing dans SimaPro	38
Figure IV.13 : Use dans SimaPro	39
Figure IV.14 : Scénario de déchets dans SimaPro	40
Figure IV.15 : Traitement des déchets dans SimaPro	41
Figure V.1 : Fabrication de bouteille PET	43
Figure V.2 : Bouteille d'eau 1.5L	44
Figure V.3 : La Procédé de Production	44
Figure V.4 : Analyse du cycle de vie du processus de production	48
Figure V.5 : ACV Bouteille PET dans SimaPRO	48
Figure V.6 : Impact Bouteille PET dans SimaPRO	49

Listes des tableaux

Tableau III .1 : Exemples de monomer et polymer _____	21
Tableau III.2 : Les caractéristiques dépendent de la masse molaire, du procédé de fabrication, du taux d'humidité et du taux de cristallinité _____	23
Tableau III.3 : Exploitation du plastique dans la vie _____	24
Tableau V. 1 : La Matière utilise dans Fabrication _____	44
Tableau V. 2: L'énergie utilise dans la Fabrication _____	45
Tableau V .3 : La matière et source des dionées _____	45
Tableau V .4 : Processus énergétique utilise _____	46
Tableau V .5 :Catégorie d 'impact étude _____	46
Tableau V .6 : valeurs externat environnemental effets de fabrication _____	47
Tableau V .7 : Taux de Pertes de bouteille _____	47

Abréviations

ACV : Analyse Cycle de vie

SETAC : Société de toxicologie et de chimie environnementales

ISO : International organisation for standardisation

SPOLD : Society for the promotion of life-Cycle analysais

FC : Facteurs de caractérisation

EICV : Conditions de vie intégrées des ménages

GPL : Gaz de pétrole liquéfié

AIE : Agence internationale de l'énergie

ONU : Organisation des Nations Unies

PEBD : Polyéthylène basse densité

PA : Polyamides

PS : Polystyrène

PTFE : Polytétrafluoroéthylène

SI : Silicones

PET : Polytéraphthalate d'éthylène

PE : Polyéthylène

HDPE : PE haute densité

PVC : polychlorure de vinyle

PP : Polypropylène

Remerciements

Tout d'abord, Loué soit Allah qui nous a permis de faire ce travail

Nous souhaite remercier Prof de mémoire encadrée , Monsieur BOUHOREIRA Abdelaziz, Pour sa patience, son aide et son soutien à tous points de vue, et surtout pour ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Il nous a donné une confiance totale et une grande indépendance tout en faisant le travail.

Nous tiens à remercier spécialement, A tous les amis et étudiants, les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin, avaient peu de soutien moral ou matériel

Je désire aussi remercier les professeurs de l'université Hamma Lakhder Aidez-nous et faites tout son devoir pour la réussite de notre carrière universitaire

Enfin, j'aimerais exprimer ma gratitude à tous mes collègues dans l'équipe de recherche Ceux qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours universitaire, nous avons complété cette recherche d'une manière intégrée et idéale.

Introduction

L'exploitation des ressources primaires, en particulier le pétrole, dans les industries, où ces industries sont devenues l'un des fondements sur lesquels vivent les êtres humains, et dont la demande augmente avec l'augmentation de la densité de population du monde. Ces industries tirent de leur consommation de ressources et l'énergie à de grands dommages environnementaux, qui sont la plus grande cause de dommages à notre planète. .

Ces dégâts n'étaient pas de cette ampleur auparavant, mais avec la mondialisation qui a permis de produire et d'échanger des biens en très grande quantité que l'humanité ne connaissait pas auparavant, et cela a montré que l'homme est l'organisme le plus nocif pour l'environnement.

A l'heure actuelle, la protection de l'environnement prend une place de plus en plus importante dans les débats politiques à l'échelle mondiale.

Progressivement, au cours des dernières décennies des mesures ont été adoptées dans les pays industrialisés. Essayer de réduire ces effets négatifs sur l'environnement en édictant des lois strictes dans ce domaine. Ces mesures visent aussi à réduire les effets négatifs du développement industriel via le développement durable, c'est-à-dire, un mode de développement qui concilie les aspects économiques, sociaux et environnementaux pour répondre aux besoins de la génération actuelle sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins.

Les entreprises en particulier ont la plus grande part de responsabilité parce que c'est la principale cause de ces dégâts, cela l'a amenée à essayer d'apporter des solutions durables à cet égard.

En effet, les entreprises doivent se conformer aux exigences réglementaires des différents pays dans lesquels elles ont des opérations.

La Loi sur la qualité de l'environnement et les diverses lois sur la protection des ressources naturelles (eau, sol, air, faune) et sur la gestion des déchets (matières dangereuses, responsabilité des producteurs) permettent aux ministères d'imposer une série de mesures visant la protection de l'environnement.

Parmi les solutions environnementales figure la fourniture d'une analyse du cycle de vie du produit à fabriquer puisqu'elle permet d'évaluer globalement l'impact environnemental d'un

produit ou d'un service et de proposer des solutions. La disponibilité des données d'ACV s'avère parfois problématique, puisque de nombreuses phases du cycle de vie d'un produit sont situées en dehors de la sphère d'influence directe de l'entreprise. La réalisation d'une ACV devient d'autant plus difficile dans un contexte de produit fabriqué.

Objectifs du travail

L'objectif de cette recherche est consisté à fournir une analyse du cycle de vie pour l'un des produits en plastique "bouteille en plastique" et applique le programme d'analyse Sima Pro pour :

- faciliter l'analyse en général
- afficher les données et les effets
- donner un aperçu du cycle de vie de ce produit et de ses effets

Organisation de la recherche

Le mémoire est organisé selon les étapes de la procédure ACV (définition des objectifs et du périmètre, inventaire, évaluation d'impact et interprétation).

- Dans un premier temps, nous avons présenté la méthode d'analyse globale du cycle de vie
 - Deuxièmement, nous avons le pétrole et ses dérivés comme matière première pour les industries
 - Troisièmement, nous sommes entrés dans les détails de l'industrie pétrochimique du plastique
 - Quatrièmement, nous avons analysé le cycle de vie d'une bouteille en plastique, sur la base duquel la recherche sera menée
 - Cinquièmement, nous avons défini le programme Sima Pro et présenté tout ce qui s'y rapporte
 - Sixièmement, nous intégrons tout ce que nous avons fait précédemment dans le programme Sima Pro, où nous analysons le cycle de vie de la bouteille en plastique dans le programme Sima Pro
- Enfin, nous essayons de fournir quelques conseils et solutions.

L. L'Analyse du Cycle de Vie

1. Historique

Au début des années soixante, le chercheur Jay Foresto a modélisé les résultats économiques, prédisant qu'après 100 ans, la société perdrait l'énergie non renouvelable sur laquelle repose le développement économique [1]. Afin de limiter l'activité humaine, supposée infinie pour des ressources limitées, il faut trouver une méthode pour évaluer l'activiste et son impact environnemental tout en améliorant les processus de production et en l'analysant [2].

Il existe plusieurs types d'évaluation

1- Un traitement centré sur le centre d'activité (usine) qui a conduit à une diminution des dangers à l'intérieur de l'usine, mais qui n'étudie pas son impact sur d'autres sites et d'autres opérations comme (le transport) [3].

2- L'approche orientée produit, qui est le début de l'ACV à la fin des années 1960 à partir du développement de chercheurs américains, suisses et suédois qui ont lié l'utilisation des matières premières et la consommation d'énergie au produit [3].

Et ce fut la première utilisation dans la société Coca-Cola en 1969 pour déterminer la fabrication d'une canette en métal utile ou non [1].

Et en 1972, le Club de Rome l'a fait pour économiser les ressources. La même année, le chercheur Ian Posté, sous le nom d'écobalance, a calculé l'énergie totale pour la production de contenants de boissons à partir de plastique, d'aluminium et de matériaux recyclés, et en 1979 il l'a étendu à d'autres matériaux [4].

Et en 1973, il a été testé dans plusieurs normes, où Thamo a calculé les émissions de l'industrie dans l'eau, l'air et le sol, et au milieu des années 1980, ils l'ont fait pour analyser les déchets solides, mais le problème était toujours dans la coordination entre les opérations et l'interprétation. des résultats . En 1991, "SETAC" a publié un champ d'application décrivant le cadre de l'ACV, un document guidant les bases de l'ACV, et depuis lors, il a été développé en partenariat avec l'ISO et les Nations Unies [3].

En 1992, "SPOLD" a développé des bases de données publiques pour l'étude et en 1993 a publié le Code de conduite pour coordonner les étapes de l'étude [5].

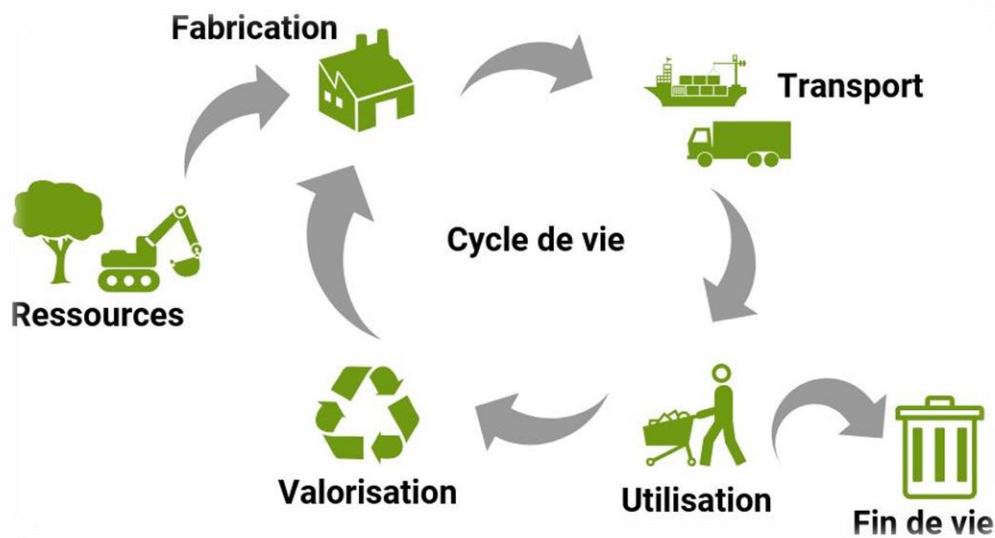
ISO a défini les normes ISO 14040 en 1997 pour déterminer le cadre méthodologique de l'étude puis ISO 14041 pour déterminer les étapes d'inventaire et ISO 4214 l'impact de l'évaluation ISO 04314 Interprétation des résultats et en 2006 elles ont regroupé toutes les

normes de l'ISO Norme 14040 2006 et actuellement ils sont appliqués dans l'analyse du cycle de vie [6].

En 2010 l'Union Européenne édite un guide des nouvelles pratiques d'ACV [5].

2. Définition

L'analyse de cycle de vie (ACV) selon les normes d'Organisation Internationale de Normalisation (ISO ; 14040:1997, 14040:2006 et 14044:2006) [7]. est une méthodologie analytique qui permet de analyser et quantifier les impacts environnementaux potentiels [8]. d'un produit ou d'un service et plus rarement des procédés selon des instrument scientifique et technique au cours de son cycle de vie , Ce cycle démarre à l'acquisition des matières premières et se termine par la fin de vie en passant par les étapes de production, d'utilisation, de transport , sa disposition et de recyclage des déchets. Ainsi, ou définir et considérer [9] L'ACV comme un outil aide à la prise de décision [10].



Figure

I.1 : Étapes du cycle de vie d'un produit [10].

3. A quoi sert une ACV ?

L'objectif de l'ACV est de présenter une vision globale des impacts générés par les produits . choix de conception d'amélioration de produits, choix de procédés, choix de filières de valorisation, critères d'écolabellisation des produits..etc.

- **Comparer**

comparer deux options techniques pour un concepteur, comparer deux produits pour un acheteur, comparer deux orientations politiques pour un décideur L'ACV rend compte de transferts de pollution potentiels dans la comparaison de deux scénarios alternatifs. Ainsi, avec l'ACV, on pourra comparer deux produits ayant la même fonction ; deux produits différents ayant la même fonction ou encore un bien et un service « dématérialisé » [11].

- **Éviter le risque de transfert d'impact**

L'intérêt de l'ACV est d'évaluer plusieurs natures d'impacts environnementaux et toutes les étapes du cycle de vie. Lors d'une comparaison, elle pourra montrer qu'un produit a moins d'impact qu'un autre à l'aune d'un critère mais en a davantage sur un autre critère. L'ACV peut aussi souligner qu'un gain à une étape de cycle de vie peut avoir des conséquences dégradant une autre étape ! . Dans ce cas de figure, en diminuant l'impact environnemental au niveau des matières premières, on l'a augmenté au niveau de la fabrication et de l'utilisation. [11].

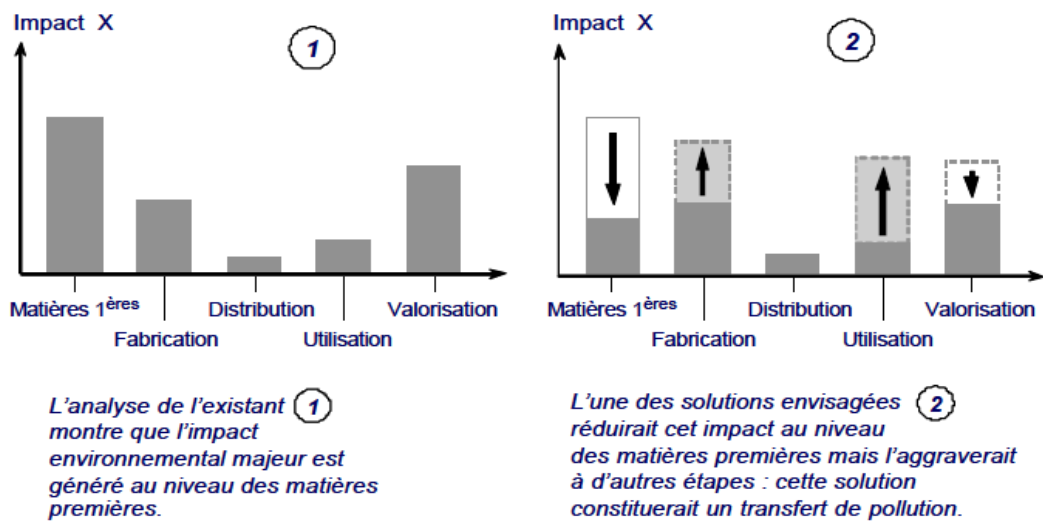


Figure 1.2 : l'impact d'un changement d'étapes sur d'autres étapes [11].

Les transferts de pollution peuvent également concerner des impacts différents : par exemple, un changement de matériau qui permettrait une diminution de la consommation de ressources non renouvelables lors de la production mais qui causerait une augmentation de la pollution des eaux lors de l'élimination des produits.

4. Étapes de réalisation de l'ACV

Le processus de réalisation de l'ACV tel que proposé par la norme ISO 14040-14044 s'effectue en quatre étapes à savoir :

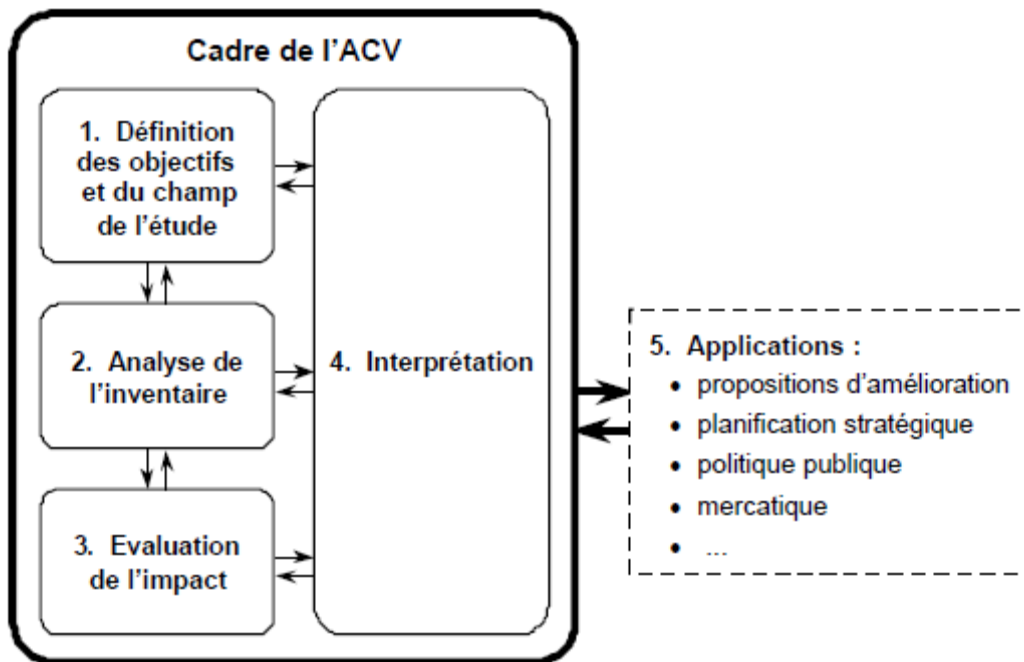


Figure I.3 : Le processus de réalisation de l'ACV [12].

4.1. Définition des objectifs et du champ d'étude

La première étape de l'analyse du cycle de vie consiste à définir les objectifs et le champ d'étude, qui est une définition du produit et du service et les raisons de la comparaison [13].

- **Définition des objectifs**

L'objectif peut être exprimé en répondant aux questions suivantes : Quel est le potentiel d'amélioration du cycle de vie du produit ? Quelle est la phase d'impact qui contribue à l'impact environnemental le plus important ? [13]. L'objectif doit être clairement défini

- **Champ d'étude**

Il s'agit de définir le périmètre de l'étude et le public cible du produit, qui est l'élément qui détermine les limites d'engagement et l'unité d'emploi, à travers laquelle il détermine également "la performance quantitative a" [13].

4.2. Inventaire du cycle de vie

Suite à la définition des objectifs et du champ de l'étude la deuxième étape c'est la plus longue et elle compile l'inventaire. Elle nécessite la collecte de tous les flux pertinents pour l'objectif et impliqués dans les premières opérations .

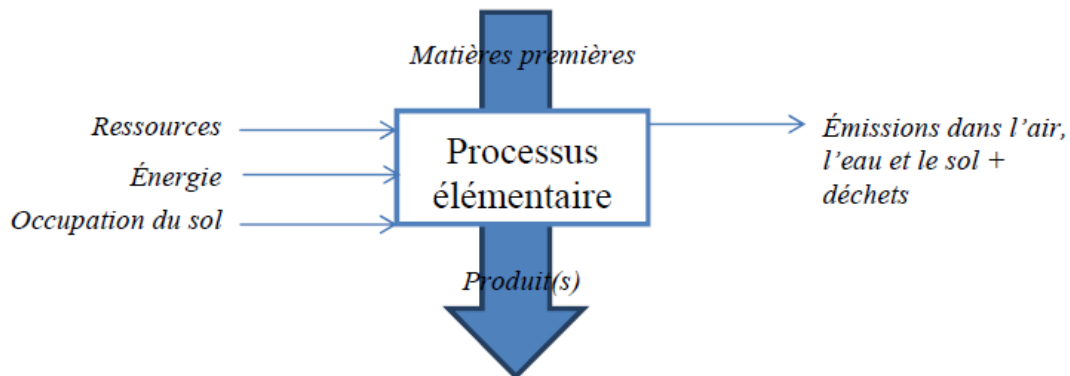


Figure I.4 : Principe de l'inventaire sur un processus élémentaire [14].

ressembler les information sur le flux , quantité de matière et énergie Toutes les valeurs sont mises à l'échelle en fonction de l'unité fonctionnelle. La collecte de données peut être longue et fastidieuse en fonction de la complexité du système étudié [14].

L'utilisation de certaines bases de données génériques, reprenant les flux élémentaires, permet de faciliter l'établissement de l'inventaire. Parmi celles-ci, la base de données éco inventer développée par Pré Consultants [15].

4.3. Évaluation des impacts

Une fois que nous obtenons Inventaire du cycle de vie nous arrivons à la troisième étape Évaluation des impacts [12] où il s'agit d'une description des conséquences environnementales de la consommation et des émissions qui y sont liées et souvent les facteurs étudiés sont le successeur suivant l'épuisement des ressources, les impacts sur la santé humaine et les impacts écologiques [16] et en calculant les valeurs d'effet à partir des données de Inventaire et en les reliant aux catégories d'effet [17] . Et pour déterminer leur contribution à la valeur totale de la catégorie d'effet, il en existe plusieurs méthodologie Parmi les plus utilisées on retrouve les méthodes Impact 2002+ [18] et ReCiPe [19] pour l'Europe et LUCAS [20] pour le Canada.

Ce sont les effets que la majorité de la méthode d'évaluation voit en détail

1. le réchauffement global de la planète;
2. l'appauvrissement de la couche d'ozone
3. l'épuisement des ressources naturelles (matières premières);
4. l'épuisement des ressources énergétiques;
5. l'oxydation photochimique;
6. l'acidification des terres et des lacs;
7. la toxicité humaine;
8. l'écotoxicité aquatique;
9. l'écotoxicité terrestre;
10. la nitrification

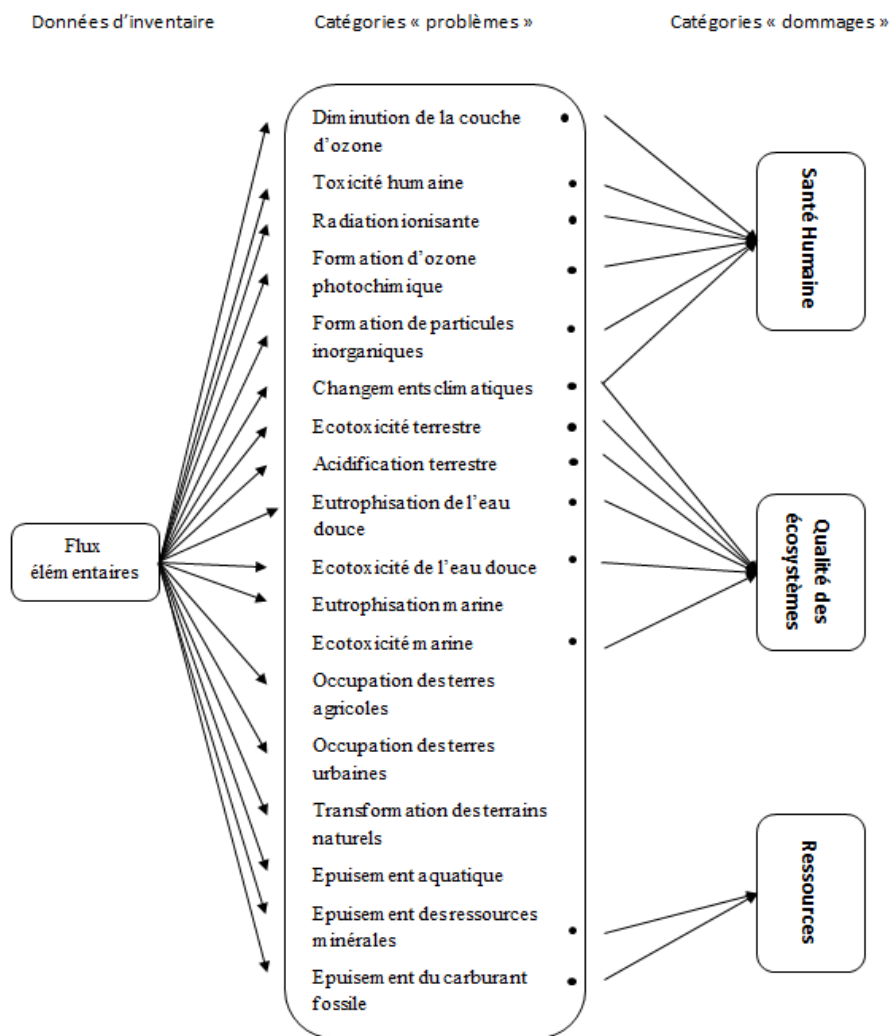


Figure I.5 : les effets que la majorité de la méthode d'évaluation [14].

4.3.1. Comment choisir une méthode d'évaluation de l'impact environnementale

le choix de la méthode utilisée lors de l'ACV a un impact important sur les résultats. Il existe 3 méthodologies d'évaluation d'impact, proposent actuellement des facteurs de caractérisation (CF) régionale comme (TRACI et ReCiPe) et méthode proposent actuellement des facteurs de caractérisation génériques (FC) comme EICV.

ReCiPe se base sur le modèle scientifique Loto euros pour évaluer la contribution potentielle . Les composés organiques volatils non méthaniques servent d'unité à l'indicateur, et le milieu pour lequel les impacts sont calculés est l'Europe.

TRACI repose quant à elle sur un modèle scientifique dérivé du modèle Maximum Incrémental réactivité, les NOx servent d'unité à l'indicateur et le milieu pour lequel les impacts sont calculés correspond aux États-Unis [46].

EICV Lors du choix ce méthode il convient de répondre à un certain nombre de questions et de critères afin d'identifier la méthode la plus appropriée au contexte d'étude.

Ces questions sont :

- Quelles catégories d'impact (ou problèmes environnementaux) dois je couvrir et puis-je justifier celles que j'exclus ?
- Dans quelle région mon cycle de vie (ou ses processus les plus contributifs) a-t-il lieu ?
- Ai-je besoin d'une évaluation intermédiaire ou du point final, ou des deux ?
- Quels sont les flux élémentaires que je dois caractériser ?
- Y a-t-il des recommandations d'organisations pertinentes qui peuvent m'aider à choisir ?
- Avec quelle facilité peut-on interpréter les unités des catégories d'impact (unités absolues, équivalents, termes monétaires, etc.) ?
- Dans quelle mesure la méthode est-elle documentée ?
- Avec quelle facilité peut-on communiquer les résultats (unités, agrégation en groupes d'indicateurs spécifiques, etc.) ?
- Dois-je appliquer la normalisation, et si oui, pour quel système de référence (dans la plupart des cas, il est déconseillé de combiner la caractérisation et la normalisation) ?
- Quand la méthode a-t-elle été publiée et y a-t-il eu d'importants progrès scientifiques entre-temps ?
- Est-ce que j'ai les ressources/données disponibles pour appliquer une méthodologie régionalisée (fournissant des résultats plus précis) ?

4.4. Interprétation des résultats

Finally, the results are interpreted and conclusions must be drawn from the results and it is the phase during which the results obtained from the analysis of the inventory or of the impact are combined in a consistent manner with the purpose and the scope of the study in order to obtain conclusions. It is about writing a report of the results according to the needs and to evaluate the possibilities of reduction of impacts [54].

Three sub-steps are envisaged during the interpretation of the life cycle, namely the identification of significant issues, the verification of the study via uncertainty analyses and sensitivity studies and the formulation of conclusions, limitations and recommendations related to the study [13].

II. Dérivés du Pétrole

1. Définition du pétrole brut

C'est une huile minérale d'origine naturelle (restes d'organismes vivants et de plantes mortes) qui a été soumise à une pression et à des températures élevées lors de sa dissolution dans le sol, ce qui a conduit à l'apparition d'une activité chimique et physique qui a abouti au pétrole, consiste en de nombreux composés tels que les hydrocarbures (paraffine, naphta et), qui représentent le pourcentage le plus élevé de composants pétroliers, ainsi que les composés soufrés, azotés et oxygénés [21].

Le pétrole est utilisé dans de nombreuses industries, passées et présentes. Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, le pétrole devient la principale source énergétique à l'échelle mondiale [22].

La majeure partie des réserves prouvées de cette matière première se situe dans les pays du Tiers-Monde, en particulier au Moyen-Orient [23]. L'exploitation de cette source d'énergie fossile et d'hydrocarbures est l'un des piliers de l'économie industrielle contemporaine, car le pétrole fournit la quasi-totalité des carburants liquides fioul, gazole, kérosène, essence, GPL tandis que le naphta produit par le raffinage est à la base de la pétrochimie, dont sont issus un très grand nombre de matériaux usuels (plastiques, textiles synthétiques, caoutchoucs synthétiques élastomères, détergents, adhésifs, engrais, cosmétiques, etc.) [21].

2. Composition chimique

Les hydrocarbures pétroliers contiennent principalement des molécules composées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Il s'agit d'alcane non cycliques (ou paraffines), des cyclo-alcane (ou naphènes), d'alcènes (ou oléfines) et d'hydrocarbures aromatiques. D'autres constituants mineurs sont également présents dans les hydrocarbures pétroliers, comme des métaux et des composés polaires qui contiennent de l'azote, du soufre ou de l'oxygène. Les molécules polaires de faible masse moléculaire sont appelées des résines, les plus lourdes étant regroupées sous l'appellation d'asphaltènes [25].

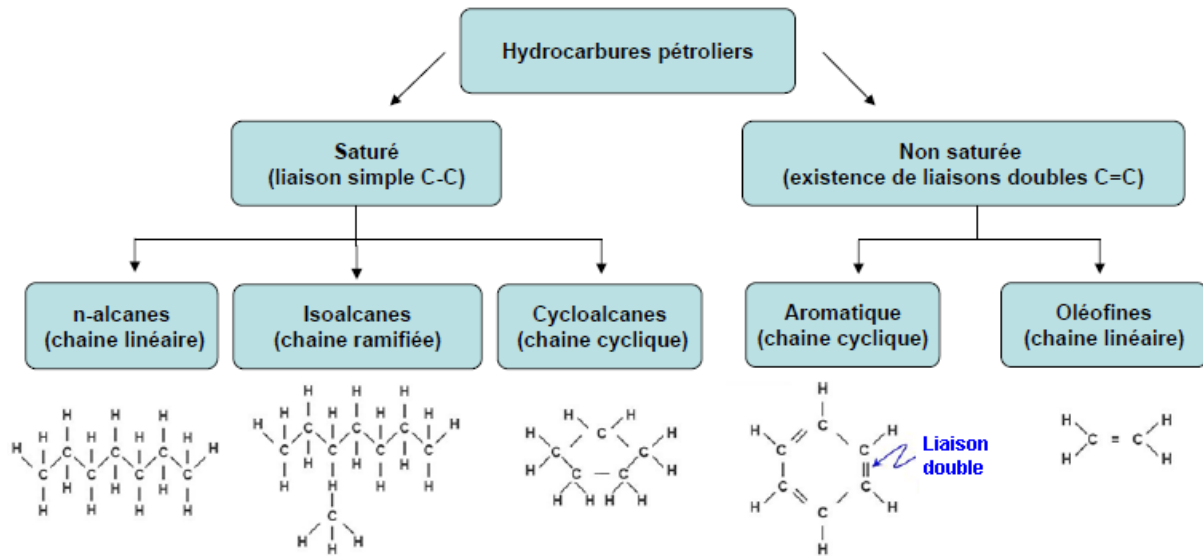


Figure II.1 : Structure moléculaire de base des principaux hydrocarbures pétroliers [25]

3. Raffinage

C'est un procédé qui convertit le pétrole brut en matières à haute valeur commerciale à partir de produits énergétiques et de produits primaires utilisés en pétrochimie. [26]

Ce processus se déroule dans une raffinerie et repose sur une technologie de distillation à différentes pressions et températures [27] Il existe deux types de **distillation atmosphérique** et **distillation sous vide** [28].

3.1. Fonctionnement technique ou scientifique

À son arrivée dans la raffinerie, le pétrole brut est stocké dans de grands réservoirs. Ensuite, le processus requis pour le raffinage est déterminé. Chaque unité de raffinage abrite un procédé industriel physico-chimique différent. Le raffinage du pétrole s'effectue en trois grandes étapes

3.1.1. La distillation du pétrole brut

La distillation du pétrole brut est réalisée en deux étapes complémentaires. Une première distillation, dite atmosphérique (réalisée à pression atmosphérique), permet de séparer les gaz, les essences et le naphta (coupes légères), le kérosène et le gazole (coupes moyennes) et les coupes lourdes. Les résidus issus de la distillation atmosphérique subissent une deuxième distillation, dite sous vide (colonne dépressurisée), afin de récupérer des produits moyens supplémentaires ayant une valeur commerciale.

3.1.2. La distillation atmosphérique

la distillation atmosphérique ; l'opération est réalisée dans une colonne de distillation, fonctionnant sous une pression de 1atm et possédant des soutirages latéraux.

La charge est chauffée dans un circuit de chauffage composé d'un four et une série d'échangeurs pour avoir une température à l'entrée de la colonne entre 330 – 380 C° (généralement 350 C°), une fois dans la tour, la charge se sépare en deux phases

- Une phase liquide qui se dirige vers la zone d'épuisement et au fond de la tour.
- Une phase vapeur ascendante, qui se dirige vers la zone de rectification et au sommet de la colonne [29].

3.1.3. distillation sous vide

Le contenu de la colonne de distillation atmosphérique est constitué d'hydrocarbures à haut point d'ébullition. Lorsqu'il est distillé à pression atmosphérique, le pétrole brut se décompose, polymérise et endommage les équipements. Pour séparer le minéral encapsulé en composants, il doit être distillé dans une colonne sous vide à très basse pression et dans une atmosphère vaporeuse [30].

Dans l'unité de distillation sous vide, le brut étêté est chauffé avec un réchauffeur de procédé à des températures allant de 370 à 425°C. Dans la colonne sous vide, le brut étêté est séparé en fractions de point d'ébullition communes par vaporisation et condensation [31].

La vapeur d'extraction est normalement injectée dans le bas de la colonne de distillation sous vide pour faciliter la séparation en abaissant les pressions partielles effectives des composants. Les fractions pétrolières standard retirées de la colonne de distillation sous vide comprennent les distillats de lubrification, l'huile sous vide, les stocks d'asphalte et les huiles résiduelles [32].

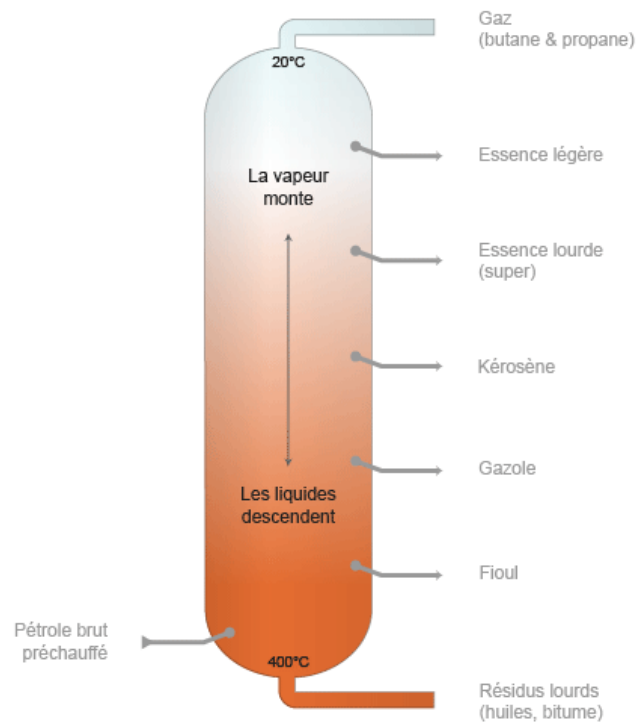


Figure II .2 : Principe de fonctionnement d'une tour de distillation de pétrole brut (©Connaissance des Énergies) [32].

4. Pétrochimie

la pétrochimie est l'ensemble des technologies étudiant ou utilisant le pétrole ou le gaz naturel pour fabriquer des produits chimiques . Ces techniques reposent sur des réactions chimiques, Le monde est devenu très dépendant des plastiques . [33] et des engrais de synthèse .[34] et donc de la pétrochimie qui les produit, elle même très dépendante des ressources fossiles. [35] Dans une étude prospective de l'AIE, un scénario baptisé « Technologies propres » (2018) est le seul compatible avec l'atteinte des objectifs de développement durable (ODD) de l'ONU, et dans ce scénario, la pétrochimie reste l'unique « segment en croissance de la demande mondiale de pétrole » dans la période de transition énergétique de 2018 à 2050 [36].

4.1. Les procédés de la pétrochimie

L'industrie pétrochimique élabore des « intermédiaires » grâce à deux procédés :

- le vapocraquage : à haute température et en présence de vapeur d'eau, les longues molécules contenues dans le naphta sont rompues en chaînes plus petites. On obtient des hydrocarbures plus légers, les oléfines (éthylène , propylène , butène , butadiène) [37].

- le reformage catalytique : à plus de 500 °C, dans une tour de distillation, le naphta donne des molécules aromatiques comme le benzène ou le toluène , deux solvants très utilisés par l'industrie chimique, ainsi que les xylènes. Oléfines et molécules aromatiques subissent ensuite de nouvelles réactions pour conduire aux produits finis [56].

4.2. utilisation de pétrochimie

De nombreux produits sont fabriqués pour nous dans cette industrie, et c'est le plus important d'entre eux;

- des solvants
- des détergents
- des médicaments
- des colorants alimentaires
- des cosmétiques
- des engrais
- des pesticides
- et l'immense domaine des matières plastiques, qui englobent notamment

III. Matière plastique

1. Définition de la matière plastique

Les matières plastiques sont des matériaux obtenus par polymérisation de composés hydrocarbures résultant de eux-mêmes provenant de la distillation du pétrole. [38] se déformé à une température relativement basse la plupart des matières plastiques sont ainsi malléables au-dessous de 200 °C. En les moulant ou en les effilant, elles peuvent prendre presque toutes les formes possibles. [39] mélangé à des additifs, colorants, charges , généralement façonné à chaud et sous pression, pour aboutir à un semi-produit ou à un objet, y compris fils et fibres (tissus), mastics, revêtements , etc.. Il est utilisé dans presque tous les secteur d'activité. Certains ont des propriétés jamais auparavant réunies, par exemple la transparence et la résistance aux chocs. [40]

Leur production a connu un développement considérable à partir de la deuxième partie du XXème siècle. [38]

2. Historique

Les Mayas sont vraisemblablement les premiers à avoir utilisé les propriétés du caoutchouc naturel pour mettre en forme des objets simples, comme des balles ou des sandales. Ce caoutchouc provient de la coagulation de la sève extraite de plusieurs arbres, principalement de l'hévéa et puis l'évolution de l'évolution dans le temps, la séquence séquentielle de cette évolution

- au XV^e siècle av. J.-C., les Égyptiens employaient des colles à base de gélatine, caséine ou albumine. Ils utilisaient de la gélatine d'os pour le collage du bois. Un document daté de 1470 av. J.-C. décrit la fabrication de la colle d'os dans la construction du mobilier ;
- fin du XV^e siècle : Christophe Colomb apporte des plants
- de caoutchouc appelés *Cao* (bois) *tchu* (qui pleure) par les Amérindiens^[réf. nécessaire] ;
- 1736 : les naturalistes français Charles Marie de La Condamne et François Fresneau de La Gataudière découvrent le caoutchouc naturel dans le bassin amazonien un peu par hasard ;[41]
- 1907 – Bakélite

O Alors que Parkérien a été créé à partir de composés organiques, en particulier de cellulose, le Dr Leo Baekeland a créé le premier plastique entièrement synthétique au monde appelé Bakélite. Cela marque le début de l'industrie moderne des plastiques.

- 1920 – Découverte des polymères

O Hermann Staudinger a prouvé l'existence de ce que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de polymères en 1920. Les plastiques ne sont qu'un sous-ensemble de polymères, un terme large qui peut être utilisé pour décrire n'importe quel plastique ainsi que plusieurs autres composés organiques naturels. Même notre propre ADN est un polymère.

- 1933 : obtention par polymérisation radicalaire du polyéthylène basse densité (PEBD) (LDPE pour les Anglo-saxons) (densité $d \sim 0,92$) par les ingénieurs anglais Eric Fawcett et Reginald Gibson de la firme ICI en opérant sous très haute pression à environ 200 °C. Le polyéthylène ou polythène (PE) est la seule polyoléfine qui puisse être obtenue par voie radicalaire ; [42]

- 1935 :

- les polyamides (PA) (connus sous le nom de nylon) sont sortis des éprouvettes du chimiste américain Wallace Hume Carothers travaillant pour Du Pont de Nemours. En 1938, la firme annonce officiellement la découverte d'une fibre synthétique « aussi solide que l'acier, aussi fine que la toile d'araignée, et d'un magnifique éclat ». Ce fut le premier plastique technique à haute performance, avec en particulier un coefficient de friction faible. Applications : fait ses preuves dans les parachutes des G.I. au moment du Débarquement, puis utilisé dans la confection de bas ; engrenages, cages de roulement à billes, corps de perceuse, têtes de maillet, visserie plastique, semelles de chaussures de football ;

- fabrication industrielle du polystyrène (PS) à Ludwigshafen, suivie d'un rapide développement en Allemagne ;[43]

- 1936 : la société Rhône-Poulenc crée le Rhodoïd, à base d'acétate de cellulose ;

- 1937 : Otto Bayer synthétise les premiers polyuréthanes, aussi appelés polycarbamates; applications : adhésifs, fibres Spandex, « mousses » pour matelas et coussins, sièges d'automobile, etc. ; [44]

- 1938 : Roy Plunkett, un chimiste américain de Du Pont de Nemours, découvre par hasard le polytétrafluoroéthylène [formule moléculaire $(-CF_2-)_n$] (PTFE) (principalement connu sous le nom commercial de Téflon ; présent dans le goretex), un isolant qui offre une excellente résistance chimique à la chaleur (stable jusqu'à 250 °C en service continu, avec pointes possibles à 300 °C). Isolant étanche, il sert dans l'industrie nucléaire militaire, avant de recouvrir dans les années 1960 les poêles à frire des cuisines (application de son pouvoir antiadhésif). Il sert aussi pour les joints d'étanchéité. [45]

- 1941 :

- la résine « mélamine-formol », *alias* Formica, envahit les cuisines. Cette résine *très dure* fait partie de la famille des aminoplastes. Elle a été développée dans les années 1930 et 40 par des firmes telles American Cyanamid, Ciba et Henkel, mais sans véritable succès commercial. Ses propriétés élevées de résistance à la plupart des produits chimiques, à la chaleur, à la lumière, à l'abrasion et au feu expliquent son succès dans l'immédiat après-guerre. Les aminoplastes sont par ailleurs utilisés comme adhésifs/liants dans l'industrie du bois ;
- les silicones (SI), *thermostables* dotés de propriétés antiadhésives ;
- utilisation dans les industries électrique, aéronautique et du biomédical (isolants électriques puis fluides amortisseurs dans les trains d'atterrissage des avions, chirurgie plastique, huiles de moteur, mastics, peintures, cosmétiques, etc.) ;
- découverte du polytéréphtalate d'éthylène (PET, PETE) par John Rex Whinfield et James Tennant Dickson.

Pour couvrir ses besoins, l'Allemagne, rapidement privée de ses ressources en latex naturel, avait produit durant la Première Guerre mondiale du caoutchouc Buna, un ersatz de cette substance. Ses recherches sur de nouvelles matières se poursuivirent au cours de la Seconde Guerre mondiale (réalisées notamment par IG Farben) et, en 1945, la production de caoutchouc synthétique s'élevait à un million de tonnes.

À partir de la Libération, l'élan scientifique et technologique insufflé à l'industrie par la guerre se poursuivit et de nouvelles matières furent synthétisées, telles les nouveaux polyamides, le poly(carbonate de bisphénol A) et les polyacétals.

•Les années 1950 – Un marché en croissance

O Les fabricants de plastiques se sont tournés vers la fabrication de produits de consommation comme débouché pour les matériaux qu'ils ont développés pendant la guerre. Le polyester a été introduit dans les années 1950 et le polypropylène, aujourd'hui l'un des polymères les plus utilisés au monde, a fait ses débuts en tant que produit de base en 1954, devenant un polymère très utile en raison de sa capacité d'adaptation.

O Le PE haute densité (HDPE), aujourd'hui le plus couramment utilisé pour fabriquer des pots à lait en plastique, a également été développé au cours de cette période. Ses origines ont démontré la créativité de certains des grands innovateurs du plastique de cette époque.

O Bien qu'initialement très prometteur dans la création de produits en plastique robustes et résistants aux produits chimiques, tels que des bouteilles, des tubes et des tuyaux, l'avenir du PEHD était précaire dès le départ, car les lots de production initiaux n'étaient pas aussi

cohérents que les échantillons fabriqués en laboratoire. Jusqu'à l'engouement pour le hula-hoop de la fin des années 1950, les entrepôts remplis de HDPE invendus et hors spécifications nécessitaient des quantités si énormes de plastique que la demande pour les jouets consommait six mois après la première production de HDPE. Cela a permis aux fabricants de rester en activité jusqu'à ce qu'ils aient le temps de résoudre leurs problèmes avec le matériau et de le rendre plus fiable dans des applications autres que les cerceaux.

- Les années 1960

O La famille des thermoplastiques polysulfone, introduite en 1965, était la plus visiblement utilisée sur les visières à film doré des combinaisons spatiales de l'ère Apollo.

O La fibre synthétique para-aramide, plus connue sous le nom de Kevlar, a également été introduite en 1965 et a été utilisée pour la première fois dans l'industrie de la course pour remplacer l'acier dans les pneus de course, bien qu'elle ait depuis trouvé de nombreuses autres utilisations modernes, notamment dans les gilets pare-balles.

- Les années 1970 et au-delà

O Les embargos pétroliers ont poussé les consommateurs et les entreprises à se recentrer sur les plastiques biosourcés et biodégradables dans les années 1970, dans l'intérêt à la fois de la préservation de l'environnement et de la nécessité économique.

o Les bioplastiques de la fin des années 1980 et du début des années 1990 étaient une réponse directe à ces préoccupations, mais, tout comme la mode du caoutchouc des années 1830, l'excitation qui les entourait s'est atténuée lorsque les produits ne répondaient pas aux attentes des consommateurs.

La recherche et le développement se sont poursuivis et la production et la disponibilité des bioplastiques en tant que classe ont refait surface pour répondre à l'intérêt renouvelé des consommateurs et des propriétaires de marques pour les options de polymères durables.

- 2000 : pour le développement des polymères conducteurs intrinsèques, les chercheurs Alan Heeger, Alan MacDiarmid et Hideki Shirakawa sont récompensés par le prix Nobel de chimie.

Les plastiques armés (matériaux composites) [typiquement les résines polyesters et époxyde renforcées fibres de verre (verre : $d \sim 2,5$)], plus légers à résistance égale que l'acier ou l'aluminium, et insensibles à la corrosion, sont des matériaux non traditionnels. Certains types sont de plus en plus utilisés dans le secteur aéronautique de nouveaux plastiques plus

respectueux de l'environnement (recyclage et biodégradabilité améliorés), moins dépendants du pétrole (réduction de coût), thermostables, plus transparents, incassables, ininflammables ou originaux sont en voie de développement.

• Aujourd'hui - Le matériau de choix pour les applications innovantes

Aujourd'hui, les plastiques sont réputés pour leur durabilité, leur résistance et leur flexibilité de conception, trouvant des applications uniques et innovantes dans des secteurs allant de la santé et de la médecine, à la technologie grand public, à l'automobile, à l'emballage, à l'aérospatiale, au bâtiment et à la construction, etc.

Consultez la série de rapports *Plastics Market Watch* de PLASTICS pour connaître les principaux développements dans ces secteurs ainsi que ce qui les attend à l'avenir [54].

3. Les polymères

Les polymères forment une classe très importante de matériaux sans lesquels la vie semble bien difficile. Ils sont partout autour de nous dans l'utilisation quotidienne ; en caoutchouc, en plastique, en résines, et en adhésifs et rubans adhésifs. Le mot polymère est dérivé des mots grecs poly = plusieurs et mers = parties ou unités de masse moléculaire élevée dont chaque molécule est constituée d'un très grand nombre d'unités structurelles simples reliées entre elles de manière régulière. En d'autres termes, les polymères sont des molécules géantes de poids moléculaire élevé, appelées macromolécules, qui sont constituées par l'assemblage d'un grand nombre de petites molécules, appelées monomères. La réaction par laquelle les monomères se combinent pour former un polymère est connue sous le nom de polymérisation [46].

4. Polymérisation

La polymérisation est une réaction chimique dans laquelle deux substances ou plus se combinent avec ou sans dégagement de quoi que ce soit comme de l'eau, de la chaleur ou tout autre solvant pour former une molécule de poids moléculaire élevé. Le produit est appelé polymère et le matériau de départ est appelé monomère [46].

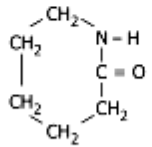
5. Monomères

Les unités monomères sont des molécules organiques à base de carbone. Outre les atomes de carbone et d'hydrogène en tant que composants principaux, des éléments tels que l'oxygène, l'azote, le soufre, le fluor ou le chlore peuvent être contenus dans l'unité monomère. Le type d'éléments, leur proportion et leur placement dans la molécule de monomère constituent la

base pour générer différents plastiques, comme indiqué [47] Le couplage entre les atomes d'une chaîne macromoléculaire se fait par liaison de valence primaire [48].

Le squelette de la chaîne est constitué d'atomes de carbone liés entre eux par simple ou double liaison.

Tableau III.1 : Exemples de monomère et polymère[48].

	Monomer		Polymer
Ethylene	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	Polyethylene (PE)	$-\text{[CH}_2 - \text{CH}_2\text{]}_n-$
Propylene	$\begin{array}{c} \text{CH} = \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Polypropylene (PP)	$-\text{[CH} - \text{CH}_2\text{]}_n-$ $\quad $ $\quad \text{CH}_3$
Vinylchloride	$\text{CH}_2 - \text{C} \begin{array}{l} \text{H} \\ \diagup \\ \text{Cl} \end{array}$	Polyvinylchloride (PVC)	$-\text{[CH} - \text{CH}_2\text{]}_n-$ $\quad $ $\quad \text{Cl}$
Caprolactame		Poly(E-Caprolactame) (PA6)	$-\text{[NH} - (\text{CH}_2)_5 - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{]}_n-$
Tetrafluorethylene $\text{CF}_2 = \text{CF}_2$	Polytetrafluorethylene (PTFE)	$-\text{[CF}_2 - \text{CF}_2\text{]}_n-$	$-\text{[CF}_2 - \text{CF}_2\text{]}_n-$

6. Types de matières plastiques

6.1. Thermoplastiques

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes [49].

6.2. Thermodurcissables

Les polymères thermodurcissables prennent leur forme définitive après la réaction chimique (polymérisation) accompagnant leur transformation.

Le produit fini est infusible donc non transformable et non recyclable. [49]

6.3. Les Elastomères

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes. Sous l'action d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer. Pour que le matériau de base présente une bonne élasticité il subit une vulcanisation. C'est un procédé de cuisson et de durcissement qui permet de créer un réseau tridimensionnel plus ou moins rigide sans supprimer la flexibilité des chaînes moléculaires. On introduit dans l'élastomère au cours de la vulcanisation du soufre, du carbone et différents agents chimiques. Différentes formulations permettent de produire des caoutchoucs de synthèse en vue d'utilisations spécifiques [50].

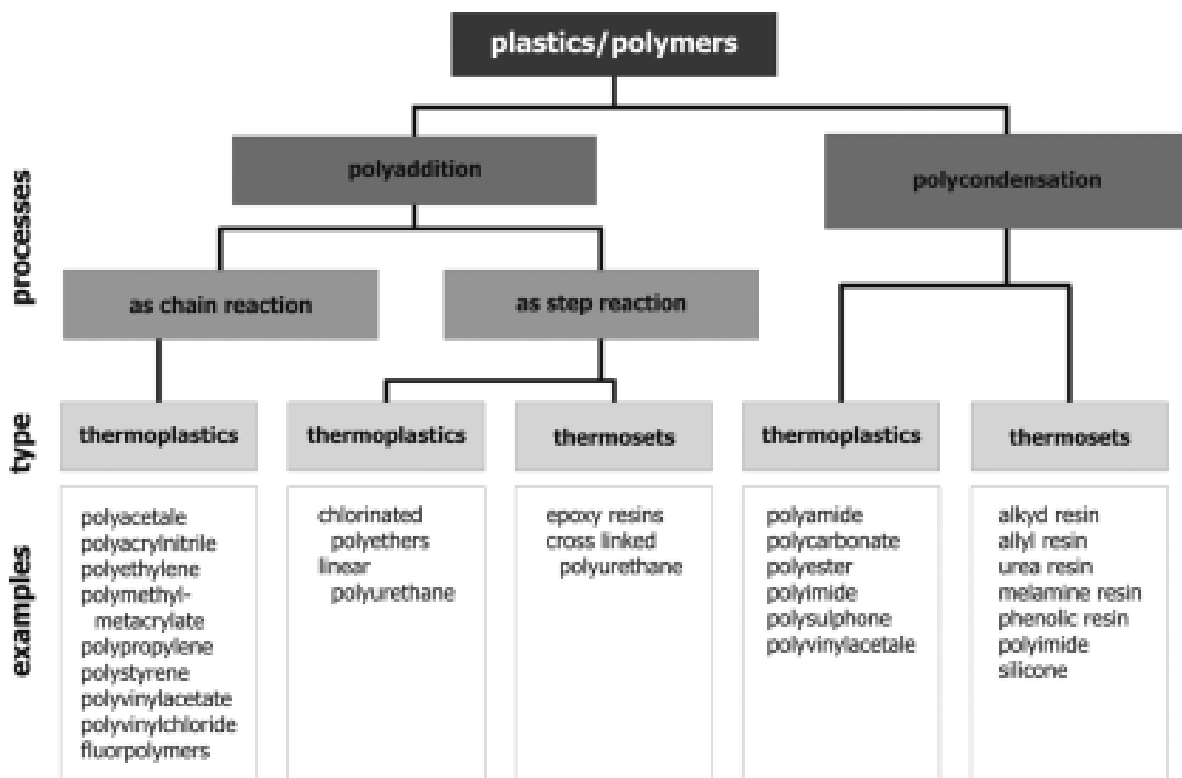


Figure III. 1 : Procédé de génération de plastiques et exemples [48].

□

7. Caractéristiques physiques moyennes de quelques polymères thermoplastiques usuels

Tableau III.2 : Les caractéristiques dépendent de la masse molaire, du procédé de fabrication, du taux d'humidité et du taux de cristallinité.

Code	Densité	Taux de cristallinité (%)	T_v (°C)	T_f ou T_r (°C) ¹³	T_{maxi} (°C) ¹⁴	Module E (GPa)
ABS	1,04-1,12	0	85-125	105-120	70-85	2,5
PA-6	1,13	50	52	215	85	1
PA-6,6	1,14	50	57	260	90	1,5
PC	1,20	0	150	220-250	120	2,4
PE-HD	0,95	80-95	-110	124-135	90	0,8-1,2
PE-LD	0,92	50-70	-110	100-125	70	0,15-0,3
PET amorphe	1,30	0	65-80	255	100	2,7
PET cristallin	1,40	40	65-80	260	100	4,1
PMMA	1,18	0	105	130-140	60-90	3
PP	0,91	60-70	-10	165	100	1,3
PS « cristal »	1,05	0	80-100	100	60	3,2
PVC rigide	1,38	0-5	80	100-120	65	2,4

8. Recyclage

Dans le monde, entre 1950 et 2015, 8,3 milliards de t de plastiques ont été produites. 2,5 milliards de t sont en cours d'utilisation, 500 millions de t ont été recyclées, 800 millions de t incinérées et 4,6 milliards de t mises en décharge.

Aux États-Unis, en 2017, sur un total de 35,4 millions de t collectées, 8,5 % ont été recyclées, 15,8 % incinérées, 75,7 % mises en décharge.

Dans l'Union européenne, plus la Norvège, le Royaume Uni et la Suisse, en 2020, 29,5 millions de t de déchets de matières plastiques ont été collectés. Sur ce total 34,6 % ont été recyclés, 42,0 % valorisés en récupérant de l'énergie et 23,4 % mis en décharge. Entre 2006 et 2018, la collecte a augmenté de 19 %, le recyclage de 100 %, la valorisation énergétique de 77 % et la mise en décharge a diminué de 44 %. Devenir des déchets de matières plastiques dans divers pays européens, en 2018 [51].

9. Répartition de la consommation par type de matière plastique

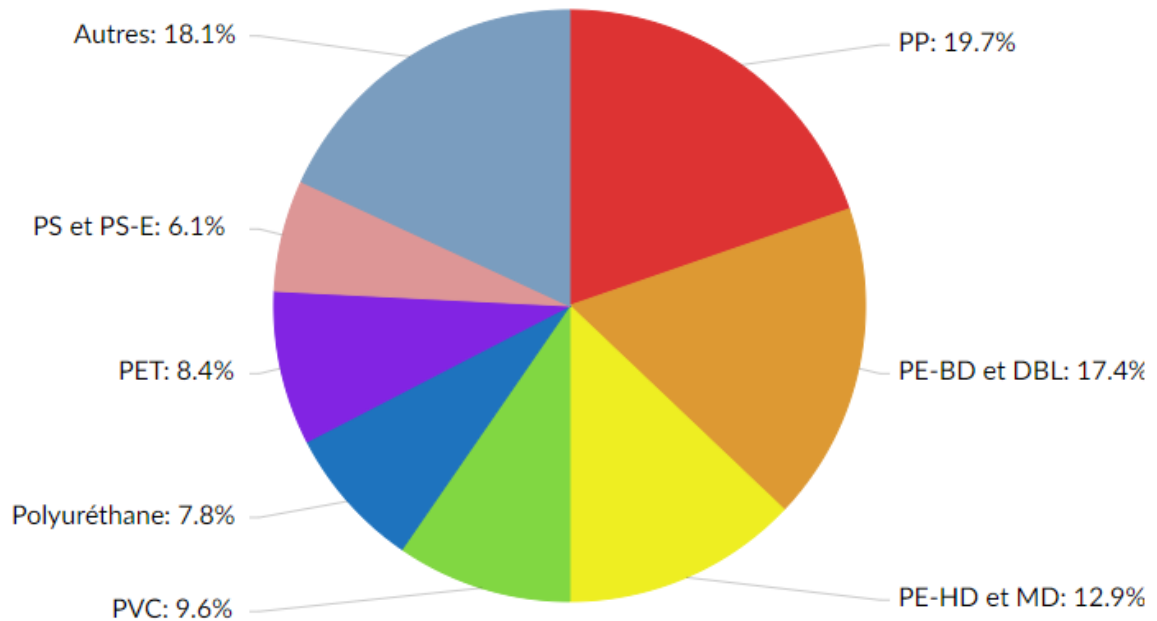


Figure III.2 : En 2020, dans l'Union européenne + Norvège, Royaume Uni et Suisse (source : Plastics Europe)

Secteurs d'utilisation des matières plastiques, en 2020, dans l'Union européenne + Norvège, Royaume Uni et Suisse.

Tableau III.3 : Exploitation du plastique dans la vie

Emballages	40,5 %	Électricité, électronique	6,2 %
Construction	20,4 %	Maison, loisirs, sport	4,3 %
Automobile	8,8 %	Agriculture	3,2 %

Source : PlasticsEurope



Figure III .3 : Exploitation du plastique dans la vie [51] .

IV. SimaPro

Pour réaliser les analyses de cycle de vie de notre projet, nous avons décidé d'utiliser un logiciel pour effectuer les calculs. Il existe un grand nombre d'outils informatiques pour réaliser ces analyses. Les plus connus sont :

- SimaPro
- ELODIE
- openLCA
- X-Pro
- Cycle ITAutomotiv
- SIEC

Notre choix s'est porté sur le logiciel SimaPro pour plusieurs raisons.. La Premier raison de ce choix est que SimaPro est un logiciel avec une base de données accessible très importante. En effet Le programme est également disponible en version d'essai pour les étudiants de premier cycle

1. Définition

Le logiciel Simapro est un outil de modélisation d'Analyse du Cycle de Vie comportant de nombreuses fonctionnalités qui font de lui un des plus reconnus parmi la plupart des utilisateurs spécialistes.

2. Fonctionnalités et spécificités des logiciels d'ACV

pour d'ACV d'un produit nous avons besoin d'utiliser un logiciel spécialisé pour l'ACV. Ces logiciels suivant sont les plus utilisés : SimaPro, GaBi, EcoDesgin Studio et openLCA.

Nous choisirons le programme simapro pour sa facilité de disponibilité, ainsi que pour ses fonctionnalités et avantages

C'est un programme utilisé pour analyser le cycle de vie d'un produit et aide à prendre les bonnes décisions pour changer le cycle de vie du produit pour le mieux et augmenter les effets positifs pour votre entreprise. Le programme donne un aperçu de la performance environnementale des produits et services [55].

3. Caractéristiques de logiciel

La modélisation est faite en saisissant d'abord la nomenclature du produit (en termes de matériaux et des procédés employés pour le réaliser) et en intégrant ultérieurement les

données relatives aux autres étapes du cycle de vie telles que le transport, l'utilisation ou encore la fin de vie. Grâce au choix très important en termes de méthodes d'évaluation (européennes, nord-américaines, etc.) il est possible d'analyser des résultats ou de procéder à des comparaisons entre plusieurs produits.

Parmi les particularités offertes par ce logiciel, on cite :

- la possibilité d'intégrer des cycles de vie additionnels
- des options très poussées en termes de modélisation du recyclage des produits ou de traitement des déchets de process ou en fin de vie

la base de données associée au logiciel est de provenance mixte, on retrouve aussi bien les données ecoinvent que des données provenant de sources nord américaines comme par exemple la base de données Buwal (Agence Suisse de l'Environnement, des Forêts et du Territoire) ou encore Franklin US LCI 98 (États Unis) et IDEMAT

- grâce à des analyses de type Monte-Carlo, il est possible d'effectuer des calculs d'incertitude [53].

4. La bases des données

a base de données associée au logiciel est de provenance mixte, on retrouve aussi bien les données ecoinvent que des données provenant de sources nord américaines comme par exemple la base de données Buwal (Agence Suisse de l'Environnement, des Forêts et du Territoire) ou encore Franklin US LCI 98 (États Unis) et IDEMAT

5. Méthodes de calcul

Les méthodes de calcul d'impact disponibles dans SimaPro sont :

- CML-IA baseline ;
- CML IA non-baseline;
- ReCipe Midpoint H, E et I;
- ReCipe Endpoint H, E et I;
- ILCD 2011 Midpoint;
- IMPACT 2002+;
- EPS 2000;
- EPD (2008);
- Ecological scarcity 2006;
- EDIP 2003;

- BEES +;
- TRACI 2.1;
- Cumulative Energy Demand ;
- USEtox (default) et USEtox (sensitivity).
- Ecological footprint;
- Selected LCI results et Selected LCI results additionnal;
- Ecosystem Damage Potential ;
- Greenhouse Gas Protocol;
- IPCC 2007 GWP 100a20a et 500a;
- Boulay et al. 2011 (Human Health);
- Boulay et al. 2011 (Water Scarcity);
- Ecological Scarcity 2006 (Water Scarcity);
- Hoekstra et al. 2012 (Water Scarcity);
- Motoshita et al. 2010 (Human Health);
- Pfister et al. 2009 (Eco-indicator 99);
- Pfister et al. 2009 (Water Scarcity);
- Pfister et al. 2010 (ReCiPe).

6. Principe de modélisation avec SimaPro

Il existe deux catégories des fiches dans SimaPro : les fiches d'inventaire et les fiches d'étapes.

- Fiches d'étapes : regroupent les grandes étapes de cycle de vie (assemblage, utilisation, transport, fin de vie).

La modélisation avec SimaPro se fait en saisissant d'abord la nomenclature du produit (en termes de matériaux et des procédés employés pour le réaliser) et en intégrant ultérieurement les données relatives aux étapes du cycle de vie (le transport, l'utilisation ou encore la fin de vie) dans les fiches des étapes.

Chaque étape du produit fait référence à des processus dans les fiches d'inventaire. Ces processus peuvent inclure le type de matière, processus de mise en œuvre, mode de transport, énergie, processus d'utilisation, traitement des déchets, etc., et sont soit importés par l'utilisateur ou issus des bibliothèques (bases de données) fournies avec SimaPro.

- Fiches d'inventaire : contiennent les informations suivantes : des entrants de la nature, des entrants de

la « technosphère », des sortants vers la nature : ce sont les substances émises directement dans la nature, sortants vers la « technosphère », des sortants non physiques, valeurs économiques ou sociales. A partir des fiches des étapes et des méthodes EICV sélectionner , le logiciel modélise l'arbre de processus , calcul les l'inventaire des émissions et des extractions , calcul les impacts engendrées par le produit et permet aussi de réaliser une analyse de contribution.

7. Réalisation de l'ACV à l'aide du logiciel SimaPro

Nous n'avons pas pu obtenir la version payante du programme, mais nous essaierons d'expliquer les généralités du programme à travers les informations que nous avons recueillies . En entrant dans le programme, je trouve une icône comme celle-ci

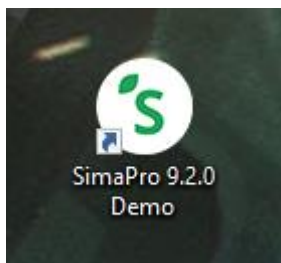


Figure IV.1 : Icône logiciel Sima Pro.

A l'ouverture de l'icône, la fenêtre suivante apparaît

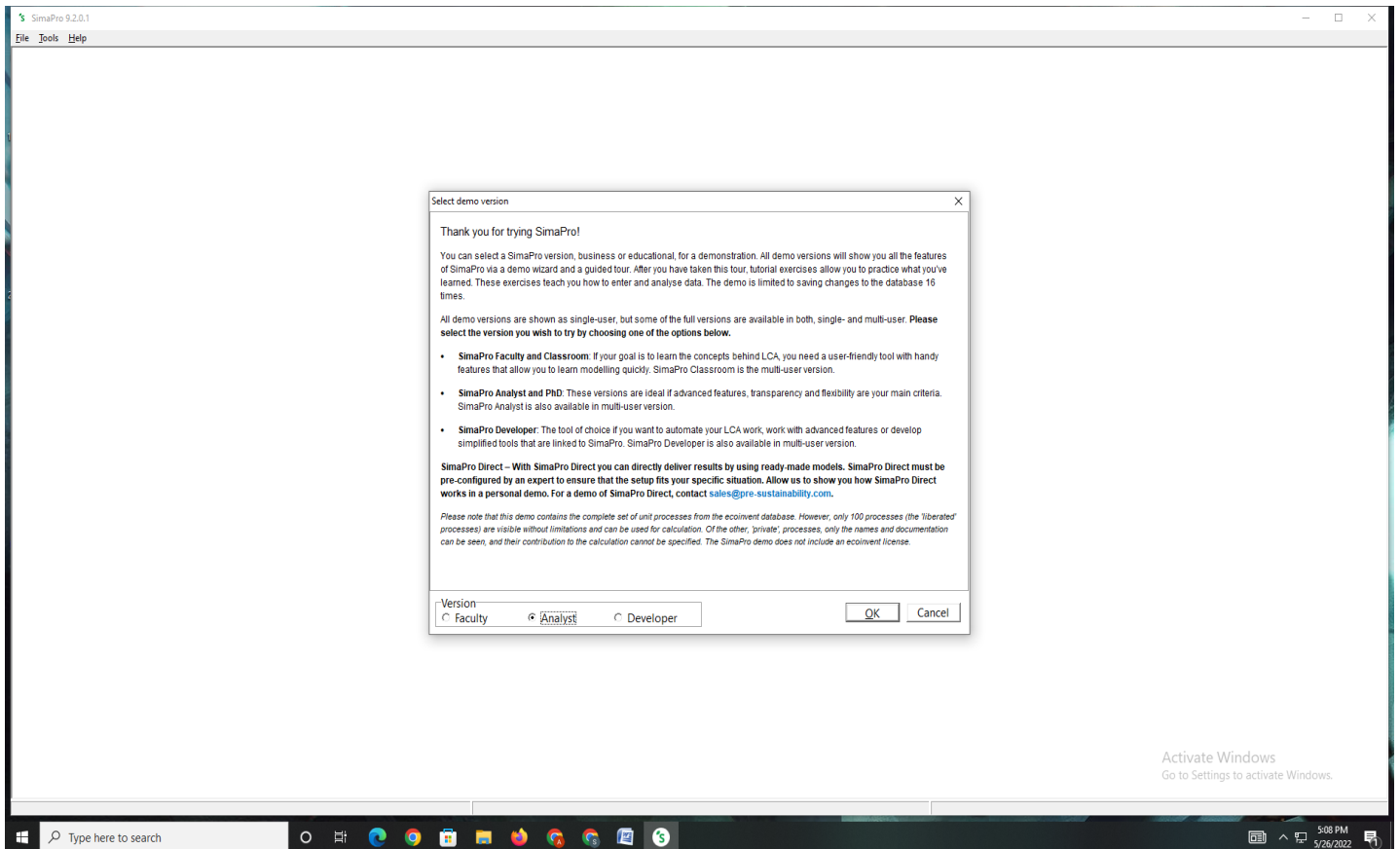


Figure IV.2 : La première interface de SimaPro.



Figure IV.3 : Sélection du mode logiciel

En a “ Faculty , Analyst et Developer “

- Faculty : It is an easy mode to learn the basics of the program and the basics of modeling with simple features
- Analyst : Plus développé que le premier mode et vous pouvez mieux le contrôler et est souvent utilisé par les analystes
- Developer : Il est utilisé pour développer vos propres outils, et c'est la situation la plus avancée dans laquelle même le développement de logiciels peut être fait

IV. SimaPro

- Comme nous sommes nouveaux dans ce programme, l'utilisation du premier mode est suffisante, donc nous choisissons ‘ ‘ **Faculty** ’ ’

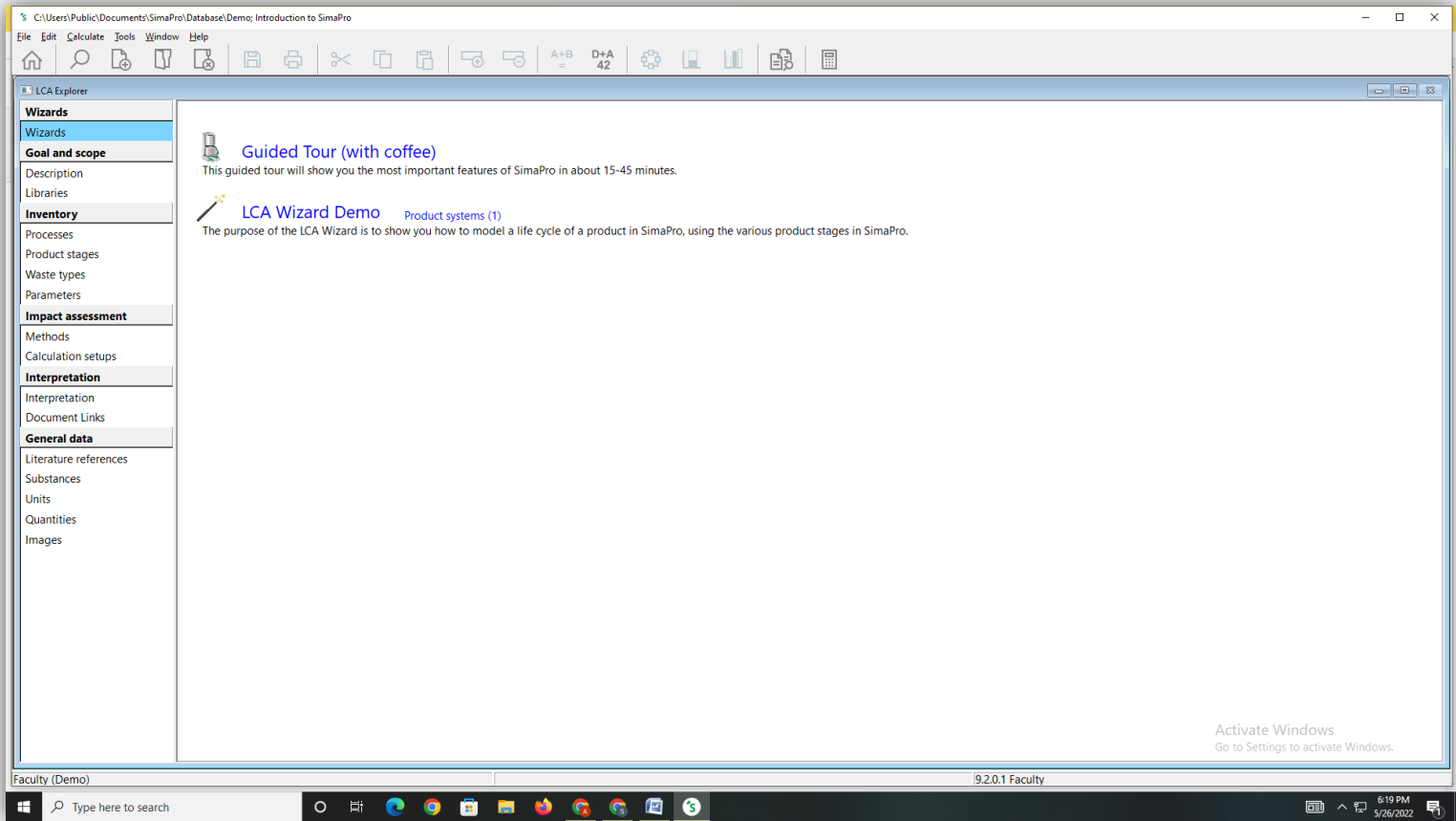


Figure IV.4 : ACV Wizard et production.

- Montrez-nous cette interface :

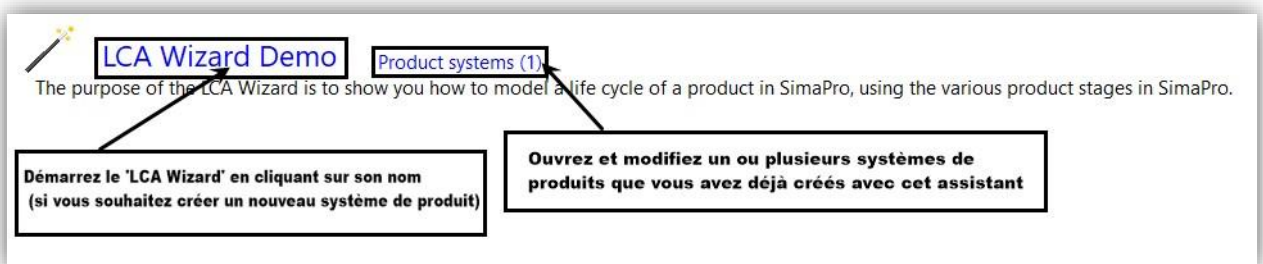


Figure IV.5 : Productions system de SimaPro.

- Aussi la barre latérale

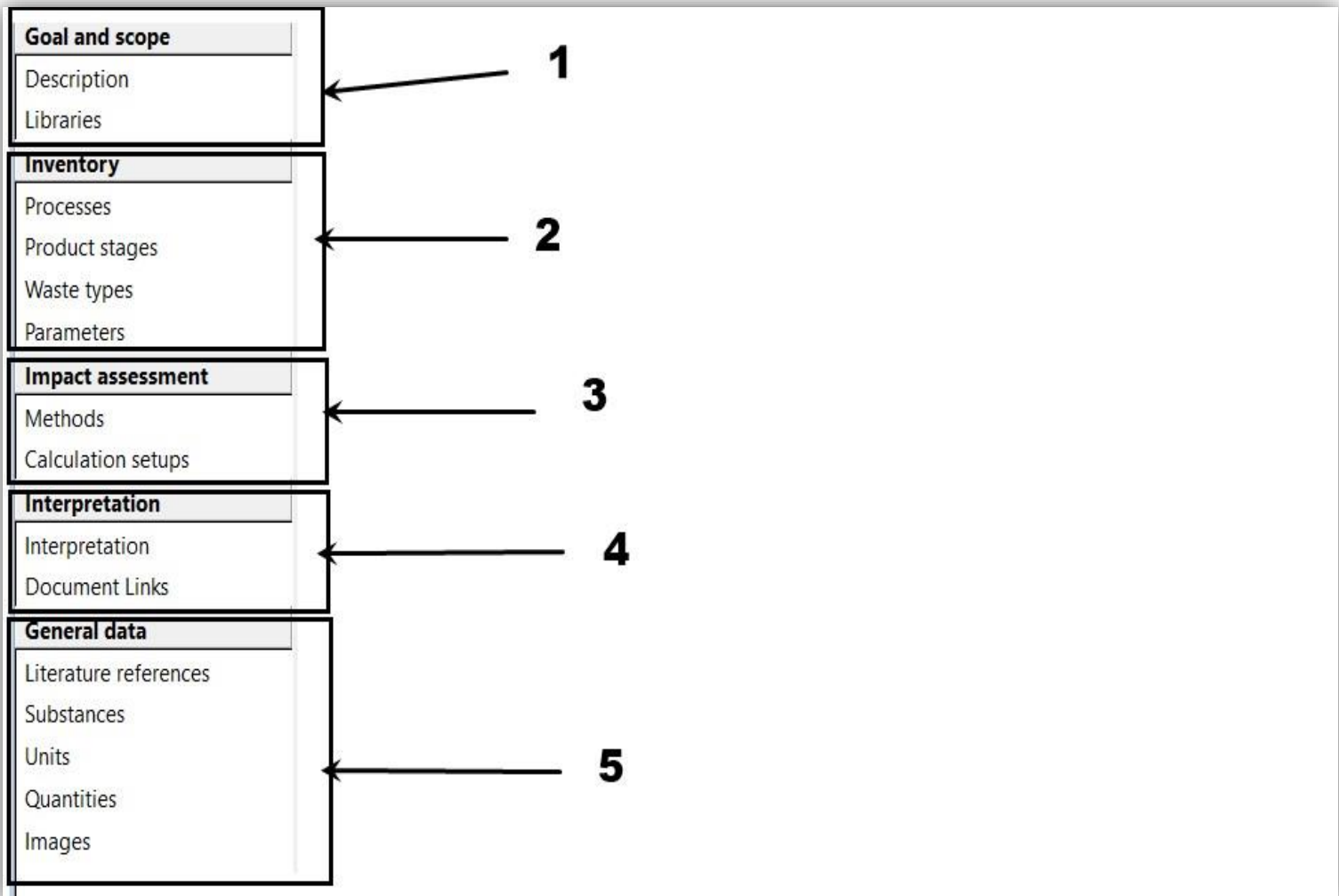


Figure IV.6 :Etaps de ACV.

1. Goal and Scope

Sous la description, vous trouverez un certain nombre de champs de texte. Ceux-ci fournissent la structure pour décrire l'objectif et la portée. Les bibliothèques sont utilisées dans SimaPro en tant que ressources où vous stockez des données standard et des méthodologies d'évaluation d'impact standard. Vous pouvez sélectionner les bibliothèques que vous considérez comme conformes aux exigences de votre étude.

2. Inventory

Cette section permet d'accéder aux processus et aux étapes du produit ; les deux principaux types de données dans SimaPro. Les descriptions de système sont utilisées comme documentation supplémentaire dans certains processus. Les types de déchets sont des

étiquettes utilisées par SimaPro lors de la manipulation de matériaux dans des scénarios de déchets

3. Impact assessment

Cette section donne accès aux méthodes d'évaluation d'impact. Dans la section de configuration du calcul, vous pouvez définir quels cycles de vie, processus et assemblages doivent être analysés et comparés de manière répétée. L'avantage d'utiliser une configuration de calcul est que tous les cycles de vie ou assemblages apparaissent toujours dans le même ordre, avec les mêmes couleurs et la même échelle.

4. Impact assessment

Alors que vous approchez de la fin de votre projet, il sera temps de tirer vos conclusions et de faire un certain nombre de vérifications. Les champs de texte en cours d'interprétation agissent comme un guide qui vous aide à vérifier les problèmes que vous devez résoudre.

5. General data

Les autres types de données comme les scripts et les données générales ne sont pas fréquemment modifiés au cours de l'étude ACV, mais contiennent des tableaux de support utiles, comme :

- Références bibliographiques, que vous pouvez lier dans vos enregistrements de processus.
- Noms des substances : SimaPro contient une table centrale dans laquelle tous les noms des substances sont stockés.
- Les conversions d'unités telles qu'elles sont utilisées dans les assistants.
- Unités et Quantités ; ceux-ci sont utilisés dans d'autres parties de SimaPro.

- Saisie des données

Le cœur de la phase LCI est la construction d'un arbre de processus qui décrit tous les processus pertinents dans un cycle de vie.

Nous allons maintenant vous montrer comment créer ce modèle dans SimaPro.

La structure de données dans SimaPro contient deux blocs de construction différents “ Processes et Product stages “

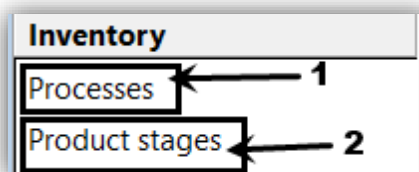


Figure IV.7 : Inventory dans SimaPro

IV. SimaPro

1. Processes :

A process in SimaPro contains data on the following issues:

- Flux environnementaux et sociaux,
- Flux économiques
- Documentation
- Paramètre

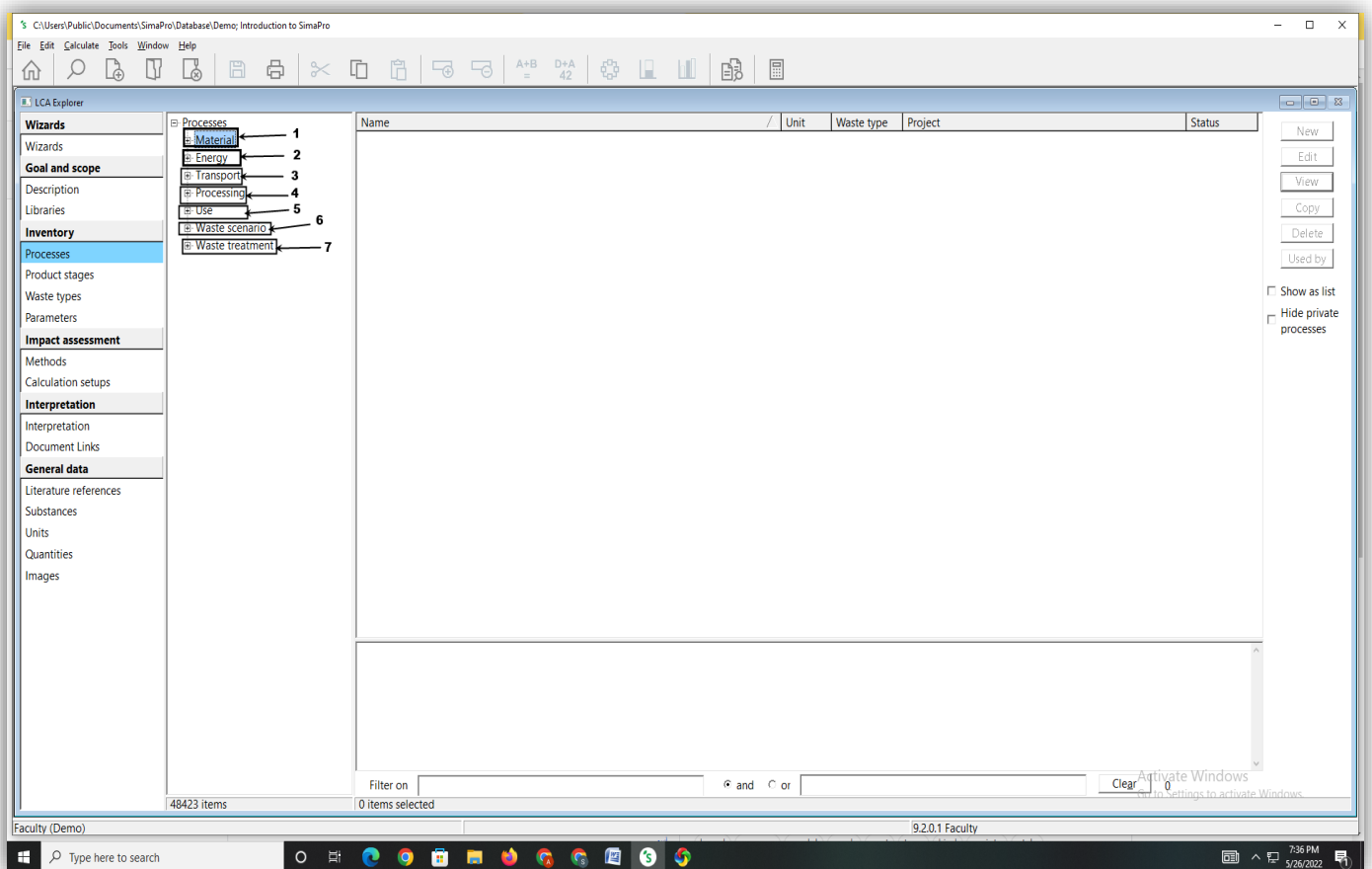


Figure IV.8 : La Processes dans SimaPro

1. Material

Ici, nous choisissons les types de composants et de matériels utilisés dans le produit

Ce sont les matériels disponibles dans les programmes

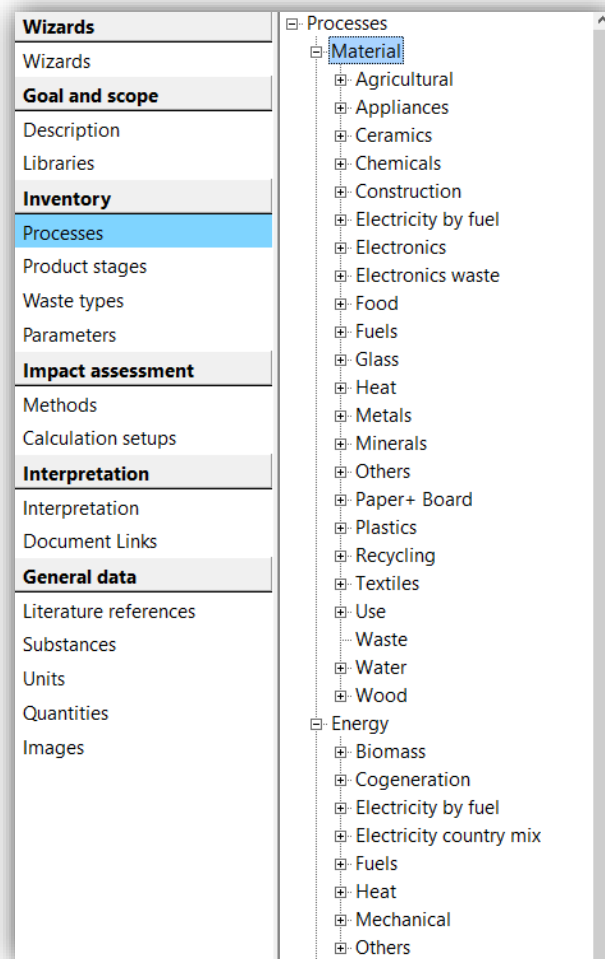


Figure IV.9: Les Matrials dans SimaPro

2. Energy

Ici, nous choisissons les types de Énergie utilisée dans le cycle de vie du produit

Les Énergie disponibles dans les programmes :

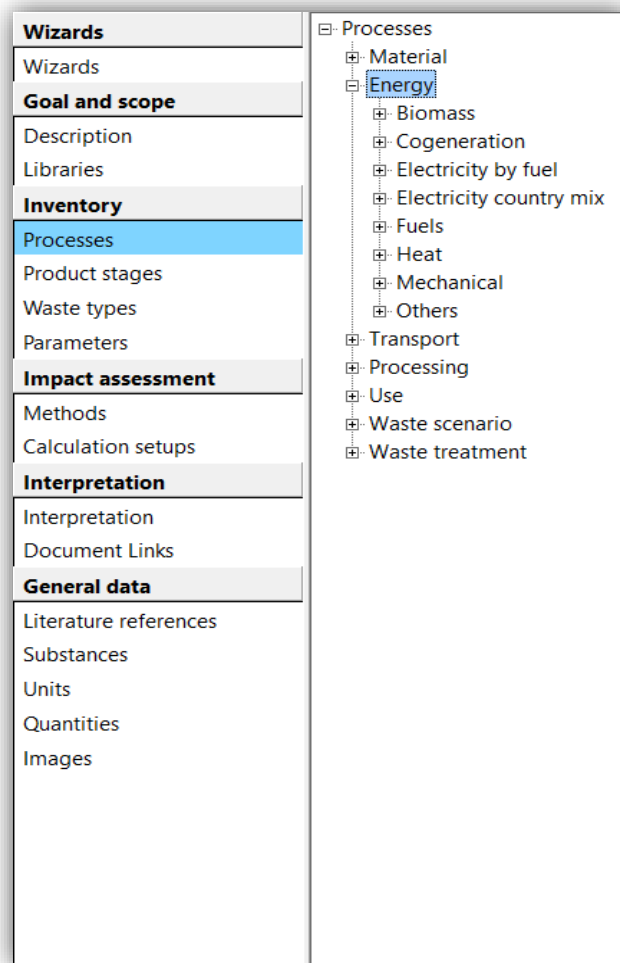


Figure IV.10 ; Energys dans SimaPro

3. Transport

Moyens de transport disponibles dans le programme :

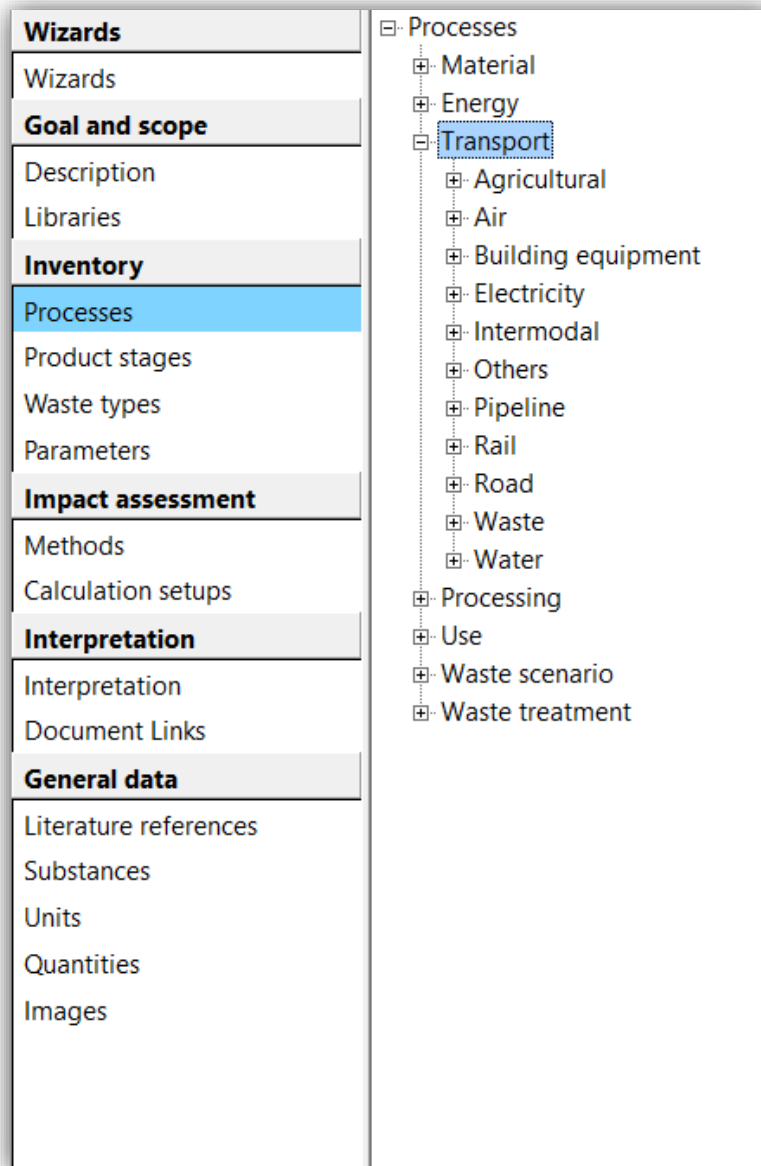


Figure IV.11 : La Transport dans SimaPro

4. Processing

Types de processeurs inclus dans le program

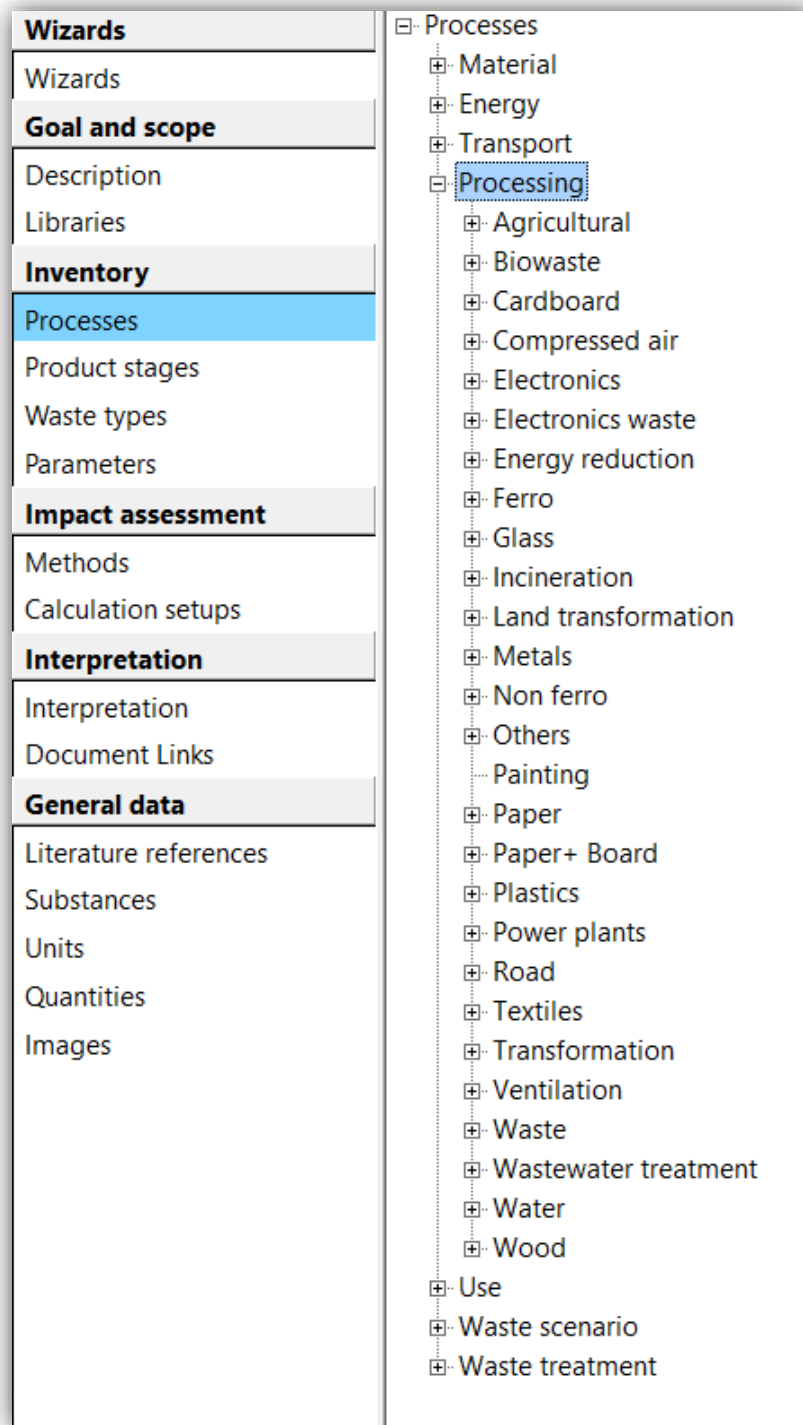


Figure IV.12 : La processing dans SimaPro

5. Use

Utilisez dans sa programme

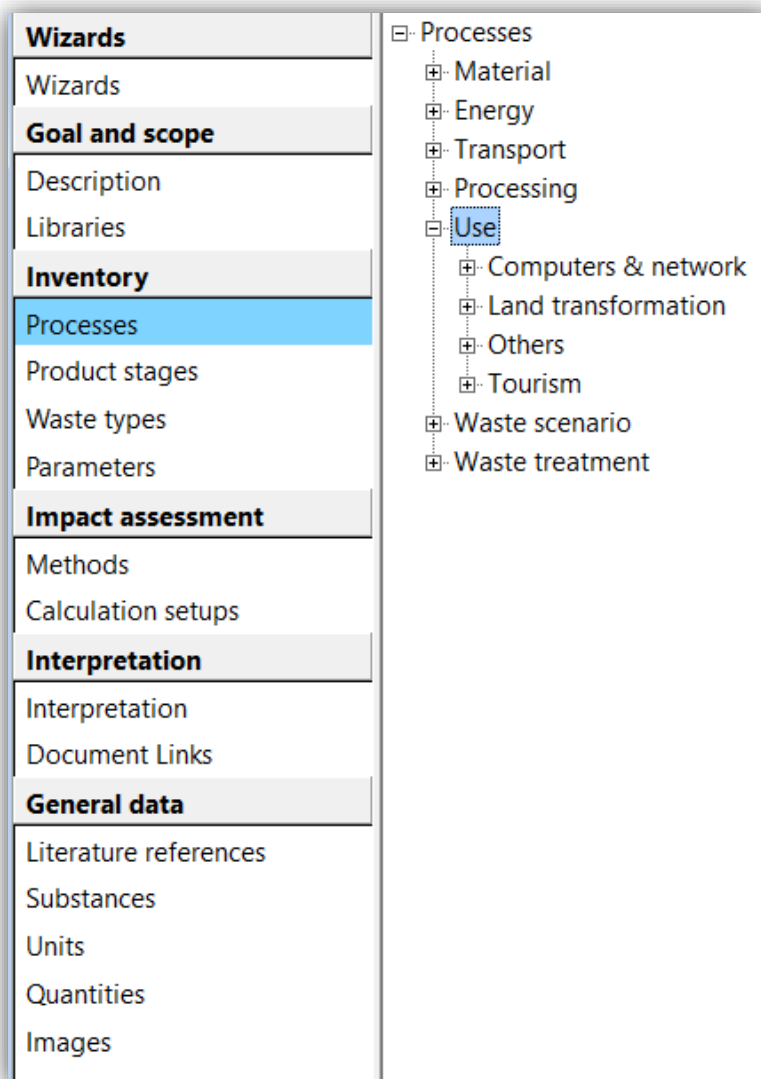


Figure IV.13 : Use dans SimaPro.

6. Waste scenenano

Scénario déchets . Qu'advientra-t-il des déchets et des restes de production ?

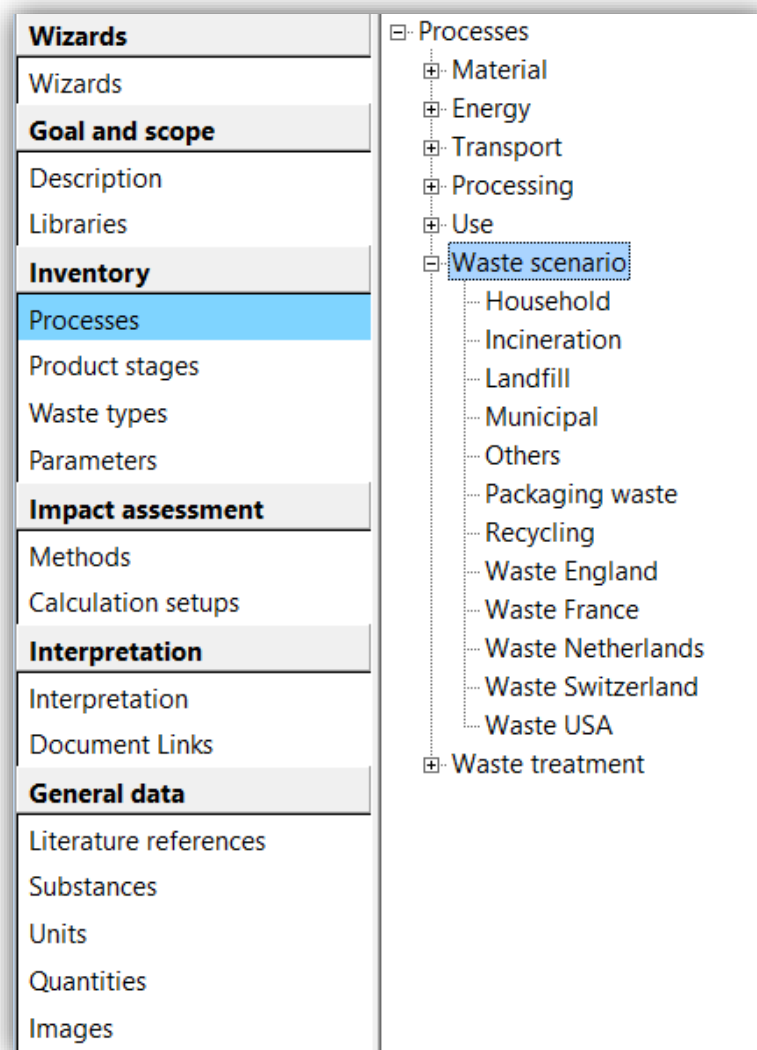


Figure IV.14 : Scénario de déchets dans SimaPro.

7. Waste treatment

Traitement des déchets

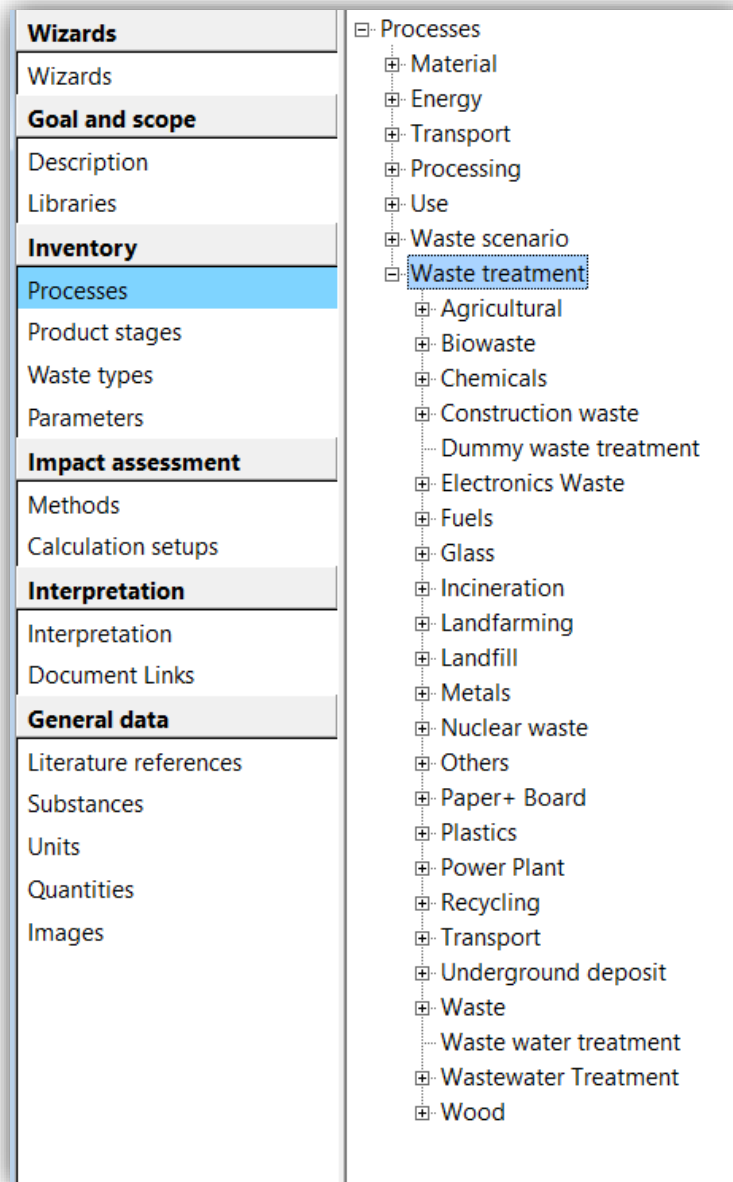


Figure IV.15 : Traitement des déchets dans SimaPro

V. Analyse Cycle de vie d'une bouteille plastique – PET –

1. Explication du processus de fabrication

Le processus de fabrication des bouteilles passe par 4 étapes :

- Le plastique en tant que matière première est fabriqué sous forme de pastilles (granules) qui sont fondues à différentes températures

PET : 500 F

PP : 320 F

PEHD : 267.4 F

- Le mélange PET est pressé et injecté dans des moules sous forme de tubes à essai
- Cette bouteille, qui se présente sous la forme d'une éprouvette, est transférée dans des moules de soufflage en forme de bouteille d'eau, puis soufflée à l'aide d'air comprimé.
- La bouteille est fixée dans la souffleuse avec une aiguille en forme de bouchon de bouteille et contient à l'intérieur de celle-ci PEHD , elle est injectée pour prendre la forme du bouchon
- Il est transféré immédiatement après l'achèvement du refroidisseur pour prendre sa forme générale, il existe d'autres entreprises dans lesquelles le refroidissement est effectué par l'azote à travers les moules
- Transférez-le à la machine d'impression et de collage, et cette imprimante utilise également la technologie de chauffage pour bien installer l'adhésif
- Les 12 bouteilles sont rassemblées dans un seul couvercle
- Ensuite, il est transporté vers un lieu de stockage pour être expédié aux magasins ou aux clients

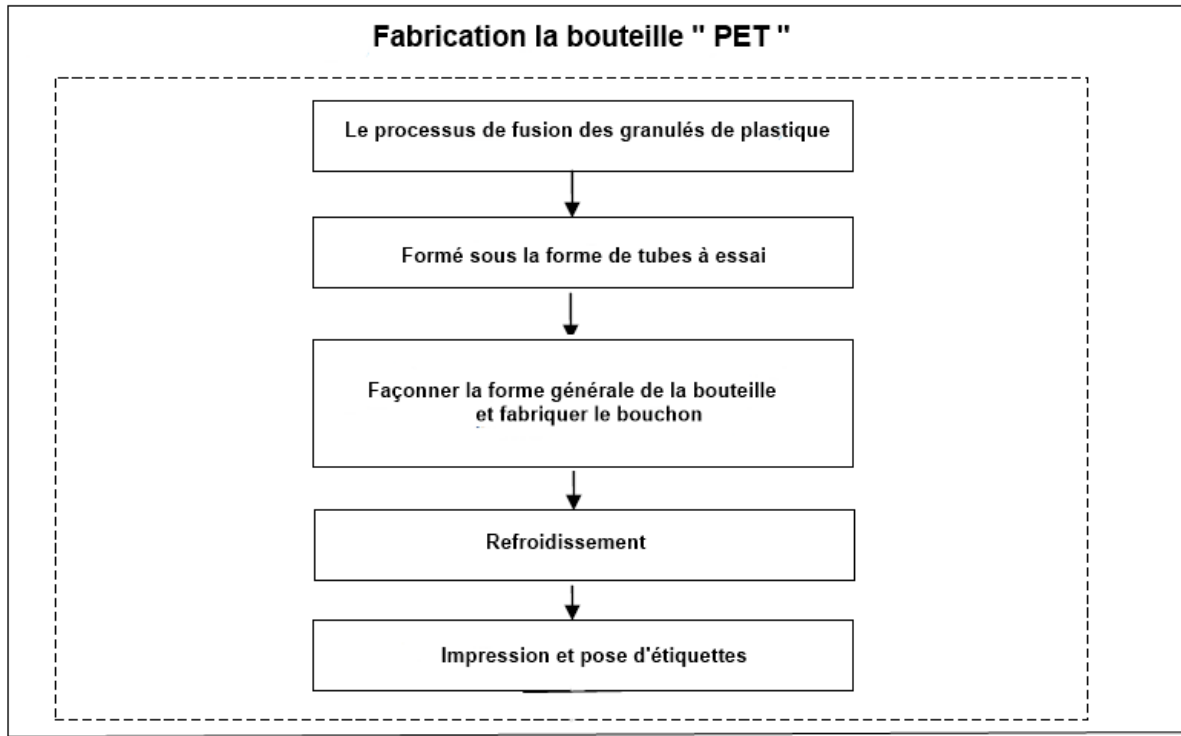


Figure V.1 : Fabrication de bouteille PET.

2. Objectif et Champ d'étude

2.1. Objectif d'étude

Evaluer la performance environnemental de se produit

2.2. Champ d'étude

L'étape de fabrication parce que c'est la plus impact environnemental

2.3. Fonction de produit

Le produit c'est un bouteille plastique de 1.5L eau

Corps de bouteille : 30 cm de haut, 7.5 cm de diamètre.

Couvertures : 3 cm de diamètre et 1 cm de largeur.

Affiche : 7.5 cm de long et 4 cm de large.



Figure V.2 : Bouteille d'eau 1.5L

3. Attributs de la fonction :

- Unité fonctionnelle : stocke 1800L d'eau pour 1 ans
- Flux de références : 1200 bouteille plastique
- System d'étude : Fabrication

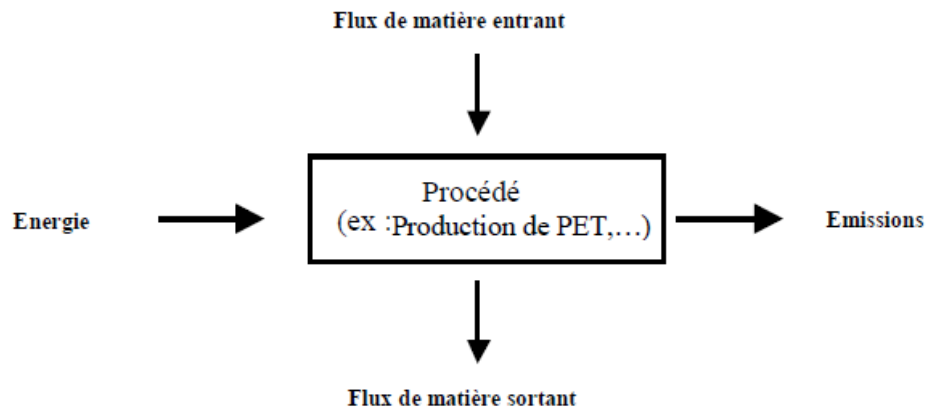


Figure V.3 : Le Procédé de Production.

4. Analyse de l'inventaire du cycle de vie

4.1. l'inventaire

- Matière :

Tableau V.1 : La Matière utilise dans Fabrication

Procédé	Source de donne	Utilisation
Polyethylene Terephthalate (PET) (Bottle grade resin)	Sociétés Danone et Aqua	Production du PET grade bouteille
High density polyethylene (HDPE) resin		Production du PEHD pour les bouchons
Polypropylene (PP) injection moulding		Production du PP La autocollants

V. Analyse cycle de vie d'une bouteille plastique -PET-

- Convention 2 m²
- Énergie :

Tableau V.2 : L'énergie utilise dans la Fabrication.

énergie	Ses utilisations	Source de donne
énergie et chaleur	fusion PET,PEHD et PP	Sociétés Danone et Aqua
injection et gonfler	Gonfler le crops de bouteille et injection les PLastique	
Referoidement	Referoidement la bouteille résultant	
Transfert entre les machines	Transfer pendant les processus de production	

4.2. Sources de données

- Des données exprimant des relations physiques entre différents procédés (ex : la production de la bouteille nécessite la production d'un bouchon de PEHD)
- Des données relatives aux émissions associées à chaque procédés : les flux élémentaires.

Ilya deux types de sources que existent :

- Les sources de données primaires qui sont les données directement collectées auprès de producteurs
- Les matériaux, poids et pertes de production des différents types d'emballages

Tableau V.3 : La et source des dionées.

	Masse pour une bouteille de 1.5 L	Source
PET	0.0275 g	Donnée transmise par Eco-Emballages. Cette masse correspond à la masse moyenne des bouteilles d'au de 1L mises sur le marché en 2006.
PEHD	0.0198 g	Donnée transmise par Eco-Emballages. Cette masse correspond à celle d'une bouteille de la marque Contrex.
PP	5.6e(-4) g	Donnée transmise par Eco-Emballages. Cette masse correspond à celle d'une bouteille de la marque Biota.

- Les consommations d'énergie des usines (matiere l'injection, le soufflage)

Tableau V.4 : Processus énergétique utilisée.

processus énergétique	énergie (Kw/h)	Source des donne
énergie et chaleur	200	Sociétés Danone et Aqua Technology International
injection et gonfler	250	
Referoidissement	100	
Transfert entre machines	30	

- Les sources de données secondaires qui sont les données reprises dans les bases de données ACV de référence.

4.3. Impact

Au regard des émissions de polluants dans l'air, l'eau et le sol générés tout au long des différentes filières, les catégories d'impacts pertinentes pour cette étude sont :

Tableau V.5 : Categorie d'impact étude.

CATEGORIE D'IMPACT	UNITE	SOURCE DU FACTEUR DE CARACTERISATION	ROBUSTESSE DE L'INDICATEUR
1. POLLUTION			
Effet de serre	g éq. CO2	IPCC (2007) sur 100 ans	+++
Acidification de l'atmosphère	g éq. SO2	CML (2004) - basé sur Hauschild & Wenzel (1998)	++
Eutrophisation de l'eau et de l'air	g éq. PO4	CML 2004 - basé sur Heijungs (1992) et Huijbregts (2000-2001)	++
2. CONSOMMATION DE RESSOURCES NON RENOUVELABLES			
Energie non renouvelable	MJ primaire	Facteurs basés sur le PCI	+++
Minéraux	MJ surplus	Eco-indicateur 99 (2001)	++
Consommation d'eau	Litres		?
3. DECHETS			
Déchets finaux mis en site d'enfouissement	kg	Poids mis en site d'enfouissement	+

Les valeurs utilisées sont indiquées dans le tableau ci-après :

Tableau V.6 : valeurs externat environnemental effets de fabrication.

		Valeurs de Normation par an et par Habitant	Représentativité et sources
Consommation d'énergie primaire non renouvelable	MJ primaires	170 000	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Epuisement des ressources abiotiques	kg Sb eq	60	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Consommation d'eau	m3	59	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Bilan Effet de Serre à 100 ans	kg CO2 eq	9 300	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Acidification de l'air	kg SO2 eq	45	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Oxydation Photochimique	kg C2H4 eq	15	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Eutrophisation	kg PO4-- eq	7	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Toxicité potentielle pour l'homme	kg 1,4-DB eq	2 800	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Ecotoxicité Aquatique	kg 1,4-DB eq	210	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Ecotoxicité Sédimentaire	kg 1,4-DB eq	415	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003
Ecotoxicité Terrestre	kg 1,4-DB eq	70	Europe de l'Ouest, Commission Européenne, 2003

Ces valeurs sont issues de l'étude « étude on externat environnemental effets relate to life cycle of products and services » confiée à BIO Intelligence Service pour la Direction Générale de l'Environnement de la Commission Européenne, dont le rapport final a été publié en février 2003.

4.4. Taux de Pertes (OU FREINTE)

Pour la production de chaque emballage, des pertes à la production sont considérées. Ces pertes signalent qu'en moyenne un certain pourcentage est perdu à la fabrication de l'emballage. Il faut donc appliquer un facteur correctif sur les données de poids

Tableau V.7 : Taux de Pertes de bouteille.

Pertes (%)	Moyenne	Source
Bouteille	2%	RDC – Contacts avec différents producteurs (5) 2006-2009
Etiquette	1%	
Bouchon	0.5%	

5. Toutes les entrées et sorties de l'étude

Maintenant, nous mettons les données et informations précédentes dans un graphique qui rassemble toutes les données

V. Analyse cycle de vie d'une bouteille plastique -PET-

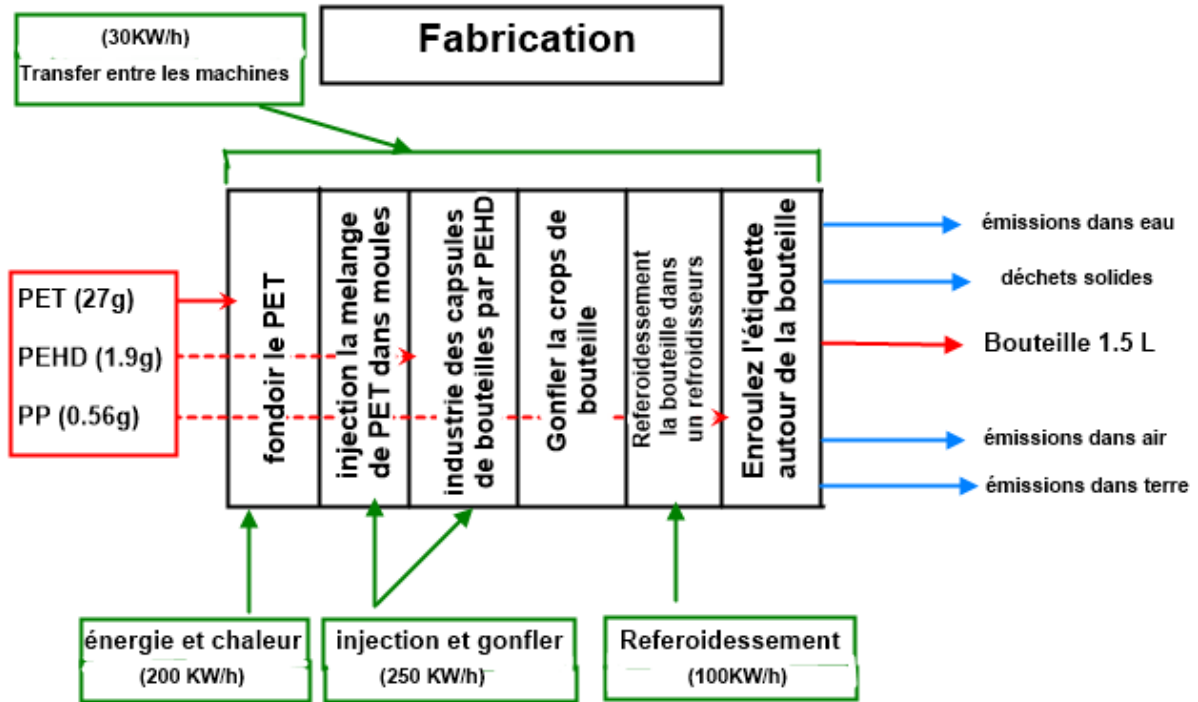


Figure V.4 : Analyse du cycle de vie du processus de production.

6. Utiliser logiciel SimaPRO pour ACV Bouteille PET 1.5L

Après avoir entré toutes les données précédentes dans le programme Sima Pro, cela Nous a donné le cycle de vie suivant

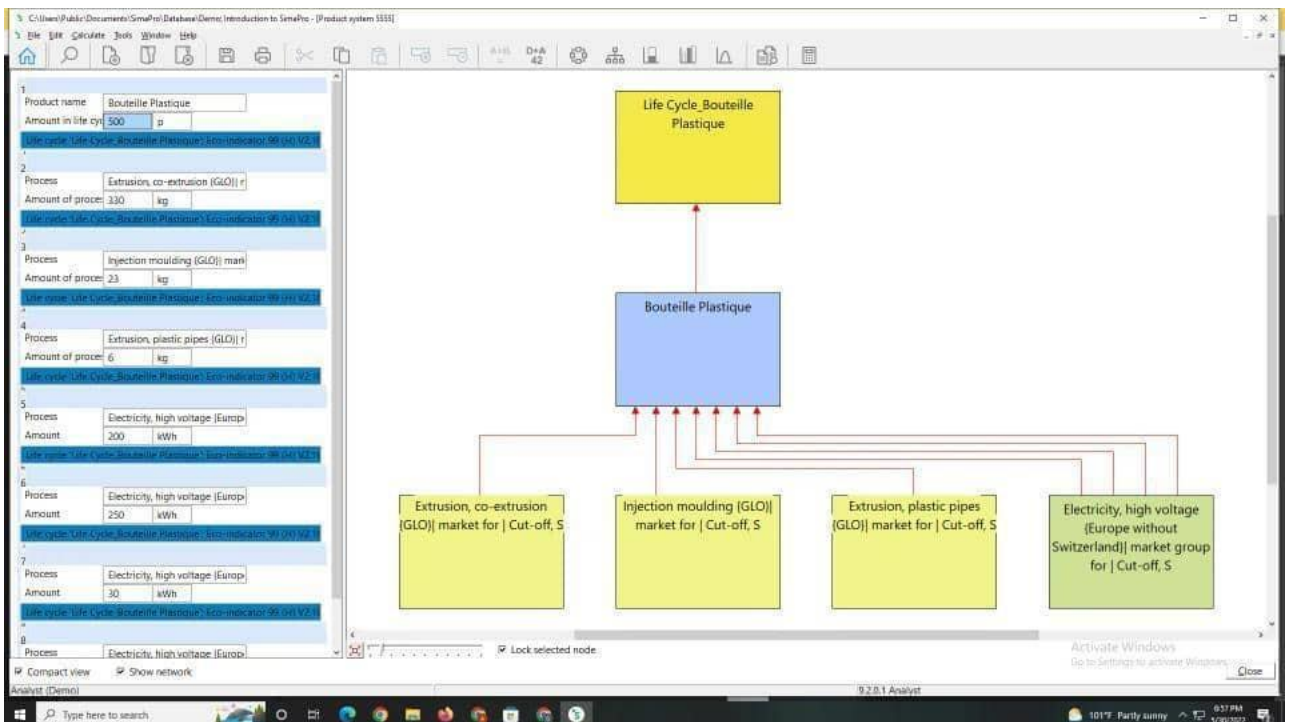


Figure V.5: ACV Bouteille PET dans SimaPRO

6.1. Évaluation des impacts

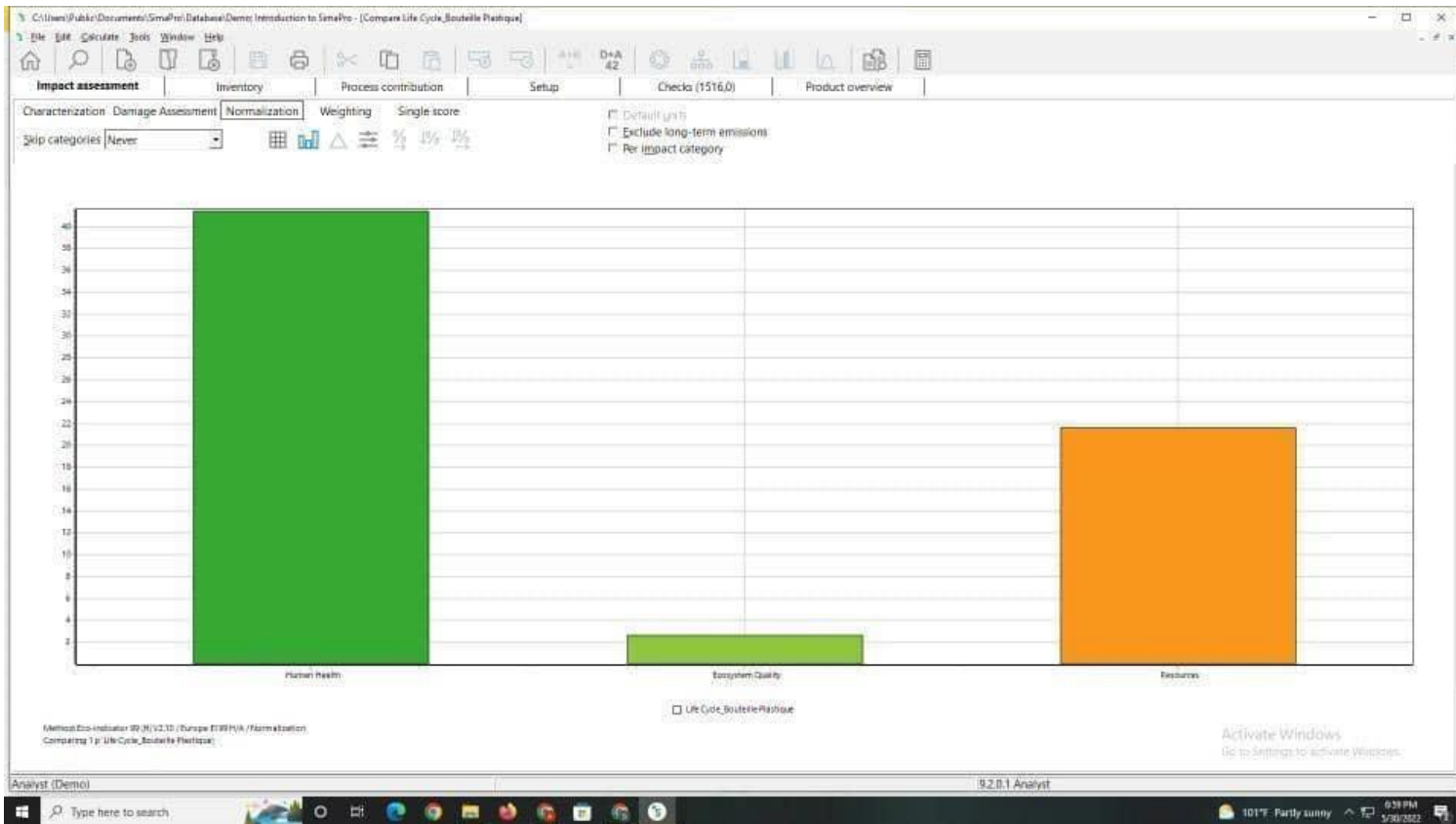


Figure V.6 : Impact Bouteille PET dans SimaPRO

7. Interprétation des résultats

Sur la base de ce qui a été obtenu, l'étape d'interprétation implique l'analyse et la discussion des résultats, en identifiant les problèmes significatifs, conformément à l'objectif et à la portée de l'étude.

Par conséquent, en ce qui concerne les résultats rapportés, la discussion a rapporté les principaux aspects de l'étude.

7.1. Analyse des apports

Seul le temps de production est analysé car le système étudié

7.2. Identification of the Most relevant impact catégories

On peut observer que les catégories d'impact les plus pertinentes au sein des systèmes de produits étudiés sont (à partir de la magnitude la plus élevée) :

- Santé humaine

- Ressources

suivi d'une autre catégorie d'impact :

- qualité de l'écosystème

7.3. Contrôle de cohérence

Lors de la mise en œuvre de l'ACV pour le système de produits à l'étude, toutes les données et méthodes choisies de manière cohérente par rapport à l'objectif et à la portée définis.

Ainsi, les données collectées visent à représenter le plus fidèlement possible le système.

7.4. Quelques solutions proposées

Grâce à notre étude du cycle de vie de la bouteille et à notre analyse de celui-ci, nous avons constaté que nous pouvions apporter des solutions susceptibles de contribuer à résoudre le problème des émissions et de son impact sur l'homme, ainsi que le problème des ressources.

- Une première action d'éco-conception de la bouteille PET

Au premier ordre, les impacts résultant de la fabrication des emballages sont à relier avec la quantité de matière première utilisée pour la fabrication de la bouteille, du bouchon, de l'étiquette,

L'étude a montré que le bilan environnemental global d'une bouteille de 26g est environ 10% plus faible que celui d'une bouteille de 32g. La réduction des impacts environnementaux, sur le bilan du système complet d'emballages, n'est pas proportionnelle à la réduction du poids du corps de la bouteille. En effet, les autres éléments d'emballages génèrent également des impacts qui peuvent également être réduits via l'écoconception

- Une seconde action d'éco-conception : stimuler le recyclage de la bouteille

Le recyclage des bouteilles PET est clairement bénéfique pour l'environnement : en comparaison à une situation sans recyclage, les impacts environnementaux d'une bouteille recyclée (en application fibre ou bouteille) sont notamment diminués de 15% pour les émissions de gaz à effet de serre ou l'épuisement des ressources énergétiques.

Au second ordre, l'étude met en avant les impacts sur l'environnement résultant de la fin de vie de l'emballage, c'est-à-dire de la bouteille, bouchon et étiquette compris. L'étude a identifié les axes suivants pour réduire ces impacts :

- Augmenter le nombre de bouteilles recyclées³ via la prise en compte de la recyclabilité lors de la conception de l'emballage.

- Augmenter le nombre de bouteilles recyclées via l'augmentation et l'amélioration de la collecte et du tri chez les consommateurs.
- Incorporer de la matière recyclée, lors de la conception d'emballage.
- Recycler les bouteilles a bouteilles PET et fibres afin de préserver les matières premières et réduire les émissions le moins possible

7.5. Conclusion

Le présent travail a évalué les impacts environnementaux générés par les bouteilles en PET tout au long de leur cycle de vie.

Cette analyse et les résultats connexes obtenus ont permis d'étudier et d'identifier les facteurs pertinents dans l'impact sur l'environnement.

L'étude visait à connaître les effets de la production de bouteilles en plastique sur l'environnement et à essayer de connaître l'élément le plus nocif

Conclusion

La méthode de travail a comporté deux axes, une recherche bibliographique Dans lequel une étude approfondie de tous les aspects théoriques liés au sujet de la recherche a été réalisée et fournit des informations claires et complètes. Dans celui-ci, une explication générale a été donnée sur le cycle de vie, son histoire et les étapes de son analyse. Nous avons également fourni des généralités sur les dérivés pétroliers du pétrole brut aux processus qui s'y sont déroulés afin de l'exploiter et le plastique que nous avons présenté. ses types, ses opérations et ses utilisations dans la vie quotidienne, puis nous sommes passés à une explication générale sur le programme utilisé dans Study et cet aspect peut être considéré comme faisant partie de l'aspect pratique

Quant au deuxième axe, qui est l'aspect pratique, dans lequel tous les axes de l'étude ont été regroupés en un seul aspect et l'application de l'approche d'analyse du cycle de vie au plastique, celle-ci a pour but de connaître l'impact du plastique bouteille sur l'environnement et d'essayer d'apporter au moins quelques solutions exploitables pour réduire l'impact environnemental.

Dans cet aspect, nous avons traité le cycle de vie d'une bouteille en plastique d'un litre et demi, nous avons fourni quelques informations sur ce produit et la méthode de sa production, et nous avons pris en compte la production uniquement parce que c'est l'étape la plus influente.

Et à travers l'étude, nous avons constaté que les entreprises productrices devraient essayer de fournir des solutions pour que la situation ne s'aggrave pas, et les gouvernements des pays devraient être stricts dans leurs lois.

Bibliographie

- [1] Thomas H. Tietenberg, Environmental and Natural Resource Economics, HarperCollins Publishers, 1992
- [2] Sustainability 2010, 2(11), 3436-3448 ; <https://doi.org/10.3390/su2113436>
- [3] R.DovesiC.RoettiC.Freyria-FavaM.PrencipeV.R.Saunders Chemical Physics Volume 156, Issue 1, 15 September 1991
- [4] PR Jensen, K Hammer - Biotechnology and bioengineering, 1998 - Wiley Online Library
- [5] Baumann H, Tillman AM (2004) The hitch hiker's guide to LCA: an orientation in life cycleassessment methodology and application. Studentlitteratur, LundBrundtland Commission
(1987) Report of the World Commission on Environment andDevelopment
- [6] Donella H. Meadows, Jorgen Randers and Dennis L. Meadows, The Limits to Growth (1972)
- [7] ThomasDandres, Unintended Consequences of Renewable Energy: Problems to be Solved (2012)
- [8] VictorPoudelet Opérationnalisation de l'analyse du cycle de vie pour le développement de nouveaux produits (Masters thesis, École Polytechnique de Montréal) (2011)
- [9] leonard_v88_actes_2019_p73_81_n
- [10] CA Aix-en-Provence, 21 nov. 2013, n° 13/06778. Lire en ligne : <https://www.doctrine.fr/d/CA/Aix-en-Provence/2013/RAD2A1ABA1E24E9B63D1B>
- [11] nb & dv / DECCD / DC : mai 2005
- [12] ISO 14040-14044
- [13] iso 14040.2006
- [14] C Moon, JC Soria, SJ Jang, J Lee, MO Hoque - Oncogene, 2003 - nature.com
- [15] R Frischknecht, N Jungbluth, HJ Althaus, C Bauer... - 2007 - Citeseer
- [16] MG El-Sheikh, ME Khalifa, V Gavdzinski - Mathematics and computers in, 1999 - Elsevier
- [17] G Houillon, O Jolliet - Journal of cleaner production, 2005 - Elsevier
- [18] O Jolliet, M Margni, R Charles, S Humbert - The international journal, 2003 – Springer
- [19] AM De Schryver, KW Brakkee, MJ Goedkoop - 2009 - ACS Publications
- [20] L Toffoletto, C Bulle, J Godin, C Reid- The International Journal , 2007 - Springer

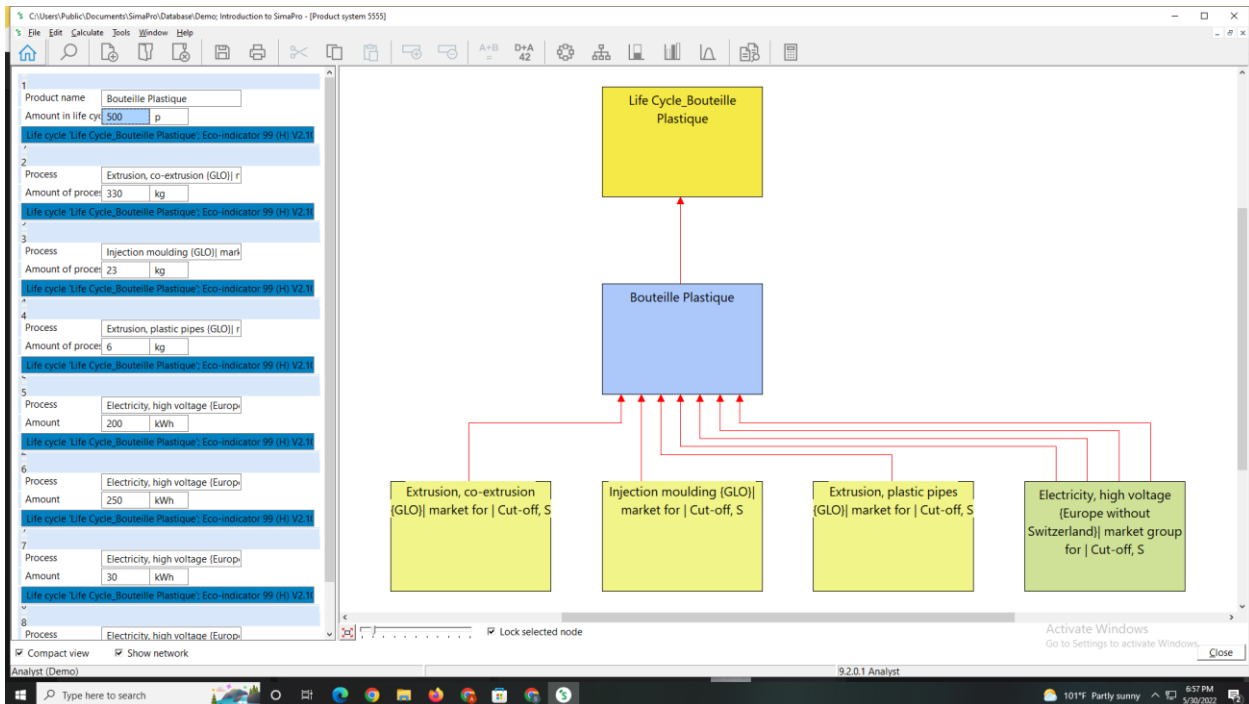
- [21] .«PÉTROLE : Définition de PÉTROLE» [[archive](#)], sur www.cnrtl.fr (consulté le 23 septembre 2020)
- [22] Maurice Durousset, Le marché du pétrole, Paris : Ellipses, 1999, p.5-6)
- [23] BP Statistical Review of World Energy 2001, *Distribution of reserves 2000*
- [24] Speight, 2014
- [25] Colombano et collab., 2008
- [26] J.-P. Wauquier , Collectif Technip – « Le raffinage du pétrole -Tome 2 - Procédés de séparation,Editeur : Technip , 1998
- [27] Robert A. Meyers: Handbook of Petroleum RefiningProcesses, Third Edition. © 2012 The McGraw-)
- [28] Robert Perrin, Jean-Pierre Scharff ;Chimie industrielle ;MASSON ; Paris,1997.)
- [29] L'étude De La Possibilité D'utilisation D'une Colonne De Prédistillation Avec L'augmentation De La Capacité 20% De L'unité 11 De La Raffinerie De Skikda . P.14)
- [30] Atmospheric Emissions From Petroleum Refineries: A Guide For Measurement And Control, PHS No. 763, Public Health Service, U. S. Department Of Health And Human Services, Washington, DC, 1960.)
- [31] Evaporation Loss In The Petroleum Industry, Causes And Control, API Bulletin 2513, American Petroleum Institute, Washington, DC, 1959)
- [32] Hydrocarbon Emissions From Refineries, API Publication No. 928, American Petroleum Institute, Washington, DC, 1973)
- [33] (en) Geyer R, J.R. Jambeck et K.L. Law, Production, use, and fate of all plastics ever made, Science Advances, vol. 3/7, 2017, e1700782, DOI:10.1126/sciadv.1700782.)
- [34] (en) International Fertilizer Association (IFA), International Fertilizer Association Database [[archive](#)], 2018.)
- [35] (en) Levi P.G. et J.M. Cullen, DOI:10.1021/acs.est.7b04573, Mapping global flows of chemicals: From fossil fuel feedstocks to chemical products, Environmental Science and Technology, vol. 52/4, 2018, p. 1725-1734.)
- [36] Connaissance des énergies (2018) « La pétrochimie, principal moteur de la consommation future de pétrole ? », 5 octobre 2018.)
- [37]«Pétrodico,dictionnaire.des.termes.pétroliers»([Archive.org](#) • [Wikiwix](#) • [Archive.is](#) • [Google](#) • [Que faire ?](#). Mai 2019).
- [38] PlasticsEurope, Avenue E. Van Nieuwenhuysse 4, Box 3, Auderghem, B – 1160 Bruxelles, Belgique)

- [39] Glossaire de termes relatifs à l'assurance de la qualité et aux bonnes pratiques de laboratoire, ST/NAR/26, Nations Unies, 1995. p.41
- [40] (en) « Landmark treaty on plastic pollution must put scientific evidence front and centre », *Nature*, vol. 603, no 7900, 10 mars 2022, p. 202–202 (ISSN 0028-0836 et 1476-4687, DOI 10.1038/d41586-022-00648-9, lire en ligne [archive], consulté le 10 mars 2022)
- [41] Description sur les fragments d'un bas-relief provenant du tombeau du vizir Rekhmirê, de Thèbes, en 1470 av. J.-C. (d'après G. Fauner et W. Endlich, cités plus haut)
- [42] La polymérisation radicalaire de l'éthylène fonctionne sous une pression de 150 à 300 MPa, soit ~1 500–3 000 bar, l'amorceur étant le dioxygène ou un peroxyde organique. Parfois, les réacteurs de polymérisation explosaient à la barbe de leurs manipulateurs.)
- [43] OQLF, « La typographie - Marques de commerce » [archive], 2002.
- [44] Le sigle générique des polyuréthanes est PUR, mais les polyuréthanes thermoplastiques (à chaînes linéaires) sont souvent désignés par TPU
- [45] La Seconde Guerre mondiale exacerba les besoins en matières premières (OQLF, « La typographie - Marques de commerce » [archive], 2002.)
- [46] Gowariker, V. R., Viswanathan, N. V. and Shreedhar, J. *Polymer Science*, New Age International, New Delhi, 2005
- [47] Frank, A. and Biederbick, K. (1984) *Kunststoffkompendium*, Vogel-Buchverlag, Wurzburg.
- [48]. Kaufmann, H. (1988) *Grundlagen Der Organischen Chemie*, 8. Auflage, Birkhäuser Verlag, Basel.
- [49] Marc Carrega, Vincent Verney et coll. *MATIÈRES PLASTIQUES Propriétés, mise en forme et applications industrielles des matériaux polymères* 4e édition p.12.13
- [50] Amar-Mamou I. Comportement colorimétrique des auxiliaires élastomériques esthétiques en fonction du temps en orthodontie (étude in vitro). Mémoire CECSMO. Paris: Université Diderot, 2004.
- [51] Gowariker, V. R., Viswanathan, N. V. and Shreedhar, J. *Polymer Science*, New Age International, New Delhi, 2005.
- [52] European Plastics Converters, 71 Av de Cortenbergh, B 1000, Bruxelles, Belgique.
- [53] SimaPro 7, Database Manual. The Franklin US LCI 98 library, Pré-Consultants, Juin 2004.
- [54] www.plasticsindustry.org
- [55] <https://simapro.com/about/>
- [56] <https://www.petrochemistry.eu/about-petrochemistry/flowchart/>

ANNAXE

1. ACV des bouteilles 1.5L en PET dans Italie

Le présent chapitre présente l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) de l'étude de cas choisie



2. Définition des objectifs et de la portée

2.1. Définition de l'objectif

L'objectif des travaux est d'analyser les impacts environnementaux potentiels générés par les bouteilles en PET tout au long de leur vie

Définition du périmètre

Le produit analysé dans l'étude est la bouteille en PET, dont la fonction principale est de contenir et de distribuer toutes sortes de boissons. En particulier, une bouteille en PET de 1,5 l et d'un poids de 28,8 gr (EFBW, 2017a), contenant de l'eau naturelle a été choisie comme produit représentatif

L'unité fonctionnelle considérée est « le confinement et la livraison de 52,08 l d'eau dans des bouteilles en PET de 1,5 l au Danemark et dans la région de Lombardie ». Cela signifie qu'il faut 34,72 bouteilles pour remplir l'unité fonctionnelle : ainsi, le flux de référence est représenté par 1 kg de bouteilles en PET.

L'ensemble du cycle de vie de la bouteille PET est évalué, depuis les étapes de fabrication jusqu'à sa fin de vie :

2.2. Description du système et limite du système

Les étapes de vie suivantes sont incluses dans les limites du système : production de matière vierge, production de bouteilles, phase de collecte et de tri, et en fin de vie uniquement le traitement de recyclage, avec les rendements associés ($Y = \text{Rendement}$), suivi de la production secondaire phase. La production de matière vierge se réfère uniquement au polymère PET, et ne sont pas pris en compte les matériaux supplémentaires nécessaires à la production de la bouteille (tels que ceux pour le couvercle et les étiquettes).

Les autres phases non incluses dans l'analyse sont le remplissage de l'eau (embouteillage) et la phase d'utilisation, ainsi que le transport associé. La justification de ces exclusions est que ces phases sont considérées comme négligeables par rapport aux autres étapes du cycle de vie du système à l'étude.

Afin de suivre le parcours du premier kg de bouteilles en PET produites lors du premier cycle de vie, une analyse des flux de matériaux (AMF) est effectuée.

Scénario Bottle-to-Bottle en Lombardie

Le schéma ci-dessous (Figure 4-1) montre la limite du système dans la région de Lombardie.

Il considère le parcours des bouteilles en PET depuis la production jusqu'à la collecte et la fin de vie.

La phase de collecte considère que seules les bouteilles en PET sont collectées, donc dans les étapes suivantes de tri et de recyclage, le flux est déjà considéré uniquement en PET : cela signifie que l'efficacité de l'étape de tri est supposée de 100 %.

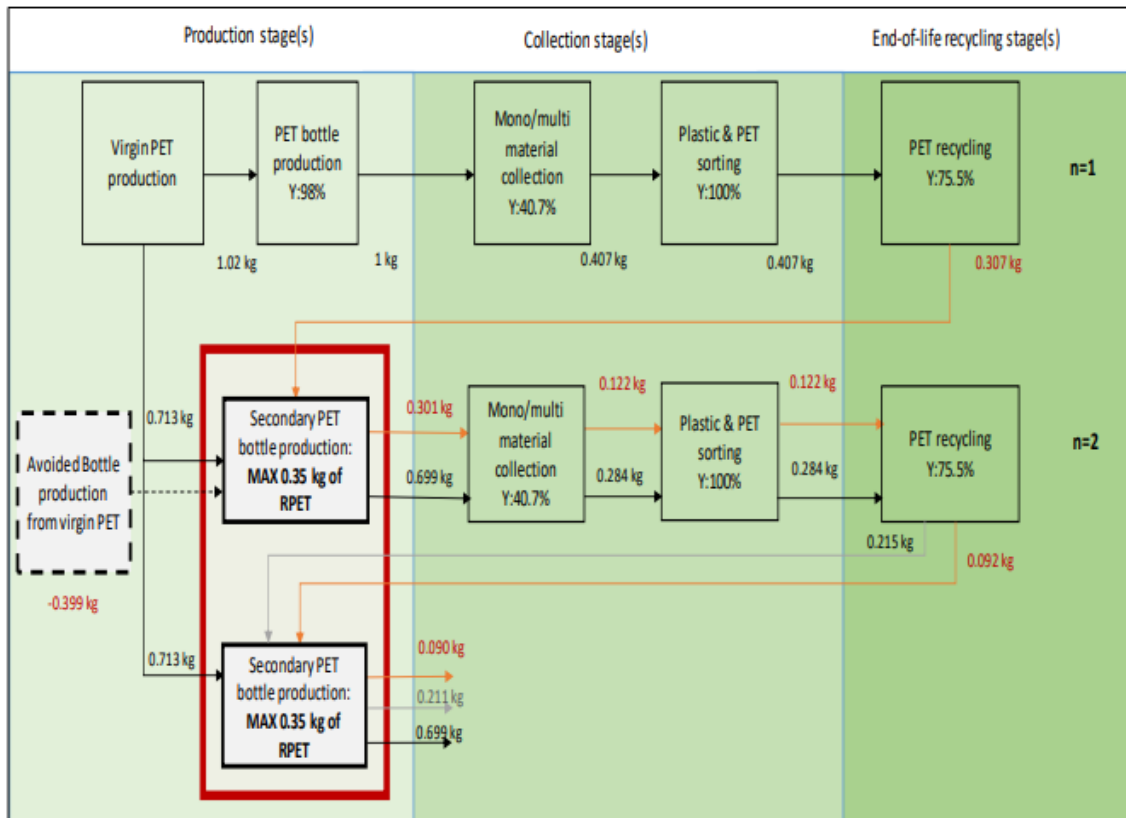


Figure 4-1 – System Boundary and Material Flow Analysis for Bottle-to-bottle scenario in Lombardy region. Legend: n=number of cycle; flows: virgin PET (black); 1st recycled PET (red); 2nd recycled PET (grey).

Selon la manière dont l'AMF a été fixée, on peut supposer que le premier 1 kg de bouteilles PET suivi dans le contexte lombard peut atteindre jusqu'à deux boucles de recyclage : ceci parce

que la quantité de PET recyclé disponible -provenant du 1 kg initial- les résultats ne sont pas suffisants pour un nouveau recyclage après la deuxième boucle.

3. Analyse d'inventaire

Cette phase est nécessaire pour quantifier tous les matériaux, ressources et émissions associés aux étapes de vie considérées dans le système

Le présent chapitre contient une description détaillée des données utilisées dans la modélisation du système italien.

Phase 1. Production de bouteilles en PET

a) Fabrication de PET vierge

Pour la production de matières premières (c'est-à-dire les granulés de PET), le PET de qualité bouteille est ici considéré, donc pour modéliser cette phase, l'ensemble de données d'ecoinvent 3 : utilisé est Polyéthylène téréphtalate, granulé, qualité bouteille [RER] Partant du fait que les sources d'information appartiennent toutes à la même entreprise et sont liées les

unes aux autres et liées aux objectifs et à la portée de l'étude, elle est considérée comme très cohérente.

Table 4-1- features of the ARYA PET CHIP - AP0076 produced in JBF's plant in Geel (source: ("JBF RAK LLC," 2017)

Property	STM (Standard Test Method)	UNIT	VALUES
Intrinsic Viscosity	ASTM 2857	dl/gm	0.760±0.02
Carboxyl End groups	Titrometric	Meq/Kg	Max .35
Colour Value	Hunter Scale (L, a, b)		<1.5 ; >80.0
Acetaldehyde	G.C	(PPM)	<1.0
Melting Point	Hot stage microscope	°C	248±2
Moisture	Manometric	%	<0.10

a) Fabrication de bouteilles

Cette phase comptabilise la production de bouteilles PET en considérant le flux de référence de 1 kg de bouteilles PET

Ce processus tient compte des consommations d'énergie et de matériaux, ainsi que de son efficacité (98 % (Kuczenski et al., 2011)) et l'ensemble de données associé est Étirage-soufflage {RER} | produire | Alloc Def, U. Cet ensemble de données comptabilise déjà lui-même le traitement des résidus provenant du procédé : « 1 kg de ce procédé équivaut à 0,978 kg de plastiques moulés par étirage-soufflage ».

L'usine produit le type de bouteille d'eau qui peut être représentatif du cas d'étude : la bouteille d'eau LEVISSIMA 1,5L

De plus, le transport de la matière vierge jusqu'à l'usine de fabrication de bouteilles doit être pris en compte : la distance entre les deux usines considérées est de 933 km, et le jeu de données utilisé est Transport, fret, camion 3,5-7,5 tonnes, EURO4 {RER } | Alloc Def, U.

Phase 2. Recyclage du PET

Le recyclage du PET comprend les apports d'énergie et de matériaux nécessaires pour obtenir les flocons recyclés. Les données issues de Rigamonti et al. (2013) se réfèrent tous à kg de PET recyclé, et ils sont : consommation d'énergie électrique de 0,32 kWh/kg (Électricité, moyenne tension {IT} | marché pour | Alloc Def, U) ; consommation de méthane de 2,56 MJ/kg (Méthane, 96 % en volume, issu de biogaz, haute pression, chez l'utilisateur {GLO} | marché pour | Alloc Def, U) ; eau et hydroxyde de sodium respectivement de 2,96 kg/kg Eau

du robinet {RER} | groupe de marché pour | Alloc Def, U) et 0,003 kg/kg (Hydroxyde de sodium, sans eau, à l'état de solution à 50 % {GLO} | marché pour | Alloc Def, U). Pour le transport du PET collecté et trié vers l'usine de recyclage, une distance de 50 km est supposée et l'ensemble de donnéesecoinvent utilisé est Transport, fret, camion >32 tonnes métriques, EURO4 {RER}| transport, fret, camion >32 tonnes, EURO4 | Alloc Def, U.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Il est désormais possible de passer aux phases suivantes de l'ACV : l'étude d'impact et l'interprétation.

4.1. Évaluation de l'impact

La phase d'étude d'impact est fondamentale pour l'évaluation et la compréhension de l'ampleur et de l'importance des impacts environnementaux potentiels du système étudié.

La méthode sélectionnée pour l'analyse est la version 1.09 de l'ILCD 2011 Midpoint+ : cette méthode prend en compte 16 catégories d'impact médian. Plus tard, les résultats de l'analyse utilisant la méthode de Pfister et al.(2009)

Les résultats sont présentés et commentés en cohérence avec l'objectif de l'étude : « ...analyser les impacts environnementaux potentiels générés par les bouteilles en PET tout au long de leur vie, .

5.. Interprétation

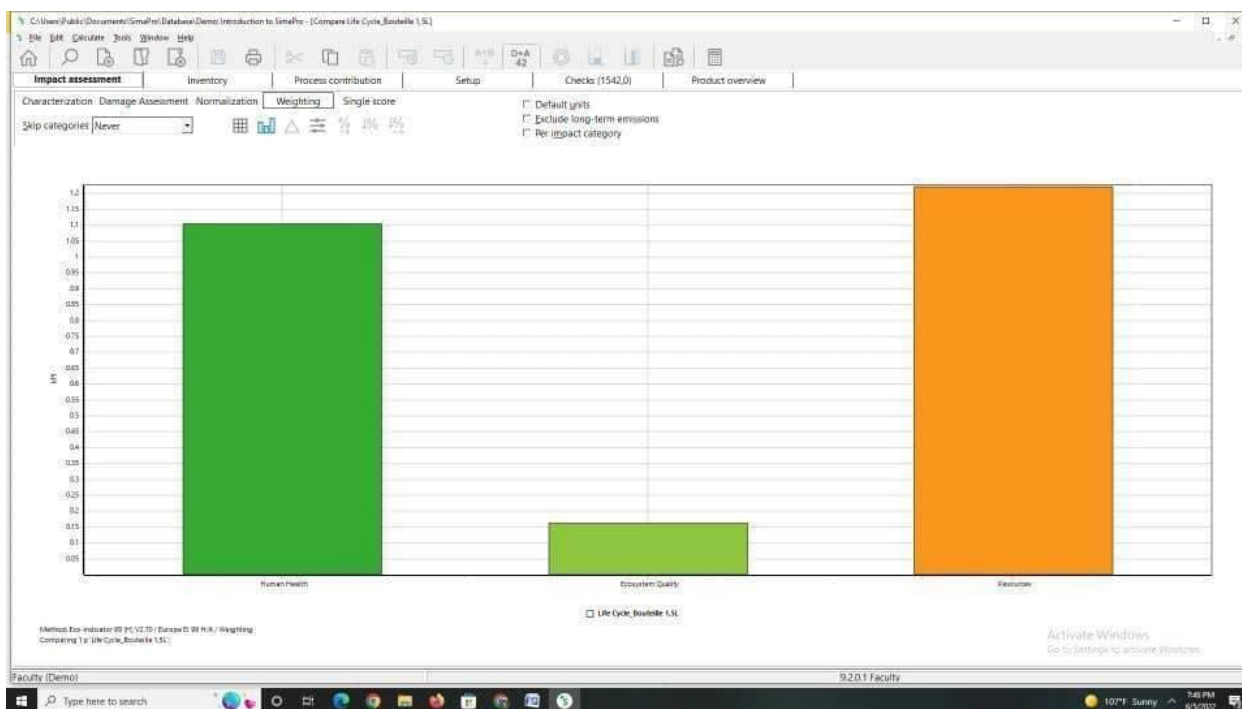
Sur la base de ce qui a été obtenu, l'étape d'interprétation implique l'analyse et la discussion des résultats, en identifiant les problèmes significatifs, conformément à l'objectif et à la portée de l'étude.

Par conséquent, par rapport aux résultats rapportés dans le chapitre précédent, la discussion rapportée dans les sous-chapitres suivants couvre les principaux aspects de l'étude

5.1. Contribution analysis

Selon les objectifs et la portée de l'étude, nous aborderons les étapes de production et de recyclage et les considérerons comme les plus pertinentes .

5.2. Identification des catégories d'impact les plus pertinentes



À travers la courbe, nous remarquons qu'il y a deux catégories qui sont les plus liées à l'impact humain et à la source brute des produits .

Nous négligeons la troisième catégorie car un pourcentage significatif seulement

5.3. Contrôle de cohérence

Partant du fait que les sources d'information appartiennent toutes à la même entreprise et sont liées les unes aux autres et liées aux objectifs et à la portée de l'étude, elle est considérée comme très cohérente

6. Étapes d'aide dans logiciel SimaPro

6.1. Les Etape de Premiers Pas dans simapro :

- entrer dans disk local "C" trouver « public » et fichier document public et choisir « simapro (database) ».
- copier le document (data base) et passer dans le bureau Avec in nom « database project » et Apparaît avec le fichier Sima Pro.
- Nous entrons dans le programme Sima Pro et la base De Donner « ouverture » automatiquement en ouvrir une base De données simapro.

- cliquer à naviguer en pouvoir changer la data base dans bureau sélectionner et cliquer en ouvrir on a nouvelle base de données.
- cliquer a nouveau et nous écrivons (nom du système) nous montre un ensemble de la base du Donnée De simapro. Nous choisissons allocation « cut_off » by classification _unit et le base De méthodes et cliquer le button processus.
- la processus continent plusieurs des matériaux comme (agricultural -ceramics _chemicals _metals _ferro _no ferro est etc....).
- par exemple choisir « ferro » Lorsque vous appuyez sur le bouton « market » Montrez-nous une liste contenant Les produit est le matériau Du moyen global de ce processus ça. Et quand on appuie à transformation Montrez-nous une liste de processus spécifique Avec chaque partir.

6.2. Les Etape d'Arborescence du cycle vie du projet dans simapro :

- ouvrir Simapro et cliquer (nom du système) Nous allons à processus choisir utiliser et cliquer (autre) et nouvelle catégorie nous écrivons dans le nom (ACV système 1) De la même façon on écrit (ACV système 2).
- Dans l ACV écrive (0-1 production).
- Dans la même ACV système 1 écrive (0-2Utilisation) et Dans la même écrive (03_fin Dé vie).
- dans 01production en « anous » mettons (processus utilisés).
- Dans Cette 2_utilisation écrive (processus utilisés).
- dans fin de vie en a écrive (processus utilisés).
- dans production en à cliquer Dans le bouton nouveau en sortant connus Vers la techno sphère. Produits et coproduits taper (étape de production) Avec quantité 1 et amont quantité
- dans utilisation Nous faisons de même étape de production et écrive étape d'utilisation.
- dans fin De vie nous faisons de même étape et écrive étape de fin De vie.
- Nous allons à ACV système 1 faisons de même étape et écrive ACV Avec quantité 1 unité P et Amont cliquer dans (insérer une ligne ici) et sélectionner les étape Dé production et utilisation et fin De vie écrivons ls valeur.
- dans le matériau en a choisir Ferro et cliquer dans transformation Montrez-nous une liste contient le nom De transformation Avec le type de déchu par exemple choisir « steel chromium steel » cliquer dans documentation et Voir Les information.
- cliquer dans (entrées/sortants) on remarque Les frontières du système Avec ls flux élémentaires et intermédiaires.

Et Voir Les information Dé chaque tableau.

6.3. Les Etape de Modélisation du système dans SimaPro :

Pour la modélisation du produit, le logiciel d'analyse de cycle de vie SimaPro nous suivons les étapes suivantes :

- Nous ouvrons le logiciel de SimaPro
- On va à la fenêtre de l'Explorateur des méthodes.
- On va dans fenêtre d'Inventaire et on choisit processus.
- Une fenêtre apparaît pour nous permettre de choisir Matériau, puis Métal, puis Ferro, puis Transformation.
- Nous avons plusieurs options, nous précisons le nom de la technologie à étudier.
- On clique sur la copie à droite de la fenêtre.
- La fenêtre Fiche d'inventaire apparaît.
- Nous entrons le nom du produit, la quantité, la fréquence unitaire et copions le texte dans la fenêtre des commentaires et appuyons sur OK.
- Dans la fenêtre Fiche d'inventaire nous retrouvons le projet que nous avons ajouté.
- On extrait le projet en cliquant sur processus utilisé.
- Double-cliquez sur le nom du projet extrait.
- Une fenêtre avec des informations publiques nous apparaît, un projet que nous modifions en fonction des données que nous souhaitons.
- Nous convertissons un projet en projet de production en appuyant sur Transformation.
- Avec cela nous avons fait la Modélisation du système dans SimaPro pour un produit spécifique.

Et Voir les résultats et les informations sous forme de graphiques.

8.4. Les Etape de Génération des résultats EICV dans SimaPro :

Pour la génération des résultats EICV, le logiciel d'analyse de cycle de vie SimaPro nous suivons les étapes suivantes :

- Nous ouvrons le logiciel de SimaPro
- On va à la fenêtre de l'Explorateur des méthodes.
- On va dans fenêtre d'Inventaire et on choisit Méthodes.
- Dans la fenêtre Méthodes choisir « European ».
- Nous avons plusieurs options on utiliser à un pack 2002 plus « IMPACI 2002+ ».

- dans les eaux européennes ont cliqué sur un pack 2002 fusent et qui est à droite sur définir par défaut dans ce cas.
- On va à la fenêtre de l'Explorateur des méthodes.
- On va dans fenêtre d'Inventaire et on choisit processus.
- Sélectionner ACV-Conventionnel cliqué « Analyser » dans la barre des tâches et clique calculer.
- On voit que les résultats sont donnés par rapport aux étapes du cycle de vie on a une couleur verte pour l'introduction d'une couleur orange.
- On voit les le résultat donné par substance de référence donc si on a intéressé par l'empreinte carbone.
- Donc c'est une indication supplémentaire dans la caractérisation de dommages environnementaux cette fois ci on a uniquement les caps dommage donc sorti une mannequin des espaces thématique.
- Et Voir les résultats et les informations sous forme de graphiques et de tableaux de simulation.