

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Hygiène et sécurité industrielle

Spécialité : Hygiène et sécurité industrielle

**Analyse du cycle de vie et quantification des impacts
environnementaux du procédé de liquéfaction du
gaz naturel à l'aide du logiciel SimaPro
Méga train GL1K Skikda**

Soutenu le 03/06/2023

Réalisé par :

CHAOUCHE Ameer

KHELIL Mohamed islem

BOULAHIDID Abd elmoumen

Encadré par :

Dr. Benaïssa Amina

Devant le jury composé de :

| | | | |
|-----------------------|-----|-----------------|-----------|
| Dr. Bouafia Abdaraouf | MCB | univ. De Skikda | Président |
| Dr. Bouregbi Lakhdar | MCA | univ. De Skikda | Examineur |
| Dr. Lokchiri Naima | MCA | univ. De Skikda | Examineur |
| Dr. Mehri Karima | MCA | univ. De Skikda | Examineur |

Année Universitaire 2022- 2023

Remerciements

Avant tout, je remercie DIEU tout puissant que sans lui ce manuscrit n'aurait pu être réalisé. Je tiens à exprimer ma très grande considération et ma vive reconnaissance aux enseignants de l'Universités «20 Août 1955-Skikda » surtout ceux du département Génie des procédé et pétrochimie.

J'exprime mes vifs remerciements à mon encadreur Dr Benaïssa Amina pour son énorme contribution et orientation dans la réalisation de ce mémoire. Je remercie également les membres de jury qui ont bien voulu examiner et discuter ce travail. Mes plus vifs remerciements à tous mes amis de la promotion HSI 2023.

Dédicace

Premièrement je remercie Allah qui m'a donnée la

Patience et la force pour Accomplir ce travail

Je dédie ce travail A ma famille en particulier à ma mère

Et à mon père Je les remercie pour leur soutien et leur

Patience à mon égard dans mon parcours académique, et

Je leur présente mes sincères salutations

A mon encadreur “Mme Benaissa Amina” pour ses

Conseils et ses orientations tout ou long de la réalisation de ce
travail

A tous les membres de ma famille a tous mes amis et tous

Ceux qui m'aiment...

Ameur

Dédicace

Premièrement je remercie Allah qui m'a donnée la patience et la force pour Accomplir ce travail.

Maintenant je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont soutenu, que ce soit de près ou de loin. Je me remercie ceux qui m'ont épaulé face à tous les défis et difficultés rencontrés tout au long de ce parcours.

A mon encadreur “Mme Benaissa Amina” pour ses conseils et ses orientations toutes ou longues de la réalisation de ce travail.

A tous les membres de ma famille a tous mes amis et tous ceux qui m'aiment.

Islem

Dédicace

Je dédie cette mémoire à mes fidèles amis qui ont été à mes côtés à chaque étape de ma vie. Ils n'étaient pas seulement des amis, mais une famille, des personnes qui me comprennent sans mots et me soutiennent sans paroles.

Je la dédie à ma merveilleuse famille, qui a toujours été là pour moi et m'a soutenu à chaque pas que j'ai franchi dans ma vie. Sans leur soutien et leur encouragement, je n'aurais jamais atteint cette étape. À mon père affectueux et ma mère, je vous remercie pour l'amour infini que vous me portez.

Je la dédie à ma mère qui s'est sacrifiée pour être là aujourd'hui, à ma sœur "ASMA".

À ma grande-mère qui a laissé un grand vide entre nous, que paix à son âme.

Je la dédie à mes enseignants dans toutes les étapes. Je vous remercie pour tous les efforts que vous avez déployés pour me permettre d'atteindre ce niveau.

À ceux qui partagent et partagent ce travail "ameur" et "islem"

Résumé :

Dans le but d'adopter une approche plus durable sur le plan environnemental, de nombreuses entreprises sont ouvertes à des démarches telles que l'analyse du cycle de vie. L'objectif principal de ce travail est d'effectuer une analyse du cycle de vie du processus de décarbonation du gaz nature au niveau du complexe GL1K Skikda. Pour atteindre notre objective, il est nécessaire d'identifier tous les flux entrants et sortants intermédiaires dans le processus, ce qui constitue l'inventaire du cycle de vie. Afin de quantifier les impacts et risques environnementaux, nous avons procédé à une modélisation par le logiciel Sima-Pro et cela avec les méthodes suivantes : IMPACT 2002+, ReCiPe Endpoint, Eco-indicator 99 et TRACI 2. Selon les résultats obtenus, il a été constaté que l'étape de l'activité d'absorption est responsable de 99.7% des impacts environnementaux. Les trois catégories d'impacts les plus touchées sont la pénurie des ressources avec 77.7 %, la santé humaine avec 21.6% et l'écosystème avec 0.739%.

Mots clés : analyse de cycle de vie, gaz naturel, impacts environnementaux, SimaPro.

Abstract :

In order to adopt a more environmentally sustainable approach, many companies are open to approaches such as life cycle analysis. The main objective of this work is to carry out a life cycle analysis of the natural gas decarbonization process. To do this, it is necessary to identify all intermediate incoming and outgoing flows in the process, which constitutes the inventory of the life cycle. To model the environmental impact, we used the Sima-Pro software. According to the results obtained, it was found that the absorption activity stage is responsible for 99.7% of environmental impacts. The three most affected impact categories are the shortage of resources with 77.7 %, human health with 21.6% and the ecosystem with 0.739%.

Key words: life cycle assessment, natural gas, environmental impacts, Simapro.

المخلص:

من أجل اعتماد نهج أكثر استدامة بيئياً، فإن العديد من الشركات منفتحة على مناهج مثل تحليل دورة الحياة. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إجراء تحليل دورة حياة عملية إزالة الكربون من الغاز الطبيعي. للقيام بذلك، من الضروري تحديد جميع التدفقات الوسيطة الواردة والصادرة في العملية، والتي تشكل جرد دورة الحياة. لنمذجة التأثير البيئي، استخدمنا برنامج Sima-Pro. وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها، وجد أن مرحلة نشاط الامتصاص مسؤولة عن 99.7% من التأثيرات البيئية. الفئات الثلاث الأكثر تضرراً هي نقص الموارد بنسبة 77.7 %، وصحة الإنسان بنسبة 21.6% والنظام البيئي بنسبة 0.739%.

الكلمات المفتاحية : تقييم دورة الحياة ، الغاز الطبيعي ، الآثار البيئية ، Sima-pro

La liste des abréviations

ACV : analyse de cycle de vie
AGRU : acide gaz removal unit (unité d'élimination des gaz acides)
APCI : Incorporation des produits de l'air et des produits chimiques
BOD5 : demande biochimique en oxygène
CH₄ : méthane
COD : demande chimique en oxygène
CO₂ : dioxyde de Carbone
CML : Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden
C₂H₆: Ethane
C₃H₈: Propane
C₆H₁₄: Hexane
I-C₄H₁₀: Butane
I-C₅H₁₂ : I-pentane
GL1K : gaz naturel liquéfié Skikda 1
GN : gaz naturel
GNL : gaz naturel liquéfié
SETAC : Société de Toxicologie et Chimie Environnementale
MDEA : méthyl-diéthanolamine
MES : matières en suspension
HR-1 : Hassi R'mel
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
Ph : potentiel hydrogène
PPMV : Parties par million en volume
TSS : total des solides en suspension
VOC : Carbone organique volaile
12MJ21 : colonne de l'absorption
12MJ21 A/B/C : pompe de solvant pauvre
12MD22 : colonne de détente
58MD02 : ballon de détente de gaz carburant base de pression
58MB01 : la fourre réchauffeur d'huile
12MC22ABC : échangeur de solvant pauvre /riche
12MD27 : colonne de régénération
12FV1028 : les débuts de la vanne de régulation
02MF22 : bac de stockage de l'amine
12MC35 : refroidisseur de tête de la colonne d'absorption
12MG33A : pompe de reflux de régénérateur de solvant

Liste des figures

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I.1 : Composition du gaz naturel..... | 2 |
| Figure I.2 : Les étapes de liquéfaction du gaz naturel | 4 |
| Figure I.3 : La section de production du gaz naturel | 4 |
| Figure I.4 : Exploitation du gaz naturel liquéfaction et transport par navires–citerne de GNL ... | 5 |
| Figure I.5 : Réservoir de pétrole et gaz naturel | 7 |
| Figure I.6 : Schéma géologique des sources de gaz naturel | 7 |
| Figure I.7 : Schéma géologique des sources de gaz..... | 8 |
| Figure I.8 : Extraction du gaz naturel..... | 9 |
| Figure I.9 : L'utilisation de GNL | 9 |
| Figure II.1 : Schéma d'une analyse de cycle de vie..... | 13 |
| Figure II.2 : Les spécificités des cycles de vie « produit » et des cycles de vie | 14 |
| Figure II.3 : Historique de l'analyse de cycle de vie | 15 |
| Figure II.4 : Les étapes principales de la réalisation d'une ACV | 16 |
| Figure II.5 : Principe de l'inventaire sur un processus élémentaire..... | 17 |
| Figure II.6 : Représentation des méthodes mid-point et end-point..... | 19 |
| Figure II.7 : Cadre méthodologique reliant l'inventaire aux dommages..... | 20 |
| Figure III.1 : Situation du complexe GL1K dans la zone | 27 |
| Figure III.2 : Processus liquéfaction de GL1K..... | 32 |
| Figure III.3 : Décarbonatation du gaz naturel | 34 |
| Figure III.4 : Garnissage structuré et Garnissage en vrac | 35 |
| Figure III.5 : Echangeurs a plaque..... | 37 |
| Figure III.6 : Schéma de l'unité AGRU complexe GL1K Skikda | 38 |
| Figure IV.1 : Système de décarbonatation du gaz naturel..... | 42 |
| Figure IV.2 : Diagramme des flux du procédé de liquéfaction | 43 |
| Figure IV.3 : Système de traitement de GN | 47 |
| Figure IV.4 : Flux énergétiques entrants dans le système | 48 |
| Figure IV.5 : Flux atmosphériques sortants du système | 48 |
| Figure IV.6 : Flux entrants et sortants de l'eau | 49 |
| Figure IV.7 : Les frontières du système de décarbonatation du GN..... | 53 |
| Figure IV.8 : Schéma d'arborescence de l'absorption (IMPACT 2002+) | 59 |
| Figure IV.9 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de l'absorption (IMPACT 2002+) | 60 |
| | 60 |
| Figure IV.10 : Diagramme score unique (Mid-Point) de l'absorption (IMPACT 2002+). | 60 |
| Figure IV.11 : Diagramme de pondération (End-Point) de l'absorption (IMPACT 2002+) | 61 |
| | 61 |
| Figure IV.12 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de l'absorption (ReCiPe)..... | 62 |
| Figure IV.13 : Diagramme score unique (Mid-Point) de l'absorption (ReCiPe) | 62 |
| Figure IV.14 : Diagramme de pondération (End-Point) de l'absorption (ReCiPe) | 63 |
| Figure IV.15 : Schéma d'arborescence de l'absorption (TRACI 2). | 64 |
| Figure IV.16 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de l'absorption (Ecoindicator99) | 65 |
| | 65 |
| Figure IV.17 : Schéma d'arborescence de l'absorption (Eco indicator 99) | 66 |
| Figure IV.18 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de l'absorption (Eco-indicator 99) | 66 |
| | 66 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV.19 : Schéma d'arborescence de la détente (IMPACT 2002+) | 68 |
| Figure IV.20 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la détente (IMPACT 2002+) | 69 |
| Figure IV.21 : Diagramme pondération (End-Point) de la détente (IMPACT 2002+) | 69 |
| Figure IV.22 : Diagramme de score unique (Mid-Point) de la détente (ReCiPe) | 70 |
| Figure IV.23 : Diagramme pondération (End-Point) de la détente (ReCiPe) | 71 |
| Figure IV.24 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la détente (TRACI 2) | 71 |
| Figure IV.25 : Schéma d'arborescence de la détente (TRACI 2) | 72 |
| Figure IV.26 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la détente (Eco-indicator 99) | 73 |
| Figure IV.27 : Diagramme pondération End-Point de la détente (Eco-indicator 99) | 74 |
| Figure IV.28 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la régénération (IMPACT 2002+)..... | 75 |
| Figure IV.29 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la régénération (IMPACT 2002+) | 75 |
| Figure IV.30 : Diagramme pondération (End-Point) de régénération (IMPACT 2002+) . | 76 |
| Figure IV.31 : Schéma d'arborescence la régénération (ReCiPe Endpoint) | 77 |
| Figure IV.32 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la régénération (ReCiPe Endpoint) | 77 |
| Figure IV.33 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la régénération (ReCiPe Endpoint) | 78 |
| Figure IV.34 : Diagramme pondération (End-Point) de régénération (ReCiPe Endpoint) | 78 |
| Figure IV. 35 : Schéma d'arborescence la régénération (TRACI 2)..... | 79 |
| Figure IV.36 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la régénération (TRACI 2) | 79 |
| Figure IV.37 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la régénération (Eco-indicator 99) | 80 |
| Figure IV.38 : Diagramme pondération (End-Point) de régénération (Eco-indicator 99) | 80 |
| Figure IV.39 : Schéma d'arborescence du reflux (IMPACT 2002+) | 82 |
| Figure IV.40 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) du reflux (IMPACT 2002+) .. | 82 |
| Figure IV.41 : Diagramme de pondération (End-Point) du reflux (IMPACT 2002+)..... | 81 |
| Figure IV.42 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) du reflux (ReCiPe Endpoint) | 84 |
| Figure IV.43 : Diagramme score unique (Mid-Point) du reflux (ReCiPe Endpoint) | 84 |
| Figure IV.44 : Schéma arborescence du reflux (TRACI 2)..... | 85 |
| Figure IV.45 : Diagramme de caractérisation Mid-Point) du reflux (TRACI 2)..... | 85 |
| Figure IV.46 : Diagramme score unique (Mid-Point) du reflux (Eco-indicator 99)..... | 86 |
| Figure IV.47 : Diagramme de pondération (End-Point) du reflux (Eco-indicator 99) | 87 |
| Figure IV.48 : Schémas d'arborescence de décarbonatation de l'unité AGRU (IMPACT 2002+)..... | 88 |
| Figure IV.49 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de l'unité de décarbonatation (IMPACT 2002+)..... | 89 |
| Figure IV.50 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la décarbonatation (IMPACT 2002+) | 89 |
| Figure IV.51 : Diagramme de pondération (End-Point) de la décarbonatation (IMPACT 2002+)..... | 90 |
| Figure IV.55 : Diagramme de pondération (End-Point) de la décarbonatation (ReCiPe Endpoint) | 91 |
| Figure IV.56 : Evaluation des émissions vers l'air du procédé de décarbonatation Sima pro (ReCiPe Endpoint) | 91 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV.57 : Evaluation des émissions vers l'eau de la décarbonatation par Sima pro (ReCiPe Endpoint) | 94 |
| Figure IV.58 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la décarbonatation (Eco-indicator 99) | 95 |
| Figure IV.59 : Diagramme de pondération (End-Point) de la décarbonatation (Eco-indicator 99)..... | 95 |
| Figure IV.60 : Evaluation des émissions vers l'air de décarbonatation Sima pro (Eco-indicator 99) | 96 |
| Figure IV.61 : Evaluation des émissions vers l'eau du procédé de décarbonatation par Sima pro (Eco-indicator 99) | 96 |
| Figure IV.62 : Comparaison entre les impacts end point pour les méthodes | 97 |
| Figure IV.63 : Comparaison entre les impacts end point pour les méthodes | 98 |

List de tableaux

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1 : La composition du gaz naturel | 3 |
| Tableau I.2 : Les propriétés du GNL | 6 |
| Tableau II.1 : Quelques méthodes d'évaluation des impacts | 21 |
| Tableau IV.1 : Les activités et les sous-activités liées à la décarbonatation du GN..... | 43 |
| Tableau IV.2 : Les différents aspects de l'unité de décarbonatation et leurs impacts | 44 |
| Tableau IV.3 : Les aspects environnementaux significatifs de l'unité de décarbonatation | 46 |
| Tableau IV.4 : Analyse des paramètres physico chimiques des eaux de l'unité décarbonatation | 50 |
| Tableau IV.5 : Les déchets issus de l'activité de décarbonatation | 50 |
| Tableau IV.6 : Consommation des réactifs chimiques sous forme liquide dans l'unité de décarbonatation | 51 |
| Tableau IV.7 : Consommation des réactifs chimiques dans l'unité de décarbonatation ... | 51 |
| Tableau IV.8 : Inventaire de l'absorption | |
| Tableau IV.9 : Inventaire de l'étape de détente..... | 54 |
| Tableau IV.10 : Inventaire de l'étape de régénération..... | 55 |
| Tableau IV.11 : Inventaire de l'étape de reflux..... | 56 |
| Tableau IV.12 : Étude de dommage de l'absorption (IMPACT 2002+) | 58 |
| Tableau IV.13 : Étude de dommage de l'absorption (ReCiPe Endpoint)..... | 60 |
| Tableau IV.14 : Étude de dommage de l'absorption (Eco-indicator 99) | 64 |
| Tableau IV.15 : Étude de dommage de la détente (IMPACT 2002+) | 67 |
| Tableau IV.16 : Étude de dommage de la détente (ReCiPe)..... | 70 |
| Tableau IV.17 : Étude de dommage de la détente (Eco-indicator 99)..... | 73 |
| Tableau IV.18 : Étude de dommage de la régénération (IMPACT 2002+) | 74 |
| Tableau IV.19 : Étude de dommage de la régénération (ReCiPe Endpoint)..... | 77 |
| Tableau IV.20 : Étude de dommage de la régénération (Eco-indicator 99)..... | 80 |
| Tableau IV.21 : Étude de dommage du reflux (IMPACT 2002+)..... | 81 |
| Tableau IV.22 : Étude de dommage du reflux (ReCiPe Endpoint) | 83 |
| Tableau IV.23 : Étude de dommage du reflux (Eco-indicator 99) | 86 |
| Tableau IV.24 : Étude de dommage du procédé de décarbonatation (IMPACT 2002+)...87 | |
| Tableau IV.25 : Étude de dommage du procédé de décarbonatation (ReCiPe Endpoint) .92 | |
| Tableau IV.26 : Étude de dommage du procédé de décarbonatation (Eco-indicator 99) ..94 | |
| Tableau IV.27 : Comparaisons entre les méthodes (End point) | 98 |

Table des matières

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre I : Généralité sur le gaz nature | |
| I.1. Introduction..... | 2 |
| I.2. Les composants du GN..... | 2 |
| I.3. Historique du GNL | 3 |
| I.4. Liquéfaction du gaz naturel | 3 |
| I.4.1. Procédé de liquéfaction | 4 |
| I.4.2. Objectifs | 4 |
| I.4.4. Procédé | 4 |
| I.5. Le but de la liquéfaction du gaz naturel | 4 |
| I.6. Propriétés du GNL | 5 |
| I.7. Gisement de gaz naturel | 6 |
| I.8. Extraction du gaz naturel | 8 |
| I.9. L'utilisation de GNL | 8 |
| I.10. Types du gaz naturel | 9 |
| I.11. Le GNL en Algérie | 9 |
| I.11.1. Développement de l'industrie du gaz naturel en Algérie | 9 |
| I.11.2. Richesse Algérienne en gaz naturel | 10 |
| I.12. Conclusion | 10 |
| Chapitre II : Méthodologie d'analyse de cycle de vie | |
| II.1. Introduction | 11 |
| II.2. Identification des aspects environnementaux significatifs | 11 |
| II.3. Définition et enjeux de l'ACV | 12 |
| II.4. L'analyse de cycle de vie des procédés | 13 |
| II.5. Historique de l'analyse de cycle de vie | 14 |
| II.6. La méthodologie ACV | 16 |
| II.7. Les méthodes de calcul des impacts | 17 |
| II.7.1. Les méthodes orientées impacts intermédiaires (mid-point) | 21 |
| II.7.2. Les méthodes orientées impacts finals (end-point) | 23 |
| II.8. Interprétation des résultats | 24 |
| II.9. Application d'ACV | 24 |
| II.10. Limites de l'ACV | 25 |
| II.11. Points forts de L'ACV | 25 |
| II.12. Conclusion..... | 26 |
| Chapitre III : Présentation de l'unité de décarbonatation AGRU GL1K | |
| III.1. Introduction..... | 27 |
| III.2. Le complexe GL1K | 27 |
| III.2.1. Situation géographique du complexe GL1K | 27 |
| III.2.2. Le complexe comprend principalement | 28 |
| III.3. Description du procédé..... | 28 |
| III.4. Unité de décarbonatation..... | 30 |
| III.5. Unité de déshydratation..... | 30 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.6. Unité de démercurisation..... | 30 |
| III.7. Unité de liquéfaction | 30 |
| III.8. Unité de la réinjection du GPL | 31 |
| III.9. Unité de Fractionnement | 31 |
| III.10. Les circuits de réfrigération | 31 |
| III.11. Décarbonatation du gaz naturel | 33 |
| III.11.1. But de l'élimination du CO ₂ du gaz naturel | 33 |
| III.11.2. Conséquences du bouchage | 33 |
| III.11.3. Absorption du CO ₂ par l'amine MDEA | 34 |
| III.11.4. Propriétés chimiques du MDEA | 34 |
| III.12. Description du cas d'étude le procédé de la décarbonatation..... | 36 |
| III.12.1. Colonne d'absorption | 36 |
| III.12.1.1. Réaction exothermique | 36 |
| III.12.1.2. Aero réfrigérant 12-MC35 | 36 |
| III.12.2. Colonne de flash..... | 36 |
| III.12.3. Colonne de régénération du solvant | 37 |
| III.12.4. Ballon de Reflux | 37 |
| III.12.5. Stockage du solvant MDEA | 38 |
| III.13. Conclusion | 39 |
| Chapitre IV : Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie | |
| IV.1. Introduction..... | 40 |
| IV.2. L'impact environnemental | 40 |
| IV.2.1. Les émissions atmosphériques proviennent de différentes sources ... | 40 |
| IV.2.2. L'impact des rejets de liquides industriels | 41 |
| IV.2.3. Surveillance de la production de déchets | 41 |
| IV.2.4. Les nuisances environnementales | 41 |
| IV.3. La collecte des données de l'ACV | 42 |
| IV.4. Identification des besoins de l'unité de décarbonatation..... | 43 |
| IV.5. La démarche d'analyse de cycle de vie (ACV)..... | 46 |
| IV.5.1. Unité fonctionnelle | 46 |
| IV.5.2. Frontière du système | 47 |
| IV.6. Systèmes des produits et processus élémentaires..... | 47 |
| IV.6.1. Les flux énergétiques entrants | 47 |
| IV.6.2. Les flux atmosphériques sortants | 48 |
| IV.6.3. Les flux entrants et sortants de l'eau | 49 |
| IV.6.4. Les flux sortants des déchets..... | 50 |
| IV.6.5. Les produits chimiques..... | 51 |
| IV.7. Limitation ou coupure du système | 51 |
| IV.7.1. Qualité des données récoltées | 52 |
| IV.7.2. Réalisation de l'inventaire du cycle de vie (ACV) | 52 |
| IV.8. Inventaire des entrants et sortants de l'unité acide gaz remove..... | 53 |
| IV.9. Application de l'analyse de cycle de vie (ACV)..... | 56 |
| IV.10. Le logiciel Sima Pro | 57 |
| IV.11. Analyse Cycle de Vie de l'absorption | 57 |
| IV.11.1. La méthode IMPACT 2002+ | 58 |
| IV.11.2. La méthode ReCiPe Endpoint | 60 |
| IV.11.3. La méthode TRACI 2 | 63 |
| IV.11.4. La méthode Eco-indicator 99..... | 64 |
| IV.12. Analyse Cycle de Vie du travail de la détente (ballon de flashe) | 67 |
| IV.12.1. La méthode IMPACT 2002+ | 67 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| IV.12.2. La méthode ReCiPe Endpoint..... | 70 |
| IV.12.3. La méthode TRACI 2..... | 71 |
| IV.12.4. La méthode Eco-indicator 99..... | 72 |
| IV.13. Analyse Cycle de Vie du travail de la régénération | 74 |
| IV.13.1. La méthode IMPACT 2002+..... | 74 |
| IV.13.2. La méthode ReCiPe Endpoint..... | 76 |
| IV.13.3. La méthode TRACI 2..... | 77 |
| IV.13.4. La méthode Eco-indicator 99..... | 79 |
| IV.14. Analyse Cycle de Vie du travail du reflux..... | 81 |
| IV. 14.1. La Méthode IMPACT 2002+..... | 81 |
| IV. 14.2. La méthode ReCiPe Endpoint..... | 83 |
| IV. 14.3. La méthode TRACI 2..... | 85 |
| IV. 14.4. La méthode Eco-indicator 99..... | 86 |
| IV.15. Analyse Cycle de Vie du procédé de décarbonatation (IMPACT 2002+) | 87 |
| IV.15.1. Evaluation des dommages mid point et end point | 87 |
| IV.15.2. Émission dans l'air | 90 |
| IV.15.3. Émission vers l'eau | 91 |
| VI.16. Analyse Cycle de Vie du procédé de décarbonatation (ReCiPe Endpoint)..... | 92 |
| IV.16.1. Evaluation des dommages mid point et end point | 92 |
| IV.16.2. Émission dans l'air | 93 |
| IV.16.3. Émission vers l'eau | 94 |
| IV.17. Analyse Cycle de Vie du procédé de décarbonatation (Eco-indicator 99)..... | 94 |
| IV.17.1. Evaluation des dommages mid point et end point | 94 |
| IV.17.2. Émission dans l'air | 96 |
| IV.17.3. Émission vers l'eau | 96 |
| IV.18. Comparaison entre les résultats des étapes de décarbonatation | 97 |
| IV.19. Comparassions des méthodes..... | 98 |
| IV.20. Conclusion | 99 |
| Conclusion générale | 100 |
| Recommandations | 101 |

Introduction générale

Introduction générale

L'essor industriel qui a accompagné la révolution moderne a apporté de nombreux avantages économiques et technologiques à notre société. Cependant, il a également engendré des conséquences considérables sur l'environnement. Les industries, qu'elles soient manufacturières, minières, chimiques ou énergétiques, ont un impact significatif sur les écosystèmes locaux et mondiaux, ainsi que sur les ressources naturelles.

L'un des principaux impacts environnementaux des industries est la pollution de l'air, de l'eau et du sol. Les procédés industriels émettent des gaz nocifs tels que les oxydes de soufre, les oxydes d'azote et les gaz à effet de serre, contribuant ainsi à la pollution atmosphérique et au changement climatique. Les rejets industriels dans les cours d'eau peuvent entraîner une contamination de l'eau, mettant en péril la biodiversité aquatique et la santé humaine. De plus, les déchets industriels, s'ils ne sont pas correctement gérés, peuvent polluer les sols et les nappes phréatiques, rendant certaines zones inutilisables pour l'agriculture ou d'autres activités humaines.

La liquéfaction du gaz naturel est un processus complexe qui permet de réduire le volume du gaz en le refroidissant à des températures extrêmement basses, ce qui facilite son stockage et son transport. Cependant, l'une des préoccupations majeures de la liquéfaction du gaz naturel réside dans les émissions de gaz à effet de serre résultant de la liquéfaction. Le processus nécessite une grande quantité d'énergie pour refroidir le gaz à des températures cryogéniques, et cette énergie provient souvent de sources non renouvelables, telles que les combustibles fossiles.

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode systématique utilisée pour évaluer l'ensemble des impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'un processus tout au long de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à son élimination finale. L'ACV joue un rôle essentiel dans l'évaluation des impacts environnementaux, car elle permet une vision holistique et intégrée des répercussions d'un produit ou d'une activité sur l'environnement. En utilisant cette méthode, on peut prendre en compte les différentes étapes du cycle de vie, y compris la fabrication, l'utilisation et l'élimination, et évaluer les impacts sur les ressources naturelles, l'énergie, les émissions atmosphériques, l'eau, les déchets, la biodiversité et le changement climatique.

L'objectif de notre travail est l'évaluation des impacts environnementaux du procédé de liquéfaction du gaz naturel du complexe GL1K Skikda à l'aide de la méthode d'analyse de cycle de vie.

Notre mémoire est divisé en quatre principaux chapitres :

- **Le chapitre 1 :** comporte des généralités sur le procédé de liquéfaction du gaz naturel.
- **Le chapitre 2 :** concerne une revue bibliographique sur la méthodologie d'analyse de cycle de vie
- **Le chapitre 3:** est consacré à la présentation de l'unité de décarbonatation du gaz naturel au niveau du complexe GL1K.
- **Le chapitre 4:** regroupe les résultats de l'analyse de cycle de vie du procédé de liquéfaction du gaz naturel; l'unité de décarbonatation AGRU. L'évaluation des impacts environnementaux a été effectuée à l'aide du logiciel Sima pro et par les quatres méthodes : IMPACT 2002+, ReCiPe Endpoint, Eco-indicator 99 et TRACI 2.

Chapitre I

Liquéfaction de gaz naturel

I.1. Introduction

Le gaz naturel liquéfié : propriétés et fiabilité est le dernier d'une série de trois rapports qui traitent du gaz naturel liquéfié (GNL). L'industrie du GNL utilise des technologies et des consignes de sécurité de pointe qui s'appuient sur de nombreux codes, normes et mécanismes de surveillance réglementaire pour assurer la sécurité et la fiabilité des installations de GNL. Brosse un historique des installations de GNL et de leur dossier de fiabilité et conclut par un examen des normes, des pratiques exemplaires et des mécanismes de surveillance réglementaire qui ont cours dans l'industrie [1].

I.2. Les composants du GN

Le gaz naturel se compose surtout de méthane, mais la proportion des gaz secondaires Qui sont l'éthane, le butane et le propane n'est pas négligeable. La composition exacte du gaz naturel peut varier considérablement en fonction de son emplacement. Chaque puits a une composition de gaz différente et des quantités différentes de chaque composant. Même des puits situés juste à côté les uns des autres dans la même formation peuvent présenter des variations de composition, parfois très infimes et parfois quelque peu différentes [2].

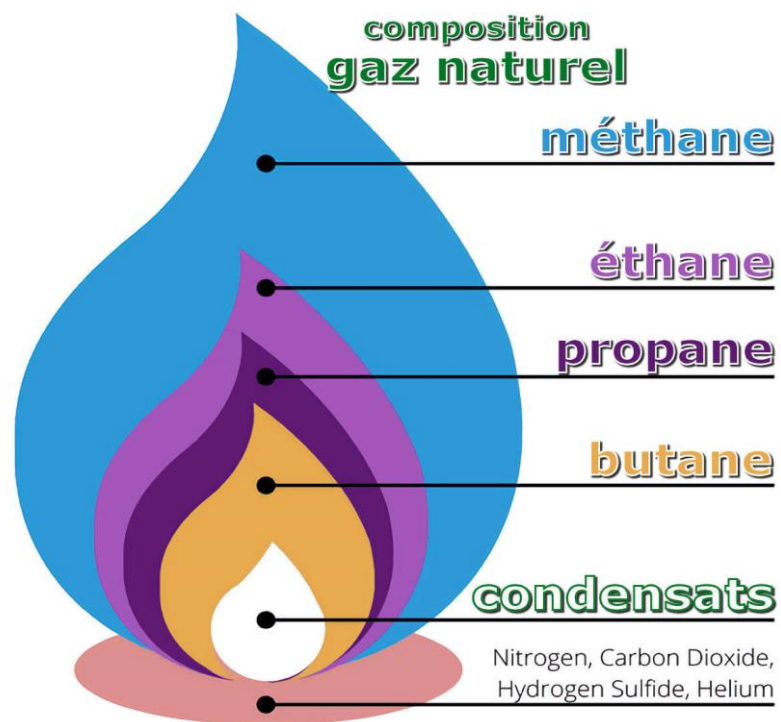


Figure I.1 : Composition du gaz naturel [2].

Alors que le gaz naturel est formé principalement de méthane, il comprend également de l'éthane, du propane, du butane, du pentane et d'autres composants plus lourds.

Voici la plage typique de la composition du gaz naturel [2] :

Tableau I.1 : La composition du gaz naturel [2].

| Nom commun | Symbole chimique | % dans le gaz naturel |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------|
| méthane | CH ₄ | 60-90 |
| éthane | C ₂ H ₆ | 0-20 |
| propane | C ₃ H ₈ | 0-20 |
| butane | C ₄ H ₁₀ | 0-20 |
| Dioxyde de carbone | CO ₂ | 0-8 |
| oxygène | O ₂ | 0-0.2 |
| azote | N ₂ | 0-5 |

I.3. Historique du GNL

Le processus de liquéfaction et le transport de gaz à l'état liquide par voie fluviale ou maritime existent depuis plus d'un siècle : les premiers essais datent des années 1910, Il faut toutefois attendre 1940 pour que la première usine de gaz naturel liquéfié à grande échelle soit construite aux États-Unis (à Cleveland, Ohio), par l'East Ohio Gaz Company, Sa capacité journalière de liquéfaction est alors de 200 m³ [3].

Le GNL apparaît en France en 1965, sous l'impulsion du fournisseur historique Gaz de France (GDF) qui développe le transport par voie maritime. Le gaz naturel importé est d'abord transformé dans une unité de liquéfaction située près d'Oran en Algérie, avant d'être acheminé au terminal méthanier du Havre (Seine-Maritime) puis, à partir de 1972, à celui de Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône) [3].

Au fil des années, l'amélioration des techniques de liquéfaction, les innovations en matière de construction navale ainsi que l'augmentation des prix des hydrocarbures ont contribué à l'essor du GNL : le transport de ce gaz sur de longues distances étant facilité et de plus en plus viable économiquement. En 2021, selon le Groupe international des importateurs de gaz naturel liquéfié (GIIGNL), la part du transport par GNL représentait la moitié des flux internationaux de gaz naturel (50 % de gaz naturel sous forme GNL versus 50 % de gaz naturel transporté par gazoduc) [3].

I.4. Liquéfaction du gaz naturel

I.4.1. Procédé de Liquéfaction

La figure suivante représente les étapes de liquéfaction du gaz naturel :



Figure I.2 : Les étapes de liquéfaction du gaz naturel [4].

I.4.2. Objectifs

La liquéfaction du gaz naturel vise à : réduire la température du gaz naturel à -162°C . Pour la même quantité d'énergie, le volume est réduit par 600 fois comparé au gaz .Concentrer l'énergie dans un plus petit volume pour le transport [4].

I.4.3. Procédé

La section de production du gaz naturel est similaire dans tous les pays. La **figure I.3** représente l'exportation, transport et utilisation du gaz naturel.

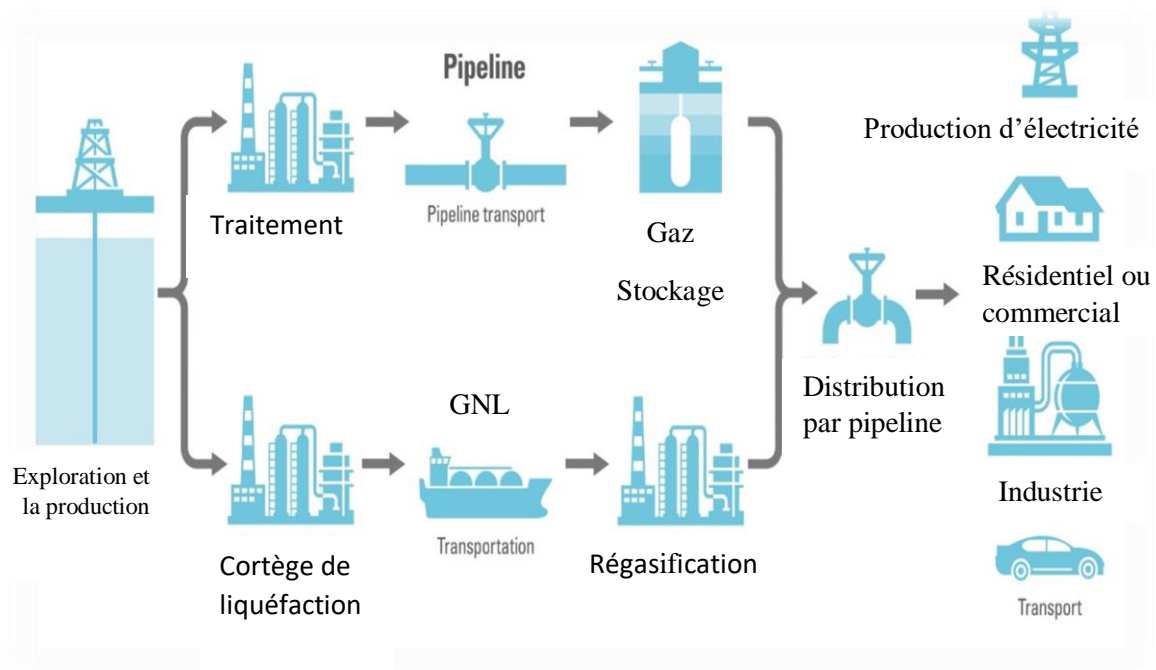


Figure I.3 : La section de production du gaz naturel [5].

I.5. Le but de la liquéfaction du gaz naturel

La liquéfaction du gaz permet de concentrer un maximum d'énergie dans un volume donné (600 m^3 de gaz sont concentrés dans 1 m^3 de liquide) pour faciliter son transport dans des Conditions optimum aussi bien sur le plan économique que sur celui le plan de la sécurité. Le GNL est, par la suite, chargé sur des méthaniers vers les terminaux de réception où il sera vaporisé puis distribué aux clients sous forme gazeuse [6].

Durant le transport, une partie de la cargaison s'évapore, du fait de l'entrée de chaleur à partir de l'atmosphère. Cette quantité de gaz est récupérée pour être utilisée comme combustible sur le Navire (chaudière ou turbine à gaz) [6].

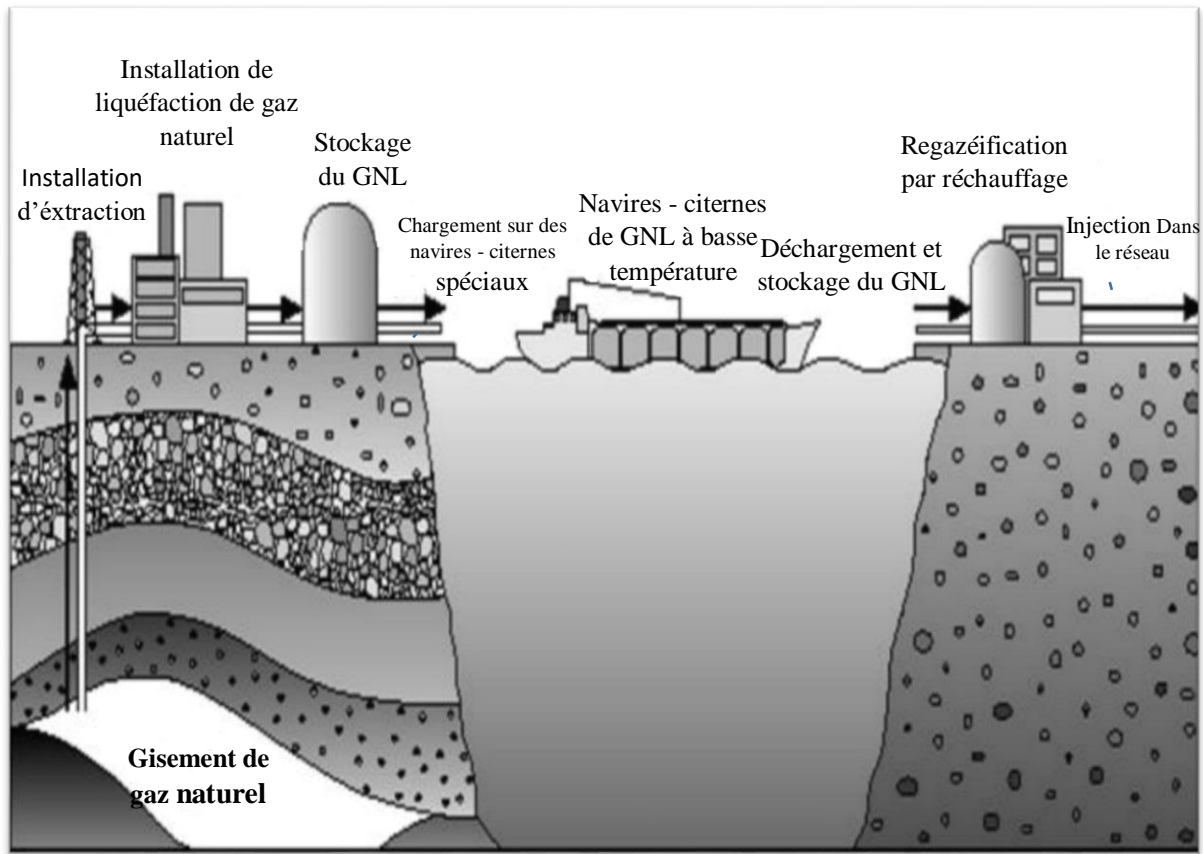


Figure I.4 : Exploitation du gaz naturel liquéfaction et transport par navires-citerne de GNL [6].

I.6. Propriétés du GNL

Les caractéristiques du gaz naturel sont :

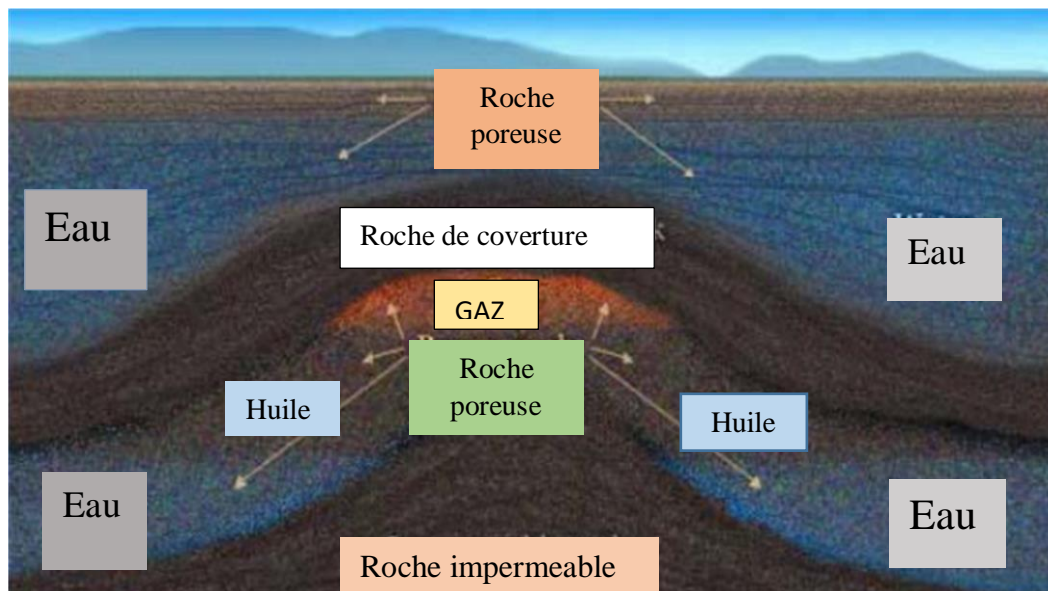
- Volume 600 fois moindre que le gaz naturel gazeux ;
- Température -162°C ;
- Limpide, inodore, incolore, peu visqueux ;
- 50% plus léger que l'eau ;
- Non toxique, non corrosif, non réactif ;
- Le GNL régazéifié possède les mêmes propriétés que le gaz naturel [4].

Tableau I.2 : Les propriétés du GNL [4].

| Spécifications GNL | Valeur |
|----------------------------------------------------|---------------|
| Valeur Calorifique Supérieure [MJ/m ³] | 37.5 - 41.34 |
| Wobbe [MJ/m ³] | 47.52 - 51.16 |
| Azote [vol%] | 1 |
| Eau [ppmv] | 0.1 |
| H ₂ S [ppmv] | 4 |
| CO ₂ [ppmv] | 50 |
| C ₄₊ [vol%] | 1.5 |
| Hg [ng/m ³] | 10 |

I.7. Gisement de gaz naturel

Le gaz naturel provient de la décomposition des dépôts organiques. Avec le temps, la pression et la chaleur, les composants organiques se décomposent en charbon, pétrole, gaz, sable bitumineux. L'âge, la profondeur, le type de végétaux, les perturbations géologiques, vont déterminer le type de gisement. Un réservoir n'est pas une grotte mais une couche de roche poreuse entre des couches de roche étanche. Un réservoir peut contenir un mélange de gaz, d'huile et d'eau en proportions diverses [4].

**Figure I.5 :** Réservoir de pétrole et gaz naturel [4].

I.7.1.Type de gisement

I.7.1.1. Conventionnel

•Réservoir dans lequel un puits peut être foré, permettant au pétrole et au gaz de s’écouler naturellement ou d’être pompé à la surface

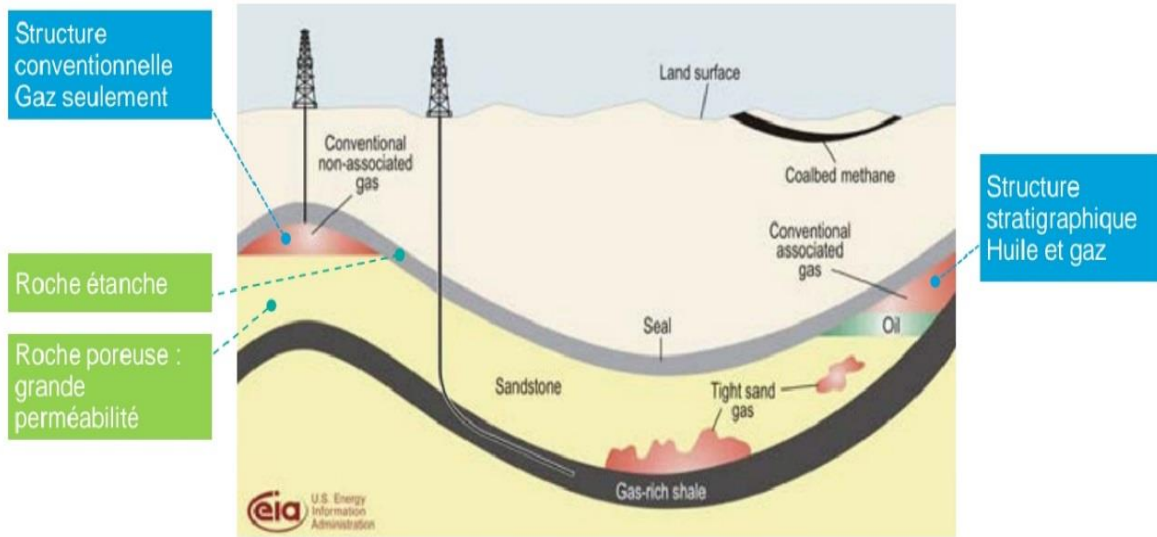


Figure I.6 : Schéma géologique des sources de gaz naturel [4].

I.7.1.2. Non-Conventionnel

Ressource gazière ou pétrolière présente dans une roche de faible perméabilité ne permettant pas à ces produits de migrer naturellement

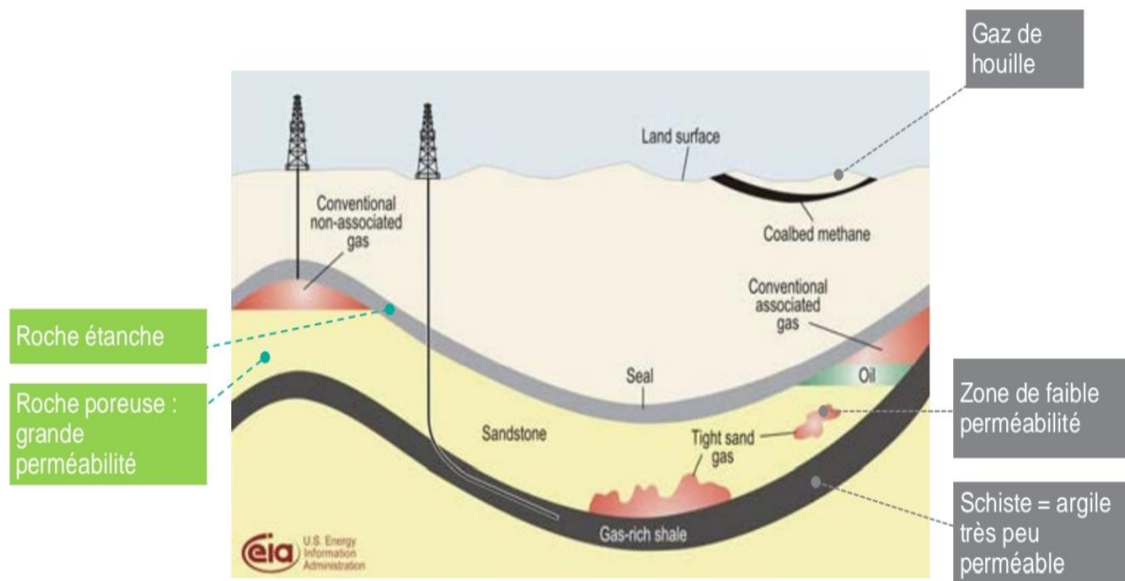


Figure I.7 : Schéma géologique des sources de gaz [4].

I.8. Extraction du gaz naturel

C'est en envoyant des ondes sous terre que l'on parvient à détecter la présence de gaz naturel.

Une fois découvert un réservoir bien rempli, on fore un puits et on récupère le gaz grâce à une grande tour en métal appelée derrick. Dès que le puits est creusé, le gaz remonte tout seul, tant la pression est forte dans cet espace confiné qu'il occupe sous terre. Mais plus on extrait de gaz naturel, plus la pression dans le réservoir baisse : le gaz a donc plus de mal à remonter à la surface. On envoie alors de l'eau dans le réservoir pour comprimer le gaz et faire remonter la pression. Selon les cas, le gisement sera exploité pendant 5 à 50 ans [5].

Plus difficiles à exploiter, les gisements off-shore, qui se trouvent en mer, sont souvent fermés plus rapidement. Le gaz naturel issu de gisements très profonds ou difficiles d'accès est dit non conventionnel. Il s'agit par exemple du gaz de schiste. Son extraction est plus coûteuse et pose de graves questions environnementales [5].

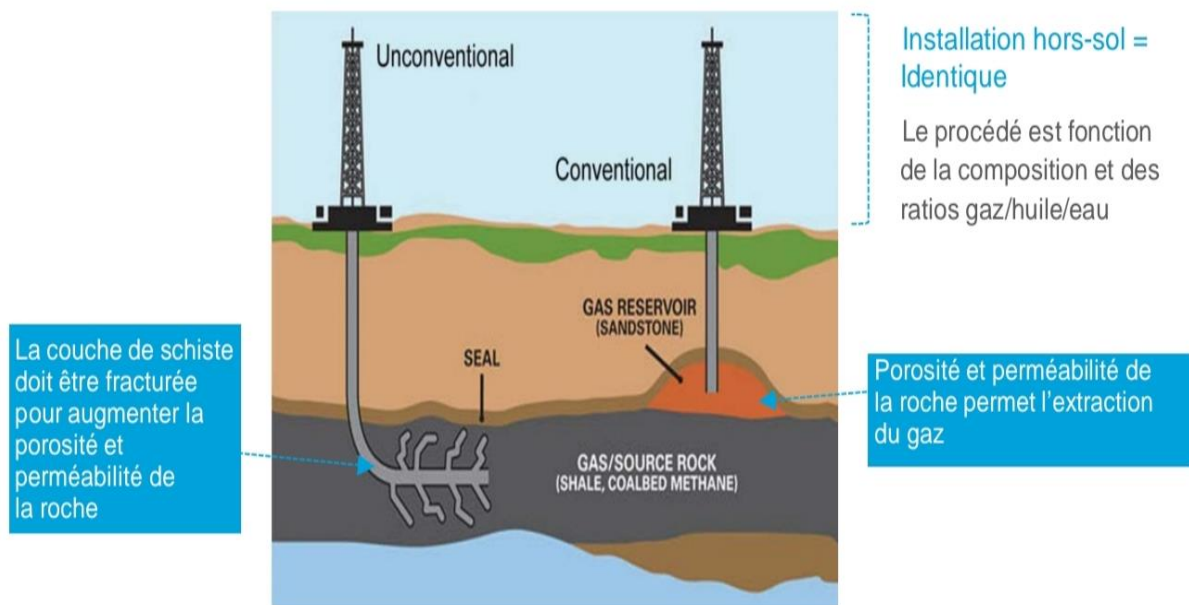


Figure I.8 : Extraction du gaz naturel [5].

I.9. L'utilisation de GNL

Le gaz naturel raffiné, composé principalement de méthane, est transporté par gazoduc vers les centres de population et utilisé à des fins industrielles, commerciales et résidentielles, notamment [8].

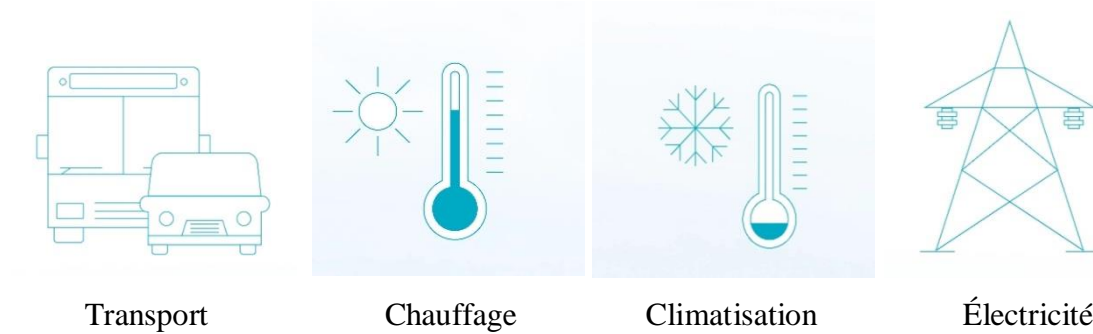


Figure I.9 : L'utilisation de GNL [5].

I.10. Types du gaz naturel

L'apparition d'une phase liquide dépend des conditions de température et de pression dans le réservoir et en surface, ce qui conduit à distinguer les types suivants:

- **Gaz sec** : Ne formant pas de phase liquide dans les conditions de production le gaz est concentré en méthane et contient très peu d'hydrocarbures lourds.
- **Gaz humide** : Formant une phase liquide en cours de production dans les conditions de surface, il est moins concentré en méthane.
- **Gaz a condensât** : Formant une phase liquide dans le réservoir en cours de production, la phase condensée est riche en constituants lourds.
- **Gaz associé** : Coexistant dans le réservoir avec une phase « huile » (gisement de pétrole). Le gaz associé comprend le gaz de couverture (phase gazeuse présente dans le réservoir) et les gaz dissous [9].

I.11. Le GNL en Algérie

I.11.1. Développement de l'industrie du gaz naturel en Algérie

A la fin de 1953, plusieurs compagnes de sismiques aboutirent à la mise en évidence d'une zone haute pouvant constituer un anticlinal, notamment dans la région de Hassi R'mel, un premier forage (HR-1-) a été réalisé en 1956. Huit puits sont alors réalisés, délimitant ainsi une structure anticlinale constituant un grand réservoir de gaz Depuis la mise en exploitation, plusieurs étapes ont été marquées avant d'atteindre la phase actuelle de développement.

De 1961 à 1971, la production annuelle de gaz brut passe de 0,8 à 3,2 milliards de m³ et celle du condensât passe de 126 000 à 623 000 tonnes [10].

En 1974, parallèlement à ces études, une extension du centre de traitement était réalisée par l'adjonction de six nouvelles unités d'une capacité totale de 300.106 m³/j, un

programme de forage complémentaire était porté sur 23 nouveaux puits réalisés entre 1971 et 1974. Depuis 1980, l'Algérie est devenue l'un des grands exportateurs mondiaux de gaz naturel. Une particularité à souligner est que l'Algérie a pu réaliser diverses installations de liquéfaction de gaz naturel qui lui permettent de le commercialiser sous forme liquide et le transporter dans des méthaniers vers le marché extérieur (Etats-Unis, Europe... etc.) [10].

I.11.2. Richesse Algérienne en gaz naturel

L'Algérie possède des réserves immenses en gaz naturel à savoir le champ de Hassi R'mel, qui est parmi les plus grand à l'échelle mondiale et celui de Ain- Salah qui est exploité en l'an 2002. L'Algérie est placée au quatrième rang, en possédant %10 environ des réserves mondiales [10].

L'exploitation de gaz naturel en provenance de l'Algérie atteindra 80 milliards de m³. Autrement dit l'Algérie deviendra le premier exportateur dans ce secteur.

Parallèlement à ce mode de transport l'Algérie a pu transporter son gaz par des gazoducs reliant directement Hassi R'mel à l'Europe, c'est ainsi qu'elle exploite actuellement le fameux gazoduc transméditerranéen qui relie l'Algérie à l'Italie et la Slovénie via la Tunisie [10].

Les réserves algériennes en gaz naturel sont évaluées à 5000 milliards de m³ prouvées, ce qui place notre pays au 5eme rang mondial des pays détenteurs de gaz naturel. La production Algérienne de gaz naturel assurée par sept principaux gisements devra atteindre à l'année 2006 selon les estimations initiales 2350 milliards m³ dont : 750 milliards de m³ de gaz commercial, 344 milliards de m³ de réinjection; 330 milliards de m³ de condensât ; 100 milliards de tonnes de GPL [10].

I.12. Conclusion

Le gaz naturel liquéfié (GNL) joue un rôle crucial dans la transition énergétique mondiale en offrant une source d'énergie plus propre par rapport aux combustibles fossiles traditionnels. En tant que carburant à faible teneur en carbone, le GNL contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre, ce qui aide à lutter contre le changement climatique. De plus, sa capacité de transport et de stockage à volume réduit facilite les échanges internationaux, renforçant ainsi la sécurité énergétique et la diversification des sources d'approvisionnement.

Chapitre II : Méthodologie d'analyse de cycle de vie

II.1. Introduction

La méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie est devenue un outil incontournable pour la conception de produits plus respectueux de l'environnement (dont l'empreinte sera réduite par rapport à un produit similaire, présentant les mêmes fonctionnalités). Devenue outil de communication pour les entreprises engagées dans la démarche de développement durable, l'analyse du cycle de vie est actuellement en plein essor, favorisée entre autres par le développement de la normalisation internationale (cycle de normes ISO 14000 reprises également au niveau français par l'AFNOR).

II.2. Identification des aspects environnementaux significatifs

Le processus d'identification des aspects environnementaux significatifs vise à déterminer les priorités du système de gestion environnementale. La norme ISO 14004 précise que la politique, les objectifs et les cibles doivent être choisis en fonction de ces aspects et des impacts qui leurs sont associés. Les Aspects Environnementaux Significatifs peuvent être identifiés selon les étapes suivantes [11] :

- **Identifier les Aspects Environnementaux et leurs impacts** : Cette étape fait partie de l'analyse environnementale nécessaire à la mise en place du SME. Elle est beaucoup plus exhaustive si elle est conduite en groupes de travail. De tels groupes peuvent être constitués en divisant l'entreprise par zones géographiques ou par types d'activités par exemple. Il s'agit d'identifier l'ensemble des activités, produites, équipements, services de l'entreprise qui peuvent avoir un impact sur l'environnement. Il faut ainsi rechercher les impacts sur : l'eau (superficielle et souterraine), le sol, l'air, le voisinage, paysage, bruits, vibrations, odeurs, la faune et la flore. Il faut aussi prendre en compte les déchets (production et gestion), la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'utilisation des matières premières. De même, il faut tenir compte des activités de production mais aussi du stockage, des transports, des utilités (chauffage, traitement d'air, traitement d'eau, groupes froid, compression, transformateur électrique, etc.). Il faut enfin analyser chaque activité lors de ses différentes phases : mise en marche, fonctionnement normal, maintenance, défaillances.
- **Caractériser les Aspects Environnementaux** : Il s'agit d'établir des critères qui permettront de hiérarchiser les AE pour déterminer ensuite ceux qui seront considérés comme significatifs. Les critères quantifient les impacts environnementaux liés aux Aspects Environnementaux. Le choix des critères est laissé à l'appréciation de

l'entreprise en fonction de son activité, de son fonctionnement, des données dont elle peut disposer. Il est aussi possible de tenir compte du niveau de maîtrise des Aspects Environnementaux : y a-t-il des moyens mis en place pour prévenir l'impact ou pour en diminuer la gravité ? S'agit-il de moyens techniques ou organisationnels ? Tous ces critères et leur cotation doivent être décrits dans la procédure de détermination des Aspects Environnementaux Significatifs.

- **Déterminer les Aspects Environnementaux Significatifs** : les AES sont les aspects environnementaux jugés les plus importants par l'entreprise. C'est donc à elle d'établir les critères, tels les seuils de criticité, qu'elle utilisera. Ces critères doivent être formalisés dans la procédure relative aux AES. Il faut éviter d'accumuler un trop grand nombre d'Aspects Environnementaux Significatifs afin de pouvoir assurer une bonne maîtrise de ceux qui sont retenus. Le seuil de criticité ou les critères retenus pour la détermination des AES doivent donc être définis avec beaucoup de soin et adaptés à l'organisation de l'entreprise [11].

II.3. Définition et enjeux de l'ACV

L'analyse du cycle de vie (ACV) est un outil d'aide à la décision qui évalue les impacts potentiels d'ordres environnemental, social et des coûts sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit ou d'un service. On entend par cycle de vie tous les processus nécessaires pour assurer le service rendu par un produit, soit les processus associés à l'extraction des ressources, la fabrication, la distribution, l'utilisation et la fin de vie. L'analyse du cycle de vie permet de comparer les impacts potentiels des différentes étapes du cycle de vie d'un même produit, de découvrir les éléments à améliorer et de repenser son développement [12].

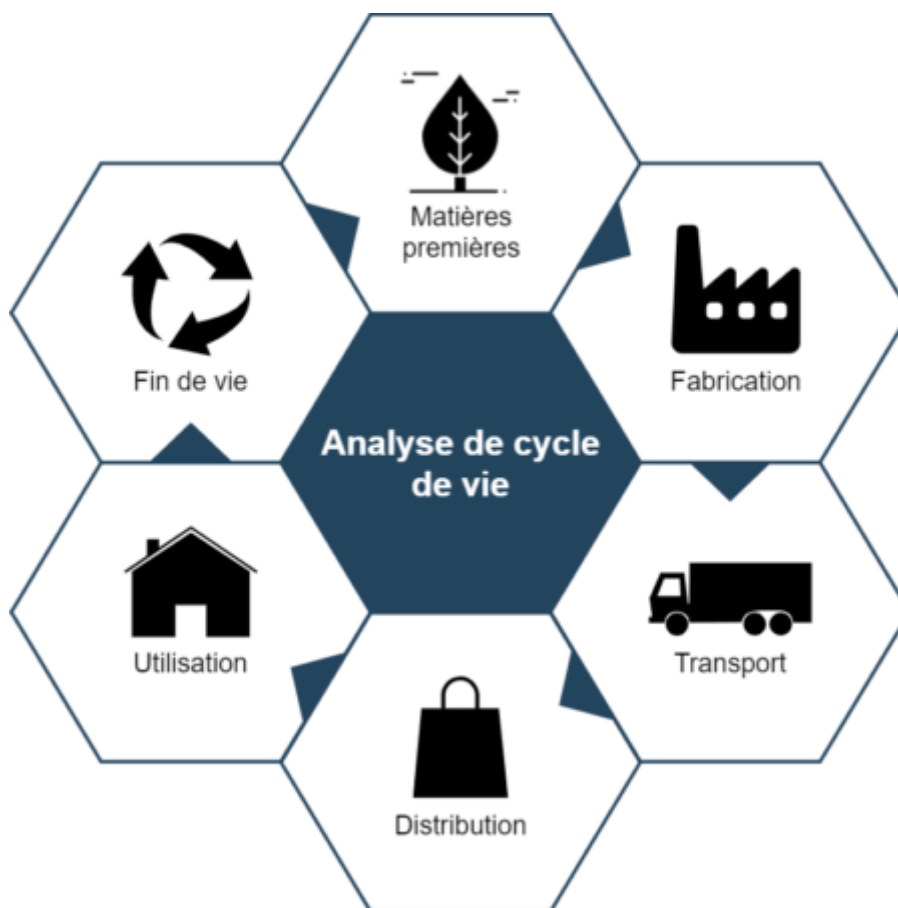


Figure II.1 : Schéma d'une analyse de cycle de vie [12].

II.4. L'analyse de cycle de vie des procédés

L'ACV peut s'appliquer aux produits, aux services et aux procédés. Les procédés, au même titre que les produits, possèdent bien un cycle de vie complet [12].

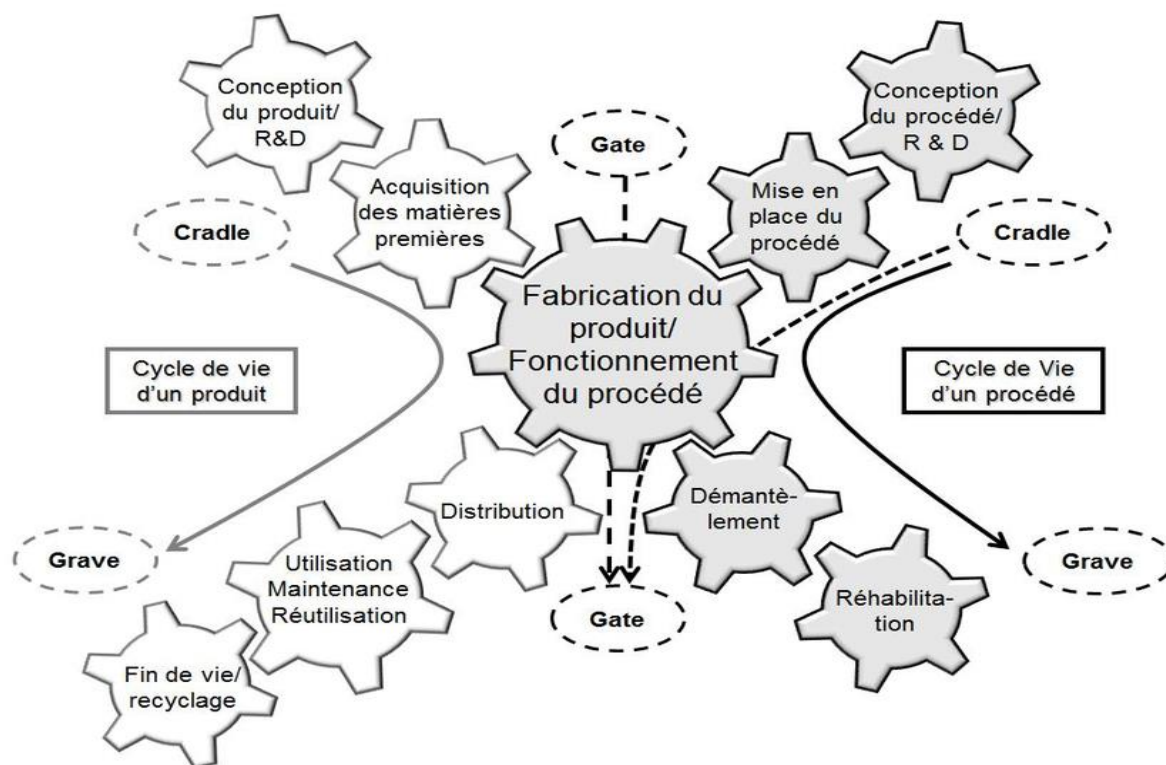


Figure II.2 : Les spécificités des cycles de vie « produit » et des cycles de vie [12].

II.5. Historique de l'analyse de cycle de vie

La première étude d'ACV connue a été réalisée par Coca-Cola en 1969 pour déterminer l'intérêt, ou non, de fabriquer des cannettes métalliques. Le début des études ACV date donc de la fin des années 1960 et du début des années 1970 où les préoccupations étaient relatives à la consommation d'énergie et de matières premières ainsi qu'au traitement des déchets. Au cours des années 1970 et 1980, le recours à l'ACV est resté limité en raison de la méconnaissance de la méthode. Son utilisation est restée confinée aux producteurs d'emballage ainsi qu'aux politiciens responsables de la gestion des déchets. Suite aux premiers chocs pétroliers, l'énergie était le point d'intérêt principal de ces études [13].

L'environnement et les conséquences des actions de l'homme sur ce dernier vont connaître un intérêt grandissant dans les années 1980 suite à des catastrophes chimiques comme l'accident de Bhopal en 1984 ou encore l'explosion nucléaire à Tchernobyl en 1986. Dès lors, la méthode de l'ACV restée relativement dans l'ombre jusqu'alors va susciter un regain d'intérêt. Cependant, l'ACV aboutissant à des résultats différents pour les mêmes produits est soumis à controverse et entraîne de nombreux débats [13].

Dans les années 1990, la méthode va connaître une époque d'harmonisation où les différentes expériences et les acquis obtenus durant les deux décennies précédentes vont être mis en commun. La Société de Toxicologie et de Chimie Environnementale prend en main l'organisation de conférences et de groupes de travail pour l'amélioration de la méthode. Une société est également créée en 1992 pour le développement de bases de données publiques et accessibles. Un code de conduite est publié en 1993 afin d'obtenir une harmonisation dans les étapes nécessaires [13].

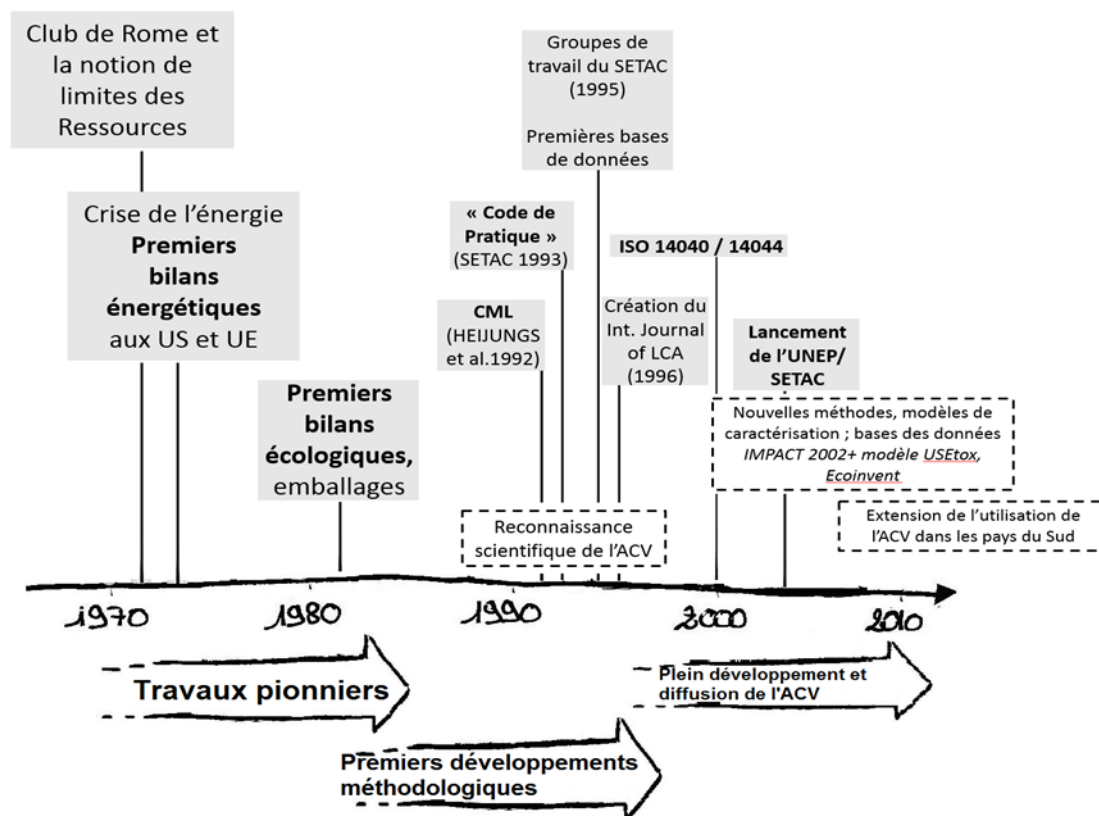


Figure II.3 : Historique de l'analyse de cycle de vie [14].

- **SETAC** : Société de Toxicologie et Chimie Environnementale
- **ACV** : Analyse du Cycle de Vie
- **PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- **CML**: Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden

II.6. La méthodologie ACV

L'ACV consiste à évaluer tous les impacts environnementaux potentiels d'un Système, (un produit voire aussi un procédé ou un service) assurant une (ou plusieurs), fonction(s), le long de son cycle de vie. Le cadre méthodologique de l'ACV a été Normalisé entre 1997 et 2000 par la série de normes ISO 14040 à 14043. Selon ces normes, quatre étapes doivent être menées lors d'une ACV, Il s'agit de la description des objectifs et du champ de l'étude, de la réalisation de l'inventaire, de l'évaluation de l'impact et finalement de l'interprétation des résultats. Toutes ces étapes sont interdépendantes et le processus est itératif : des modifications peuvent être réalisées au cours du temps afin d'obtenir une cohérence entre les différentes étapes et d'affiner les résultats [13].

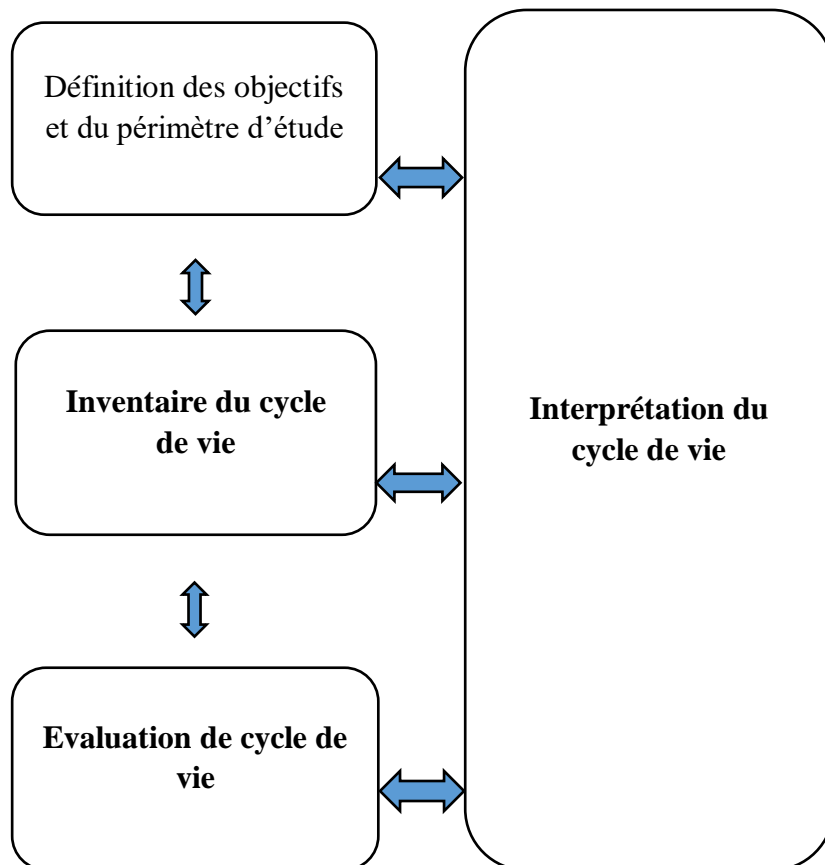


Figure II.4 : Les étapes principales de la réalisation d'une ACV [13].

Basée sur une démarche transversale qui prend en compte le plus grand nombre possible de paramètres environnementaux (sol, air, eau...), l'Analyse de Cycle de Vie se décompose en 4 étapes :

- **Définition des objectifs et du périmètre d'étude** : les critères prennent en compte les éléments de référence en cas d'étude comparative, ainsi que la nature des commanditaires ou destinataires (fabricant, administration, association de consommateurs...).
- **Inventaire des flux** : cette étape essentielle consiste à inventorier et quantifier l'intégralité des flux entrants (utilisation de matières premières, consommation d'énergie...) et des flux sortants (émission de pollutions, production de déchets et/ou de matières recyclées...), pour chacune des phases de cycle de vie du produit.
- **Estimation des impacts environnementaux** : cette évaluation, souvent étayée via des modèles référents, est réalisée pour chacun des flux entrants et sortants inventoriés.
- **Analyse des résultats et interprétation** : les résultats de l'ACV sont mis en regard des objectifs initiaux de l'étude. Cette confrontation peut déboucher sur une liste argumentée de recommandations, tant dans la perspective d'une révision de la conception du produit que pour l'optimisation de son utilisation en termes d'impacts environnementaux [13].

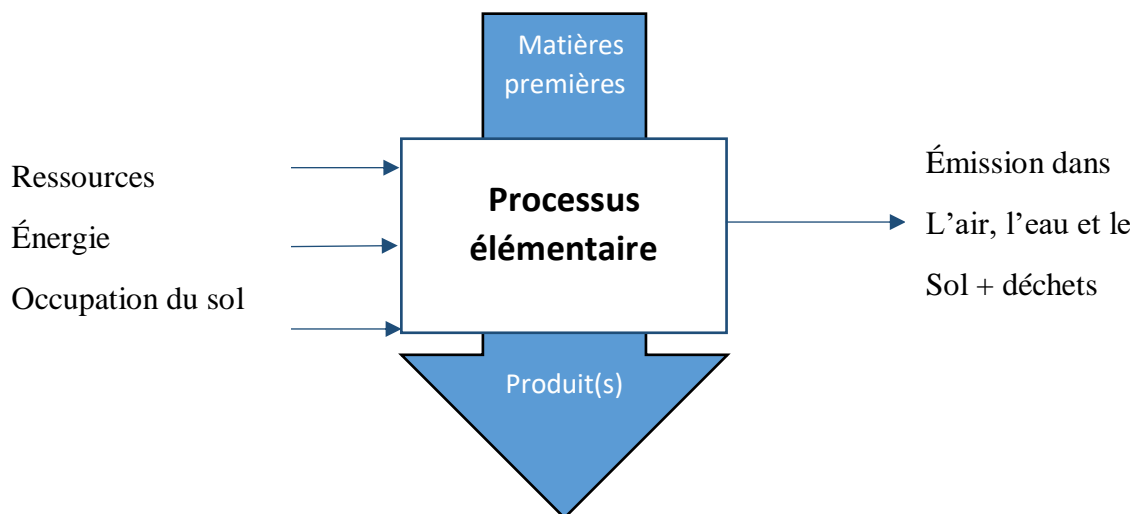


Figure II. 5 : Principe de l'inventaire sur un processus élémentaire [13].

II.7. Les méthodes de calcul des impacts

Catégories des impacts et méthodes existantes : Les méthodes d'analyse d'impact ont été introduites afin de relier les données d'un inventaire (ex. : substances) aux dommages environnementaux dont elles sont à l'origine. Parmi les premières méthodes permettant d'évaluer des impacts environnementaux on rappelle la méthode des volumes critiques. Cette méthode permettait de classer les émissions selon le milieu affecté, respectivement l'eau, l'air

et le sol en calculant, pour chaque polluant de l'air ou de l'eau, le volume équivalent pollué jusqu'à une valeur limite. Compte tenu d'un certain nombre d'incohérences de cette méthode (ex. : la persistance des émissions et le devenir des polluants ne sont pas pris en compte) de nombreuses méthodes ont été développées ultérieurement, le lecteur pourra se référer à Jolliet et al. Pour une revue complète sur l'ensemble des méthodes d'analyse des impacts.

En fonction du positionnement sur la chaîne reliant les causes à l'effet et selon les objectifs recherchés et l'échelle prise en compte, les méthodes de calcul des impacts sont groupées en deux catégories, respectivement :

1. **méthodes dites mid-point** (orientées problèmes, l'impact apparaît au milieu de la chaîne de causalité) qui quantifient les effets globaux des substances émises ou consommées. Les résultats d'inventaire ayant des effets similaires sont regroupés dans des catégories d'impact appelées catégories intermédiaires, auxquelles on associe un indicateur intermédiaire (mid-point indicator) permettant de comparer les flux des substances contribuant à la catégorie en cause.
2. **méthodes end-point** (ou "dommages", l'impact se trouve à la fin de la chaîne de causalité) qui estiment les dommages potentiels qui pourraient en résulter (cf. exemple illustré sur la figure suivante) en allouant plusieurs catégories intermédiaires à une ou plusieurs catégories de dommages. Celles-ci sont ensuite représentées par des indicateurs de dommages [6].

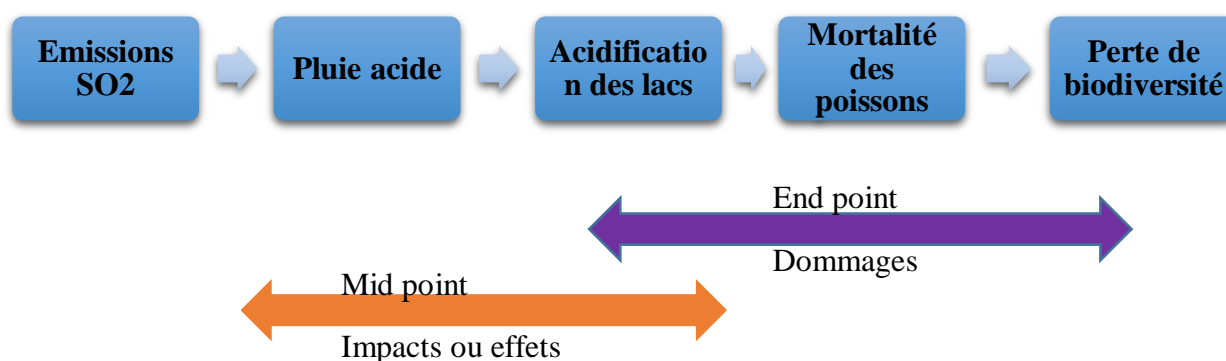


Figure II. 6 : Représentation des méthodes mid-point et end-point [15].

Les méthodologies employées pour l'analyse des impacts "mid-point" sont très différentes (en les comparant entre elles) mais ces indicateurs sont plus précis car leur évaluation est faite au début de la chaîne de causalité, il y a donc moins d'incertitudes pour leur quantification. Parmi les impacts "mid-point" les plus courants on cite : l'effet de serre, la

destruction de la couche d'ozone, l'oxydation photochimique, la toxicité, l'acidification et l'eutrophisation (Impacts environnementaux). Malgré l'avantage de leur précision, ces indicateurs sont moins souvent utilisés car ils ne sont pas très parlants pour un public non spécialisé [15].

Notons que les spécialistes sont souvent d'accord sur l'évaluation d'une partie des impacts (effet de serre, acidification, destruction de la couche d'ozone, eutrophisation), tandis que pour une autre partie (épuisement des ressources abiotiques, toxicité et écotoxicité), différentes approches sont utilisées, ce qui suscite encore des débats très vifs à l'heure actuelle. La figure suivante illustre le schéma général du cadre méthodologique reliant les résultats d'inventaire aux catégories de dommage en passant par les catégories intermédiaires tel qu'il a été conçu et présenté par Jolliet et al [15].

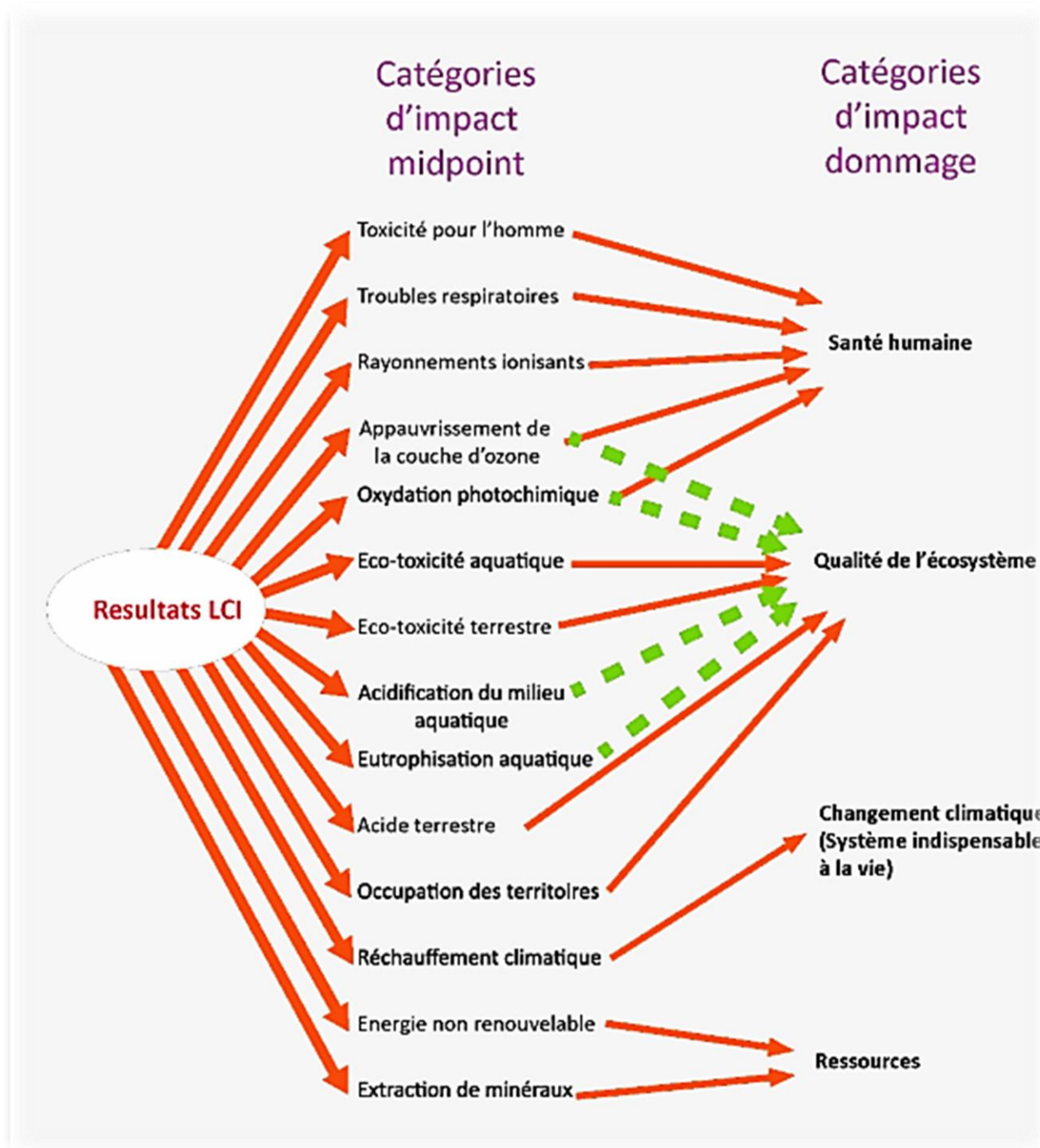


Figure II.7 : Cadre méthodologique reliant l'inventaire aux dommages [15].

En 2010, la Commission européenne a publié un guide qui référence ces méthodes d'agrégation et analyse les points forts de chacune par impacts environnementaux considérés (Europe an Commission, 2010). Ces méthodes sont le fruit de plusieurs années de travail et présentent chacune leurs spécificités (Tableau II.1) [19].

Tableau II.1 : Quelques méthodes d'évaluation des impacts [19].

| Nom de la méthode | Caractéristiques |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CML 2002 | Cette méthode, fait suite à la méthode CML1992 et vise à fournir les meilleures pratiques pour l'évaluation d'impacts intermédiaires. (Guinée et al, 2002). |
| Eco-indicateur 99 | Cette méthode est plus orientée sur les effets sur l'environnement et va donc plus loin dans la chaîne cause-effet (méthodologie « end point »). Par conséquent elle présente des incertitudes plus élevées. (Goedkoop et al, 2000). |
| Impact 2002+ | Cette méthode permet de faire l'étude combinée Midpoint-Endpoint. Elle s'attache surtout à développer une méthodologie pour améliorer et comparer la toxicité humaine et l'écotoxicité. Pour les autres catégories, la méthodologie a surtout été transférée des méthodes Eco indicateur 99 et CML 2002. (Jolliet et al, 2003). |
| ReCiPe ReCiPe2008 | Cette méthode récente est la synthèse de plusieurs méthodes antérieures (CML2002 et Eco indicateur 99) dont elle a pris progressivement la place. Elle est actuellement largement utilisée, pour des caractérisations intermédiaires comme pour des caractérisations des dommages. (Goedkoop et al. 2008). |

II.7.1. Les méthodes orientées impacts intermédiaires (mid-point)

La chaîne reliant les causes aux effets pour les problématiques environnementales est très complexe. Généralement on distingue en termes d'impacts :

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

Les émissions et les extractions sont pondérées au sein de chaque catégorie d'impact mid-point auxquelles elles contribuent. Pour cela, des facteurs de caractérisation sont définis, ils permettent d'exprimer l'importance relative des émissions (ou de l'extraction) d'une substance

pour une catégorie d'impact environnemental mid-point spécifique. Ces facteurs doivent être modélisés et validés scientifiquement. Les masses émises ou extraites sont multipliées par ces facteurs et sommées pour chaque catégorie d'impact afin de fournir un résultat d'impact intermédiaire (score d'impact mid-point), souvent exprimé en kilogrammes d'une substance de référence [15] :

$$SI_i = \sum_s F \cdot I_{S,i} * M_s \dots \dots \dots (II.1)$$

- **SI_i** : le score de caractérisation intermédiaire pour la catégorie i.
- **FI** : le facteur de caractérisation intermédiaire de la substance s dans la catégorie intermédiaire i.
- **M_s** : la masse émise ou extraite de la substance "s".

À titre d'exemple on rappelle que toutes les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, méthane, HFC, CFC, etc.) peuvent être ramenées à une émission équivalente de CO₂ (voir Jolliet ou encore L'oiseau). Le potentiel à effet de serre de 7 pour le méthane (CH₄) signifie donc qu'une émission de 1 kg de méthane équivaut à 7 kg de CO₂ [15].

Plusieurs méthodes d'évaluation des impacts intermédiaires sont actuellement utilisées, chacune d'entre elles présente des spécificités liées aux variations spatiales des paramètres tels que la distribution de la population humaine, les écosystèmes, ou encore les zones climatiques. Il est donc logique de retrouver différentes méthodes dans divers pays ; parmi les plus connues nous rappelons ici [15] :

- EDIP (Danemark)
- IMPACT 2002⁺ (Suisse)
- TRACI (États-Unis)
- LUCAS (Canada, en cours de développement)
- CML 2001, publiée par l'institut de Sciences de l'Environnement de l'université Leiden, au Pays bas.

II.7.2. Les méthodes orientées impacts finals (end-point)

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

qualifie ces méthodes à l'aide du qualificatif "end-point". Leur principal avantage réside dans la capacité de montrer plus clairement l'impact. Ainsi, au lieu de parler d'émissions de gaz de type SACO, les catégories d'impact vont quantifier l'impact comme le dommage sur la santé humaine [15].

Il est toutefois très difficile de suivre la chaîne de cause à effet. La caractérisation des dommages permet d'évaluer la contribution des impacts mid-point à une ou plusieurs catégories de dommages sur un sujet à protéger. Joliet et al. Dans Analyse du cycle de vie - comprendre et réaliser un éco-bilan et IMPACT 2002⁺ : A New Life Cycle Impact Assessment Methodology proposent de quantifier les dommages engendrés par unité des différentes substances de référence et de les multiplier par les scores d'impacts intermédiaires, ce qui donne par somme le score de caractérisation des dommages pour chaque catégorie [15] :

$$SD_d = \sum_i FD_{i,d} * SI_i \dots\dots\dots(II.2)$$

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

Par rapport aux quatre catégories de dommages prises en compte dans les méthodes end-point, les résultats pouvant être obtenus sont respectivement :

1. Les facteurs de dommages sur la santé humaine transforment les kg de substance équivalente en années de vie perdues ;
2. Les dommages sur la qualité des écosystèmes permettent d'évaluer la fraction d'espèce disparue sur un m² durant une année ;
3. Les unités de dommages des catégories "acidification" et "eutrophisation aquatique" ainsi que le "changement climatique" sont identiques aux unités de score mid-point (intermédiaires) ;
4. Pour ce qui concerne les ressources, les scores intermédiaires sont transformés en MJ/unité extraite, représentant l'énergie additionnelle devant être utilisée dans le futur à cause de la baisse des quantités de minerai dans les mines.

Il est très intéressant de garder séparées les contributions à l'impact global de chacune des catégories intermédiaires. Par exemple, le score de dommages en santé humaine peut s'exprimer comme la somme des dommages générés par les polluants provoquant des effets respiratoires, les substances cancérigènes, etc.

Plusieurs méthodes de caractérisation des dommages existent, une des plus utilisées est celle appelée Eco Indicator 99. Actuellement, cette méthode a été remplacée par la méthode connue sous le nom Recipe. Le but de ces méthodes est de calculer trois catégories d'impacts end-point (ou aires de protection), respectivement la santé humaine, la qualité des écosystèmes et les ressources [15].

II.8. Interprétation des résultats

La norme ISO 14040 (International Standardisation Organisation, 2006) définit l'interprétation du cycle de vie comme étant la phase au cours de laquelle les résultats obtenus lors de l'analyse de l'inventaire ou de l'impact sont combinés de manière consistante avec le but et le champ de l'étude afin d'obtenir des conclusions et des recommandations adéquates et pertinentes. Trois sous-étapes sont envisagées lors de l'interprétation du cycle de vie, à savoir l'identification des enjeux significatifs, la vérification de l'étude via des analyses d'incertitude et des études de sensibilité et la formulation des conclusions, limitations et recommandations liées à l'étude [19].

II.9. Application d'ACV

L'ACV peut être appliqué dans tous les secteurs de l'industrie et des services pour répondre à un besoin d'évaluation environnementale.

L'ACV est utilisée pour :

- Répondre aux exigences de certaines réglementations ou directives (exemple : la directive 2009/28/CE du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables impose de calculer l'équivalent
- CO₂ des agro-carburants afin de vérifier la pertinence de ces énergies alternatives) ;
- Définir des politiques publiques (exemple : le recyclage des déchets) ;
- Faire des choix stratégiques (exemple : production centralisée ou décentralisée ?) ;
- Faire des choix techniques dans le cadre d'un projet d'écoconception (exemple : Pièce en acier ou en aluminium) ;
- Communiquer sur la base d'arguments environnementaux [18].

II.10. Limites de l'ACV

Les principaux points faibles de la méthode ACV portent sur deux aspects : la disponibilité et la qualité des données, ainsi que des lacunes méthodologiques.

La disponibilité et la qualité des données Une des principales limites de l'ACV concerne la disponibilité des données. Plusieurs problèmes sont rencontrés :

- Toutes les données nécessaires ne sont pas automatiquement mesurées par les industriels, qui connaissent bien les flux ayant une valeur marchande et les flux rejetés dans l'environnement, la réglementation leur demandant de mesurer ces derniers ;
- Les données sont confidentielles, vu les enjeux socio-économiques des résultats d'une ACV, la plupart des résultats réalisés par les entreprises ne sont pas diffusés ;
- Les données sont trop agrégées dans les bases de données existantes et sont difficilement exploitables ;
- Les données informatisées ne sont pas uniformes ;
- Les incertitudes sur les données ne sont pas mentionnées.

Les principales conséquences de cette mauvaise disponibilité des données sont le nombre important d'hypothèses, des simplifications parfois mal justifiables, des incertitudes dans les données et la mauvaise transportabilité des informations d'une étude à une autre [17].

II.11. Points forts de l'ACV

Les principaux points forts sont les suivants : la notion de cycle de vie et l'évaluation quantitative des impacts.

- **La notion de cycle de vie** : Cette notion permet d'identifier et de prendre en compte les transferts de pollution, ce qui n'est pas le cas des autres méthodes comme l'étude d'impact, le SME (Système de management environnemental), l'observatoire de l'environnement... Par exemple, une étape du cycle de vie d'une filière peut s'avérer très « propre » au niveau de ses frontières mais poser en amont et en aval des problèmes d'environnement. L'importance de l'impact du transport des matières et de l'énergie dans une filière peut également être évaluée. L'ACV a pu montrer aussi que le recyclage n'est pas, dans tous les cas, synonyme de bénéfice pour l'environnement. Finalement, l'ACV, par la prise en compte de toutes les étapes du cycle de vie, est alors utile dans la recherche d'amélioration pour savoir où il faut agir. En revanche, la réponse à la question du « comment agir » est du ressort des compétences du spécialiste du système.

- **L'évaluation quantitative des impacts :** La méthode ACV permet, en dépit des difficultés inhérentes à cet objectif, la quantification des impacts potentiels vis-à-vis de l'environnement à travers les indicateurs d'impact. Cette quantification constitue une donnée nouvelle intéressante dans la mesure où certains types d'impact vont être de plus en plus utilisés par les pouvoirs publics pour fixer des objectifs de qualité environnementale aux systèmes industriels. On peut citer par exemple la contribution à l'effet de serre [17].

II.12. Conclusion

Nous souhaitons étudier une des méthodes qui ont acquis une certaine notoriété dans le domaine de l'évaluation environnementale pour mieux connaître les impacts. La crédibilité, la transparence, la faisabilité et la simplicité nous ont orientées sur le choix d'ACV. Cette approche universellement reconnue a vocation à prendre en compte l'ensemble des impacts attachés à un produit ou une activité sur l'environnement depuis sa conception jusqu'à sa fin de vie.

**Chapitre III : Présentation
de l'unité de décarbonatation
AGRU GL1K**

Chapitre III Présentation de l'unité de décarbonatation AGRU GL1K

III.1. Introduction

Dans le cadre de l'objectif stratégique de valorisation des ressources en gaz naturel principalement du gisement de HASSI R'MEL, des usines de GNL ont été construites dans le nord du pays, dont le but principal est l'exportation du GNL vers l'Europe et les USA par Méthaniers.

Parmi ces usines, nous citons le complexe de GL1K de SKIKDA dont le chantier a débuté en mars 1969 et la production en Novembre 1972. Ce complexe s'étend sur une superficie de 92 hectares et reçoit par pipe de 40 pouce du GN du gisement de HASSI R'MEL. Sa capacité annuelle de production est de 13.2 millions m³ de GNL et une capacité de stockage de 308 600 m³. Il emploie 1200 travailleurs permanents.

III.2. Le complexe GL1K

III.2.1. Situation géographique du complexe GL1K

L'usine est située à 3 Km à l'est de la ville de Skikda, ce complexe s'étend sur une superficie de 90 hectares et reçoit par gazoduc d'une longueur de 580 Km et de 40 pouces de diamètre du GN du gisement de HassiR'mel.

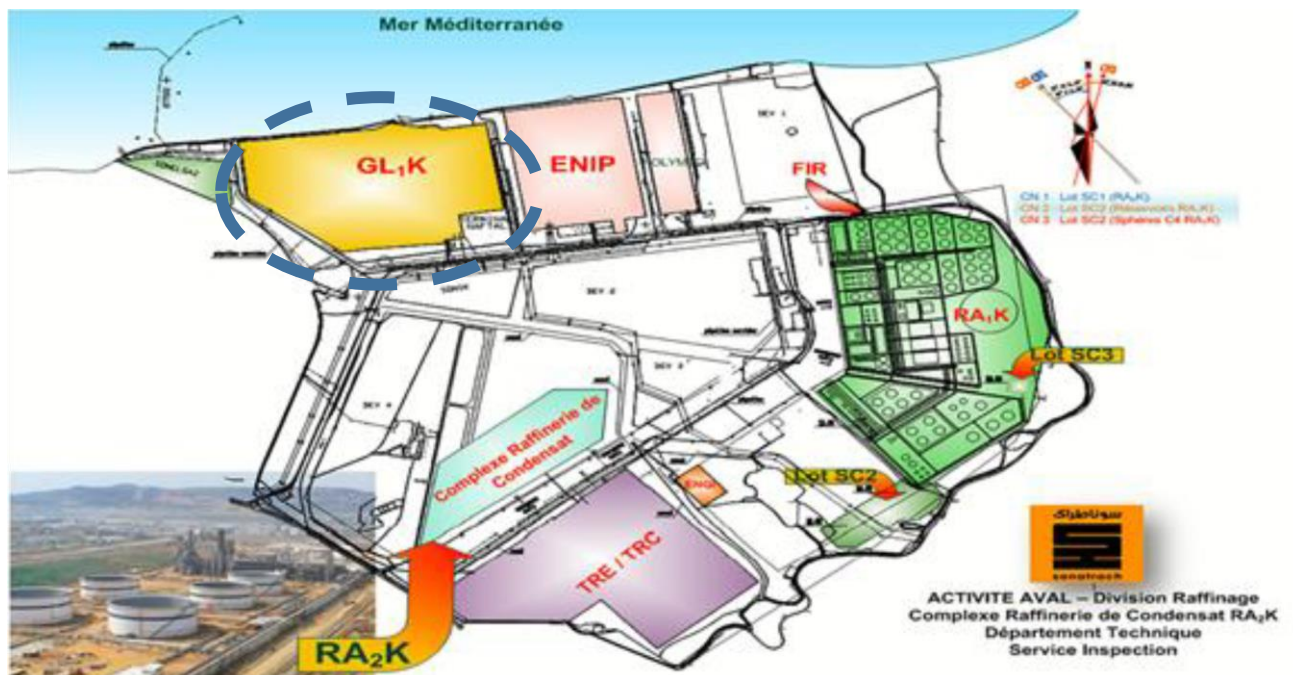


Figure III.1 : Situation du complexe GL1K dans la zone [20].

III.2.2. Les unités du complexe GL1K

Le complexe comprend principalement :

1- Trois (03) trains de liquéfaction de GNL (U10, U5P et L'U6P) ;

Chapitre III Présentation de l'unité de décarbonatation AGRU GL1K

2- Une unité GPL pour le traitement et le stockage du propane et du butane ;

3- Un parc de stockage et des installations d'enlèvements conséquents comprenant :

- 5 Bacs de Stockage de GNL d'une capacité totale de 308 600 m³ ;
- 2 pompes de GNL;
- 2 postes de chargement de GNL ;

4- Une unité centrale pour la production des utilités :

- Vapeur;
- Air instrument et Service;
- Azote;
- Eau déminéralisée et distillée;
- Hypochlorite de soude (Eau de Javel)

En plus du GNL le complexe produit :

- 1915 T/J d'Ethane (C₂H₆);
- 1818 T/J de propane (C₃H₈) ;
- 1554 T/J de butane (C₄H₁₀) ;
- 917 T/J de naphta léger (C₅H₁₂) [23].

III.3. Description du procédé

Le GN qui produit par les chantiers gaziers de Hassi R'mel à GNL de Skikda passe par plusieurs procédés de traitement et de conversion. On cite les majeurs de ces procédés :

III.3.1. Unité de comptage et de compression

Trois compteurs totalisateurs (3 x 50 %) c.-à-d. deux fonctionnent et un en standby Pour Mesurer et comptabiliser tout le gaz naturel entrant aux unités existantes et au Nouveau Train de GNL. Il existe aussi :

- Trois vannes d'isolement motorisées. Elles peuvent être commandées en local ou à partir de la FIR 4 (Field Instrument Room) ;
- Un chromatographe pour analyse de la composition et de la densité du gaz afin de calculer le débit massique du GN entrant ;
- Un analyseur de CO₂ en ligne.

Chapitre III Présentation de l'unité de décarbonatation AGRU GL1K

La zone de conditionnement de l'alimentation de l'usine est conçue pour supprimer les contaminants solides et liquides, pour mesurer le gaz d'alimentation et pour mettre le gaz à la pression requise par l'usine de traitement GNL en aval [23].

III.3.2. Distribution du gaz naturel

Le gaz naturel GN d'alimentation distribué vers plusieurs lignes pour des différents usages [23].

❖ Pour le nouveau Train de GNL

- ✓ Ligne de 36 pouce, d'alimentation principale.
- ✓ Ligne de 6 pouce, de 1er démarrage des turbo alternateurs.
- ✓ Ligne de 10 pouce, d'appoint GN pour les besoins suivants :
 - Protection contre la mise sous vide des bacs de stockage de GNL, Butane, Propane, Gazoline,
 - Balayage des collecteurs de torche,
 - Pilotes torche et brûlot,
 - Pressurisation / vaporisation du liquide au niveau du Blow down, Gaz d'assistance au brûlot.

❖ Pour les unités existantes (GL1/K)

- ✓ Ligne de 20 pouce vers l'unité 10,
- ✓ Ligne de 24 pouce vers les unités 5P/6P,
- ✓ Ligne de 6 pouce vers le réseau combustible,
- ✓ Ligne de 3 pouce vers le pole 2 (torche, GPL, HELISON).

Une prise de gaz d'alimentation (en amont de séparateur pour le compresseur de gaz d'alimentation) permet de répondre à la demande totale de gaz combustible de l'unité GNL [23].

III.4. Unité de décarbonatation

Une unité d'enlèvement du gaz acide (AGRU) est prévue pour retirer le CO₂ de l'alimentation en gaz brut, placé en aval de l'unité de conditionnement. Ce processus sera effectué via absorption chimique dans un solvant pauvre, une solution aqueuse de diéthanolamine méthylique activé (AMDEA) ». L'eau condensée entraînant les vapeurs d'amine seront récupérés dans l'unité de séchage et renvoyés vers le ballon de reflux de régénérateur de solvant [23].

Chapitre III Présentation de l'unité de décarbonatation AGRU GL1K

III.5. Unité de déshydratation

L'unité d'hydratation située en aval de l'AGRU, sert à enlever l'eau du gaz d'alimentation afin d'éviter le gel d'eau dans les sections cryogéniques de l'unité de liquéfaction.

Le gaz d'alimentation des sécheurs subira un pré refroidissement pour réduire la teneur en eau, qui sera éliminée au niveau d'un séparateur, ceci réduit la charge sur les sécheurs à tamis moléculaire [23].

III.6. Unité de démercuration

Le gaz sec traité en provenance des sécheurs est filtré avant d'être envoyé à l'unité d'enlèvement de mercure.

Le gaz d'alimentation passe dans l'absorbeur de mercure qui contient un lit de charbon actif imprégné de soufre, ce qui réduit la teneur en mercure du gaz à moins de 5 Ng/Nm³ [23].

III.7. Unité de liquéfaction

Un échangeur principal (15-MC05) de type bobiné pour la liquéfaction. Cet échangeur est constitué d'une calandre en aluminium et de plusieurs faisceaux de tubes en aluminium enroulés autour d'un noyau central.

Le flux de méthane refroidi depuis le l'échangeur principale, une combinaison de vapeur de distillat de tête de la tour de lavage, de distillat de tête du déméthaniseur et de réinjection du GPL, est le principal composant du GNL et il est envoyé vers l'échangeur principale pour la liquéfaction [23].

Le flux GNL qui quitte l'échangeur principal traverse le détendeur de GNL ou la pression est réduite. Le produit GNL est ensuite envoyé vers le ballon de détente à hélium GNL. Depuis le ballon de détente à hélium/GNL, le produit GNL liquide est envoyé d'abord dans le rebouilleur du rectificateur d'azote ou la majorité de l'azote du GNL est retirée. Le GNL s'écoule ensuite en bas de rectificateur d'azote dans l'aspiration des pompes GNL qui envoie le GNL vers les réservoirs de stockage [23].

III.8. Unité de la réinjection du GPL

Le butane sortant du débutaniseur est refroidi, puis mélangé avec l'éthane et le propane issus de l'unité de fractionnement, pour être réinjecter dans le circuit GNT dans le l'échangeur principale [23].

III.9. Unité de Fractionnement

L'unité de fractionnement a pour but de séparer les constituants dits " lourds" du gaz naturel, ceci afin de respecter les spécifications commerciales du GNL. Ces constituants sont : l'éthane, le propane, le butane et la gazoline (C5⁺).

NB : Le nouveau train de GNL est dimensionné pour pouvoir aussi fonctionner avec réinjection totale de ces produits [23].

III.10. Les circuits de réfrigération

Le nouveau train GNL utilise le procédé de liquéfaction APCI (Incorporation des produits de l'air et des produits chimiques). Ils existent trois circuits fermés de réfrigération (propane réfrigération, external propane et le circuit de MR). Les deux premiers sont utilisés pour le pré-refroidissement de la charge au cours de leur traitement dans des échangeurs de type fuseaux-calandre et aussi de refroidir le MR (Mixed Réfrigérant). Le circuit de propane réfrigération participe au refroidissement de 2/3 de la quantité de MR et la boucle externe de réfrigération au propane sert à refroidir de 1/3. Le circuit de MR pour liquéfier le GNT au niveau de l'échangeur principale (échangeur bobiné 15-MC05). La compression du MR est étagée avec refroidissement intermédiaire réalisé par des aéro réfrigérants (16- MC01, 16-MC02 et 16-MC03), Il contient trois compresseurs, basse pression 16-MJ01 et moyenne pression 16-MJ02, ces deux compresseur sont entraînés par une turbine à gaz 16-MJ01-GT, le compresseur haute pression entraîné par la turbine à gaz 16- MJ04-GT au qu'elle entraine le compresseur 16-MJ04 de la boucle de propane réfrigérant en même temps [23].

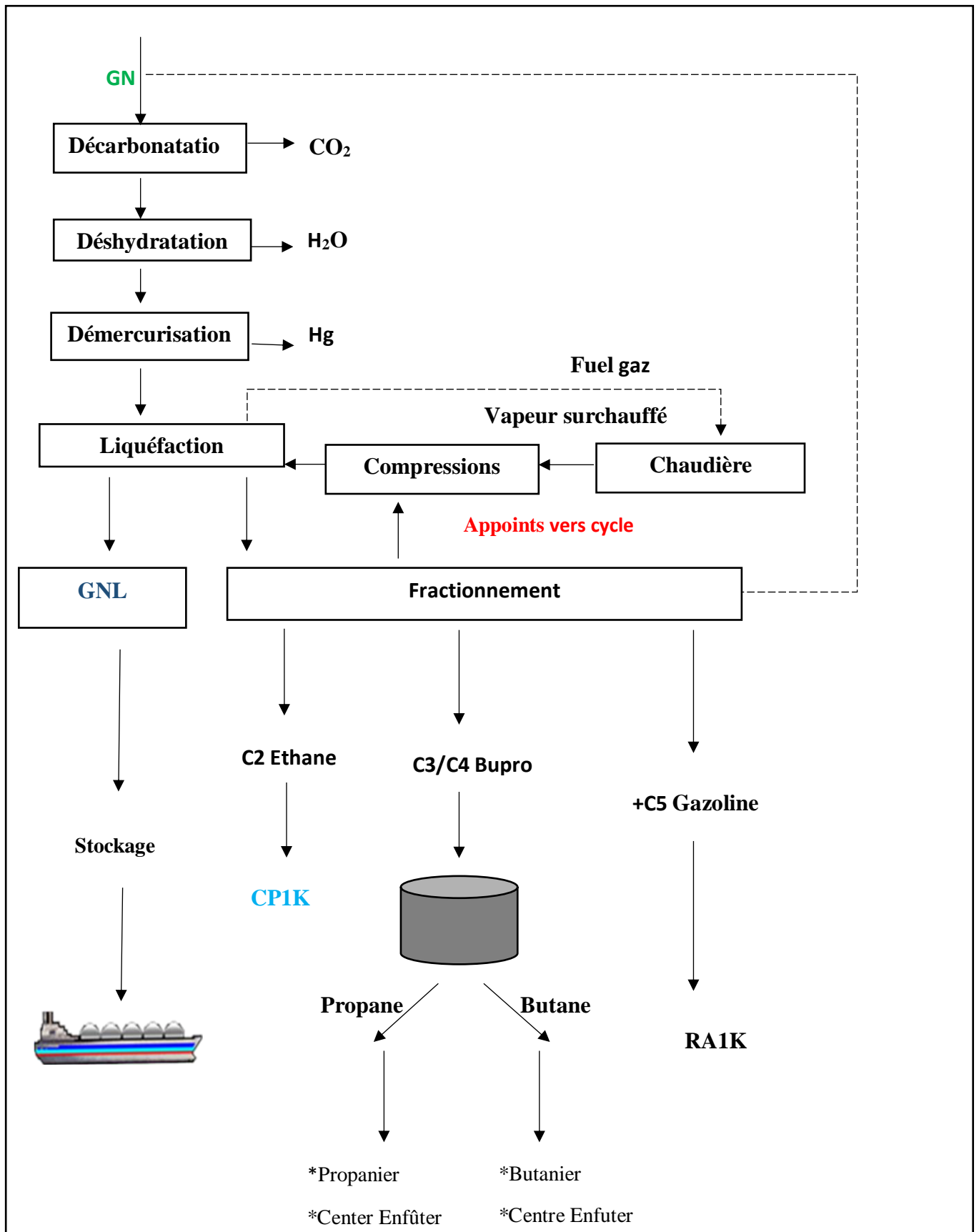


Figure III.2 : Processus liquéfaction de GL1K [21].

III.11. Décarbonatation du gaz naturel

Avant la liquéfaction, le gaz naturel doit subir plusieurs traitements pour être débarrassé des éléments nuisibles au fonctionnement de l'installation :

- Le gaz carbonique (CO₂) ;
- L'eau (H₂O) ;
- Le mercure (Hg) [20].

III.11.1. But de l'élimination du CO₂ du gaz naturel

Le dioxyde de carbone ou anhydride carbonique est présent dans certains gaz naturels. Il est non toxique et non combustible.

Un excès de CO₂ se traduit donc par une diminution du pouvoir calorifique du gaz et, pour une même énergie transportée, un supplément de 1 % de CO₂ coûte 2 % en plus de gaz carburant.

En milieu humide, la présence de CO₂ provoque une corrosion lente des canalisations. Pour un gaz à 3 % de CO₂, la diminution moyenne théorique d'épaisseur d'une canalisation est de l'ordre de 3 μ par ans. Dans les unités de production du GNL, le CO₂ est éliminé (décarbonatation) avant liquéfaction pour prévenir le bouchage et la corrosion des équipements process [20].

III.11.2. Conséquences du bouchage

Durant la liquéfaction, le CO₂ contenu dans le gaz naturel se solidifie et provoque le bouchage de l'échangeur principale la liquéfaction, du fait de la fixation du des CO₂ à l'intérieur des tubes [20].

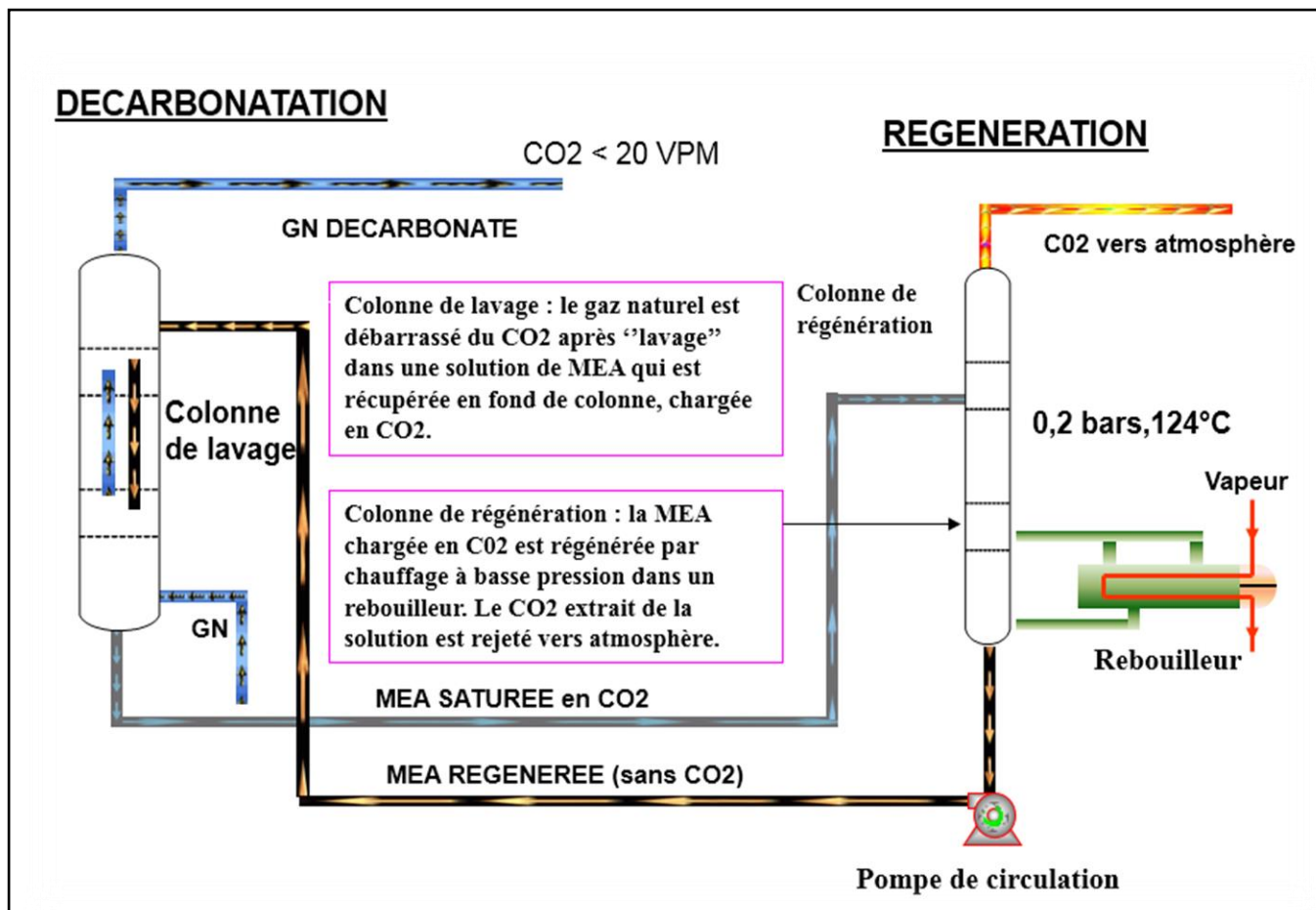


Figure III.3 : Décarbonatation du gaz naturel [20].

III.11.3. Absorption du CO₂ par l'amine MDEA

Ce type d'absorption implique une réaction chimique exothermique entre le composant gazeux (CO₂) et le liquide mettre le nom complet de l'amine (MDEA) [20].

III.11.4. Propriétés chimiques du MDEA

L'amine MDEA comprend un groupe hydroxyle (OH) qui sert à réduire la tension de vapeur et augmenter la solubilité dans l'eau et un groupe aminé qui donne au composé les caractéristiques d'élimination du CO₂.

L'amine MDEA présente les réactions caractéristiques des amines et des alcools et peut réagir vivement avec les produits oxydants. Avec les acides, il se produit une réaction exothermique. L'MDEA est un solvant qui n'est pas très corrosif [20].



Garnissage structuré Vs Garnissage en vrac

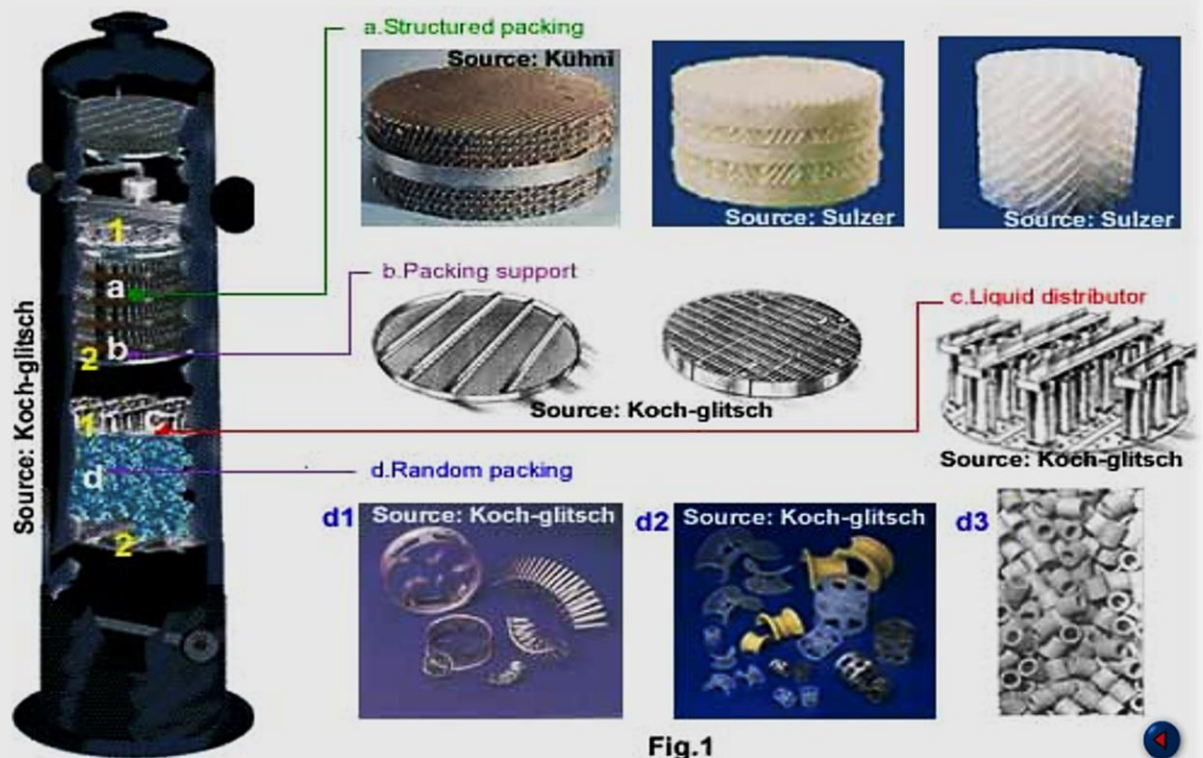


Figure III.4 : Garnissage structuré et Garnissage en vrac [20].

III.12. Description du cas d'étude le procédé de la décarbonatation

Cette section sert à réduire la teneur en CO_2 jusqu'à 50 ppmv pour éviter la solidification dans la section liquéfaction, et de limiter l'émission du VOC à une valeur inférieure à 150 mg/Nm^3 [20].

III.12.1. Colonne d'absorption

La colonne de décarbonatation 12-MD21 est conçue pour éliminer le CO_2 contenu dans le gaz naturel par absorption chimique par une solution d'AMDEA pauvre. La réaction est exothermique. Cette solution aqueuse d'AMDEA alimente l'absorbeur en haut par les pompes 12-MJ21A/B/C. La solution circule ensuite vers le bas à travers des lits de garnissages en vrac (disposés selon 4 lits de 6 m comprenant des distributeurs de liquides intermédiaires). De ce fait, la solution d'AMDEA est mise en contact avec le Gaz Naturel circulant à contre-courant de bas en haut traversant les lits de garnissages. Le gaz débarrassé du CO_2 quitte la tête de l'absorbeur pour être dirigé vers l'unité de déshydratation [20].

Chapitre III Présentation de l'unité de décarbonatation AGRU GL1K

III.12.1.1. Réaction exothermique

Une réaction exothermique est un processus ou une réaction chimique accompagnée d'un dégagement de chaleur. C'est l'opposé d'une réaction endothermique [20].

III.12.1.2. Aero réfrigérant 12-MC35

Le rôle de cet équipement est de refroidir le gaz sortant en tête de l'adsorbent 12MD21. Il est composé de 3 caissons et comprend 6 moteurs. Il est conçu pour le cas de marche de traitement de 2% de CO₂ dans la charge GN, qui requiert un refroidissement supplémentaire étant donné la chaleur d'adsorption [20].

III.12.2. Colonne de flash

Cette colonne contient un lit de garnissages en haut duquel l'amine riche est introduite pour subir une détente de 67 b à 4.5 bars eff libérant ainsi une partie de CO₂ et d'hydrocarbures. L'amine riche en CO₂ non éliminé lors de la détente traverse le lit de garnissages de haut en bas. Les vapeurs de tête du ballon de flash 12-MD22, constituées principalement d'hydrocarbures, sont envoyées vers le ballon séparateur 58-MD02 pour être ensuite utilisées comme fuel gaz dans le four réchauffeur d'huile, 58-MB01 [20].

❖ Échangeurs amine riche/amine pauvre 12-MC22A/B/C

L'amine riche quitte le fond de la colonne de flash 12-MD22 et traverse les échangeurs MDEA pauvre/riche 12-MC22 A/B/C avant d'entrer au régénérateur 12- MD27. Les trois échangeurs 12-MC22-A/B/C sont de type à plaques et sont conçus pour traiter chacun 50% du débit total. En marche normale deux échangeurs sont en service, le 3ème est en standby.

L'amine riche est réchauffée à 124°C avec l'amine pauvre sortant du régénérateur. La vanne de régulation de débit 12-FV-1028 est placée en aval des échangeurs afin de limiter la vaporisation (flash) qui se produit à la sortie des échangeurs alimentant le régénérateur à travers cette vanne de contrôle [20].

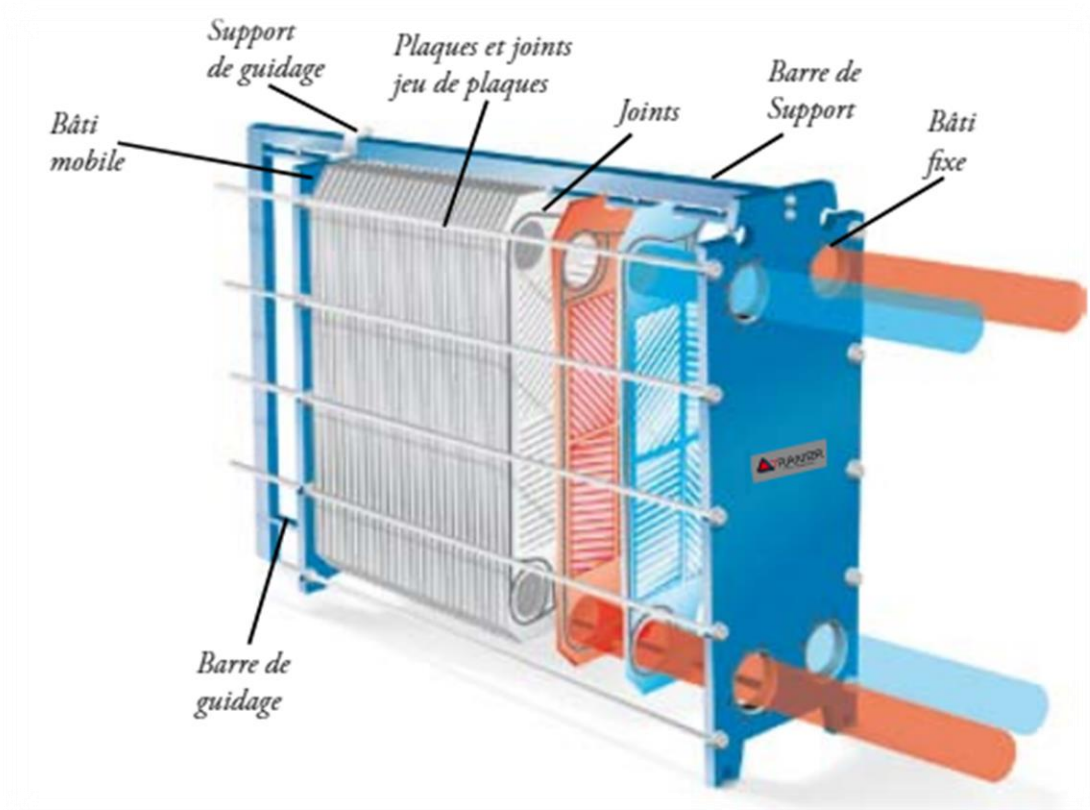


Figure III.5 : Echangeurs a plaque [22].

III.12.3. Colonne de régénération du solvant

Le régénérateur 12-MD27 contient deux lits de garnissage. Il est conçu pour extraire le CO_2 contenu dans la solution d'amine, ce qui produira une solution pauvre qui sera refroidie et qui alimentera en circuit fermé l'absorbeur. La solution riche alimente le régénérateur par le haut et circule à travers les lits de garnissage à contrecourant de la solution vaporisée (essentiellement vapeur d'eau) qui circule de bas en haut. Les garnissages augmentent la surface de contact entre l'amine et la vapeur, ce qui augmente le rendement de l'extraction du CO_2 [20].

III.12.4. Ballon de Reflux

Les vapeurs incondensables sont envoyées sous régulation de pression, vers l'incinérateur dans le but de réduire la teneur en carbone organique volatil (VOC) vers l'atmosphère à 50 mg/Nm^3 .

Le liquide condensé, essentiellement Les vapeurs incondensables sont envoyées sous régulation de pression, vers l'incinérateur dans le but de réduire la teneur en carbone organique volatil (VOC) vers l'atmosphère à 50 mg/Nm^3 [20].

Chapitre III Présentation de l'unité de décarbonatation AGRU GL1K

Le liquide condensé, essentiellement de l'eau est pompé en reflux vers le régénérateur par les pompes de reflux 12-MJ33/A par les pompes de reflux 12- MJ33/A [20].

III.12.5. Stockage du solvant MDEA

Il y a deux bacs pour le stockage de la solution, ils sont utilisés pour faire l'appoint de solvant pour le process.

Le bac 02-MF22 d'une capacité de 8 m³ est utilisé pour le stockage de l'amine concentrée selon le procédé fourni par BASF, le solvant est de l'MDEA activée. Il est livré en solution qui se compose d'MDEA, d'inhibiteur, et d'une quantité d'eau (approx 9 % d'eau). La solution de pré mélange est livrée dans des iso-conteneurs et elle est pressurisée avec de l'azote dans le bac de mélange de solvants.

Le 02-MF21 a une capacité de 400 m³. Il est utilisé pour stocker l'amine diluée qui servira d'appoint au process par une pompe [20].

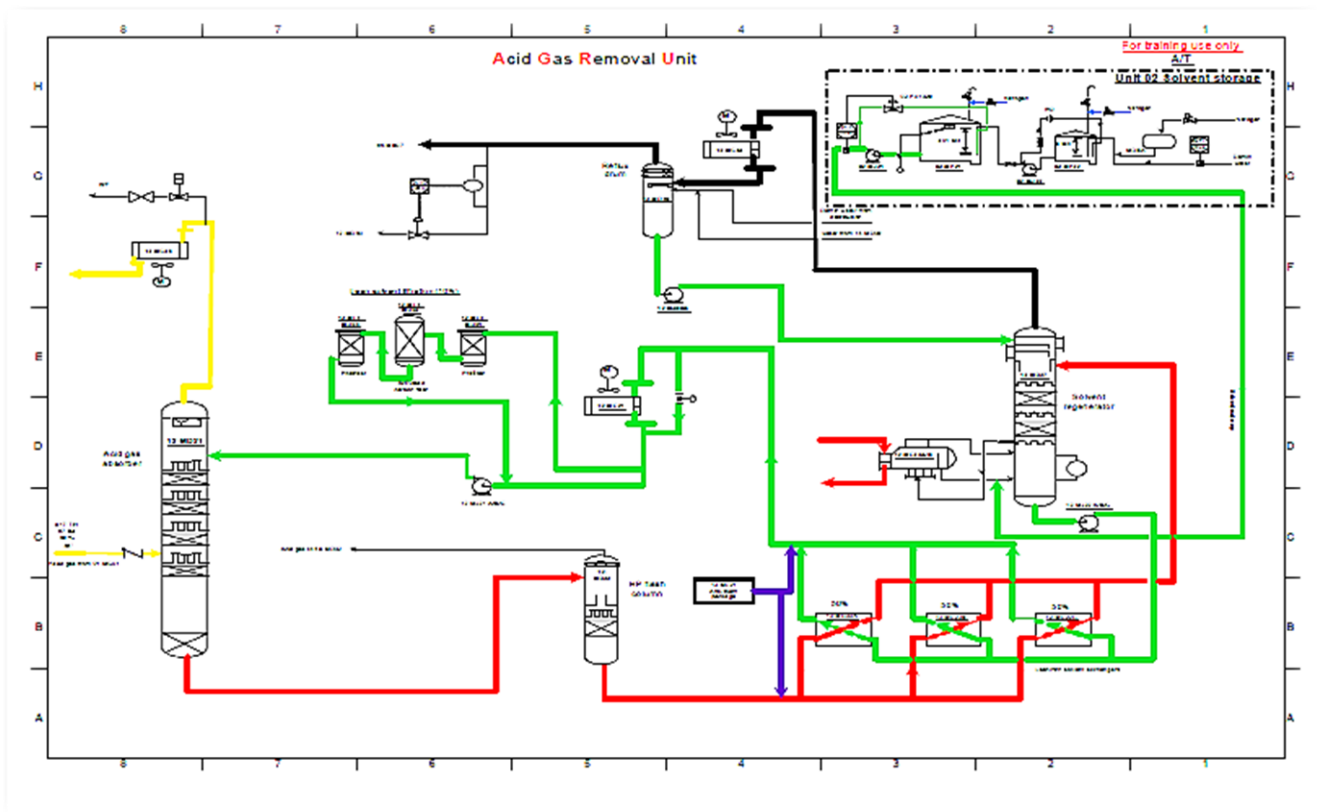


Figure III.6 : Schéma de l'unité AGRU complexe GL1K Skikda [22].

Chapitre III Présentation de l'unité de décarbonatation AGRU GL1K

III.13. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une description des différentes étapes de la décarbonatation du gaz naturel, et nous allons nous intéresser dans le chapitre qui suit à l'analyse de cycle de vie de la décarbonatation du gaz naturel et les impacts environnementaux que peut engendrer l'unité AGRU.

Chapitre IV : Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'application de l'analyse environnementale ainsi que la méthode d'analyse cycle de vie. Dont le but est de répondre à notre objectif qui est l'identification et la quantification des impacts environnementaux liées à la liquéfaction du gaz naturel. Notre étude a été réalisée au niveau du complexe GL1K à Skikda._ç

IV.2. L'impact environnemental

L'impact environnemental est l'ensemble des changements qualitatifs, quantitatifs et fonctionnels de l'environnement (négatifs ou positifs) engendrés par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes, ou un ou des produits, de sa conception à sa fin de vie.

IV.2.1. Les émissions atmosphériques proviennent de différentes sources

Les principales émissions atmosphériques résultant de l'exploitation des installations sont liées à l'utilisation d'équipements de combustion dans le processus de liquéfaction du gaz naturel (GNL). Le procédé de liquéfaction du GNL est la principale source d'émissions atmosphériques, provenant de divers équipements de combustion tels que les turbines à gaz utilisées comme moteurs pour les compresseurs de gaz servant à la production d'électricité, les réchauffeurs d'huile chaude, les torches et les incinérateurs. Les sources principales d'émission sont les suivantes :

- 01-MJ01-GT : Compresseur gaz d'alimentation turbine à gaz ;
- 15-MJ04-GT : Compresseur gaz combustible turbine à gaz ;
- 16-MJ01-GT : Compresseur BP/MP MR turbine à gaz ;
- 16-MJ04-GT : Compresseur HPMR & propane turbine à gaz ;
- 20-MJ01-GT : Compresseur externe propane turbine à gaz ;
- 51-MJ01A-GT : Groupe électrogène, turbine à gaz A
- 51-MJ01B-GT : Groupe électrogène, turbine à gaz B ;
- 51-MJ01C-GT : Groupe électrogène, turbine à gaz C ;
- 51-MJ01D-GT : Groupe électrogène, turbine à gaz D ;
- 51-MJ01E-GT : Groupe électrogène, turbine à gaz E ;
- 58-MB01 : Four huile chaude ;
- 65-MB07: Thermo oxydation.

Les émissions provenant des sources mentionnées résultent de la combustion de gaz combustibles. Toutes ces sources d'émissions ont été spécifiquement conçues pour se conformer à la réglementation algérienne sur les émissions de polluants atmosphériques.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.2.2. L'impact des rejets de liquides industriels

Voici les principales sources de rejets liquides dans les installations :

- Eaux usées provenant des installations sanitaires ;
- Une petite quantité d'eaux usées liées aux processus de production ;
- Écoulement en surface provenant de zones susceptibles d'être contaminées par des huiles ou des solides en suspension ;
- Écoulement propre et non contaminé dans des zones non aménagées des installations.

IV.2.3. Surveillance de la production de déchets

Divers types de déchets sont produits par l'unité, notamment :

- Déchets non dangereux : ordures générales, cellulose, boue inorganique, résidus de tamis moléculaire ou de gel de silice provenant des unités de déshydratation, alumine activée provenant de séchoirs à air, fibre de verre épuisée et filtres à cartouche en polypropylène.
- Déchets dangereux : boues biologiques, boues huileuses, déchets médicaux, huiles de graissage, huiles usées, solvants usés, couches de carbone contaminées par le mercure, couches de carbone activé usées provenant des filtres d'eau et d'ammine, batteries épuisées.
- Déchets recyclables tels que papier propre, plastique propre, ferraille, ciment, batteries recyclables, fûts métalliques, verre, encre d'imprimante, cartouches, etc.

IV.2.4. Les nuisances environnementales

La poussière générée par la circulation des véhicules dans les installations et le bruit engendré par les machines en rotation sont les principales sources de nuisances environnementales dans le complexe GL1K.

Les équipements en rotation tels que les compresseurs et les pompes sont responsables du bruit généré lors de l'exploitation des installations de GNL. De même, la circulation des véhicules dans les installations constitue la principale source de pollution par la poussière.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.3. La collecte des données de l'ACV

Afin de pouvoir identifier les aspects environnementaux significatifs liés aux décarbonations du gaz naturel, il est donc impératif par rapport à la méthode d'analyse environnementale.

IV.3.1. Le découpage de système

Pour faire une étude ou une analyse, on doit avoir des informations détaillées sur le système ou le site étudié. Ces informations sont la clé pour mieux connaître ce qu'on doit faire et ça ce qu'on appelle la collecte des données. **La Figure IV.1** nous explique les étapes nécessaires pour faire une collecte bien définie.

Pour commencer, on découpe le système de forage par activités (Tableau IV.1) en posant une simple question : quelles sont les différentes activités réalisées au sein de notre secteur ?

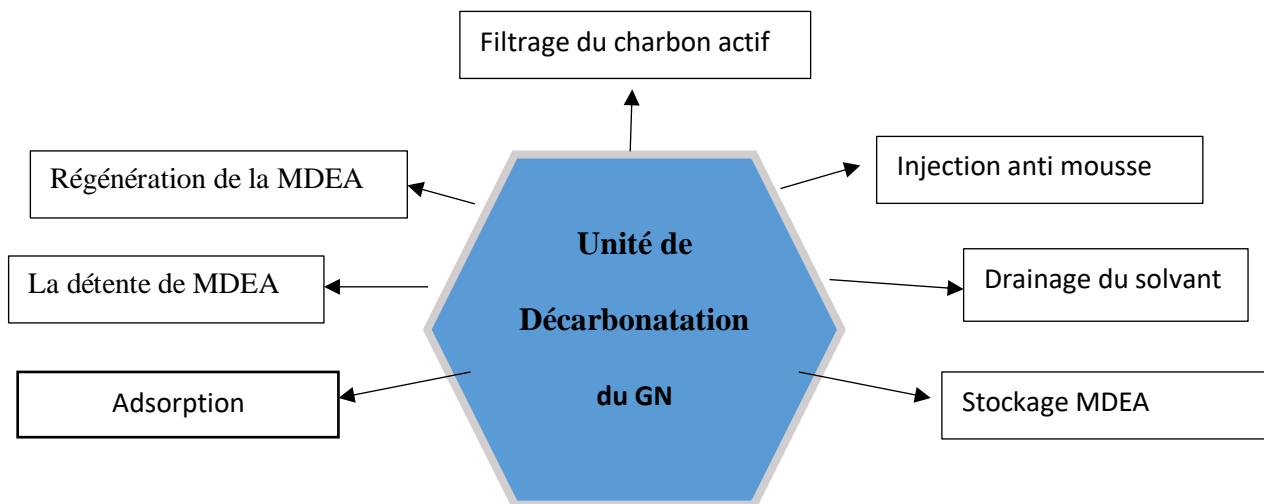


Figure IV.1 : Système de décarbonation du gaz naturel.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

Tableau IV.1 : Les activités et les sous-activités liées à la décarbonatation du GN.

| Direction | Activité | Sous activité |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Décarbonatation | Adsorption | Absorption |
| | Régénération | La détente |
| | | Filtrage du charbon actif |
| | | Injection anti mous |
| | | Drainage du solvant amine |
| | Stockage de la solution amine | Stockage de la solution amine |

IV.4. Identification des besoins de l'unité de décarbonatation

Après avoir présenté les activités liées la décarbonatation du GN. A ce moment- là on peut identifier les entrées et sorties du système, en se posant la question : Quels sont les différents flux de matières et d'énergies dont notre système a besoin afin de fonctionner ?

Après cette étape d'identification des besoins, il faut rechercher toutes les entrées et les sorties du système. Ils serviront à repérer les aspects environnementaux susceptibles d'engendrer un ou plusieurs impacts environnementaux. Les différentes données nécessaires sont présentées dans le schéma ci-dessous. Il s'agit d'un bilan de matières de système.

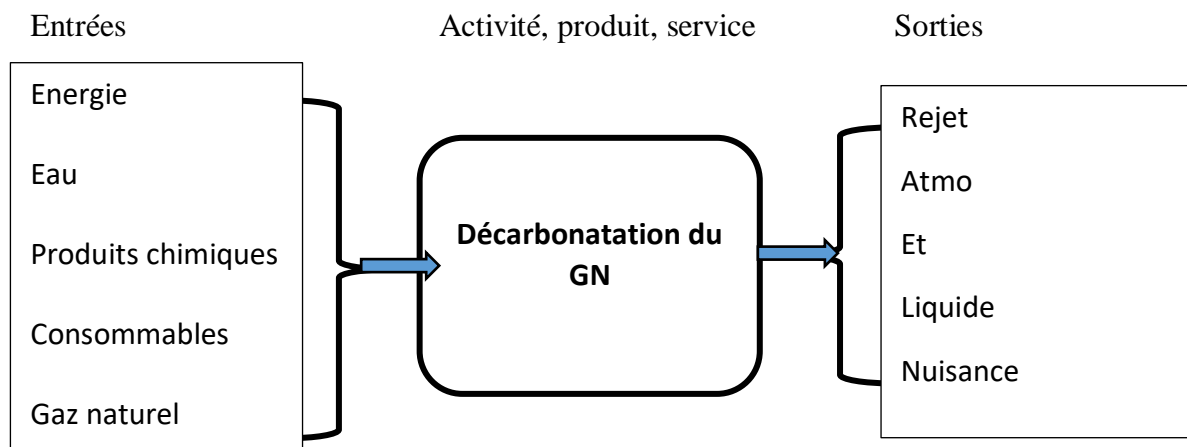


Figure IV.2 : Diagramme des flux du procédé de liquéfaction.

La figure IV.2 présente les entrées et les sorties liées aux activités de l'unité de décarbonatation du GL1K Skikda, et cela va nous permettre de faire un bilan de matière et d'énergie et pour l'identification des aspects environnementaux.

D'après notre étude on a observé en premier lieu que l'entreprise consomme de l'énergie électrique ce qui veut dire qu'il s'agit d'un premier aspect environnemental à

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

réduire. En deuxième lieu, l'entreprise utilise de l'eau, des produits chimiques (AMDEA) et le gaz naturel, ce qui représente un deuxième aspect environnemental à étudier ; en plus des rejets gazeux.

IV.4.1. L'identification des aspects environnementaux

Après avoir identifié les flux d'entrée et sortie du système et nos suivis sur le terrain, on a procédé à l'identification des aspects environnementaux. Le tableau IV.2 représente les aspects environnementaux détectés au niveau de l'unité de décarbonations du gaz naturel dans le mega train de GNL et leurs impacts.

Tableau IV.2 : Les différents aspects de l'unité de décarbonation et leurs impacts.

| Situation | Aspect environnemental | Impact environnemental | Lieu |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| A | Incendie | Pollution de l'air | Bac de stockage d'amine Colonne d'adsorption de GN |
| N | Poussière | Pollution de l'air | Circulations des véhicules dans les installations |
| N | Consommation d'électricité | Épuisement des ressources naturelles | Les pompes et les échangeurs |
| N | Eaux usées | Pollution du sol, sous-sol | Adsorption |
| N | Pneus usagés | Dangereux pour l'environnement | Véhicules dans les installations |
| N | Déchet contenant des produits chimiques solides, liquides ou gazeux | Dangereux pour l'environnement. | Décarbonation |
| N | Filtres du charbon actif | Dangereux pour l'environnement | Pompe de filtrage |
| N | Emballage (peinture et diluant, Plastique...) | Dangereux pour l'environnement. | Consommation du GN |
| N | Lampes à néon | Dangereux pour l'environnement | Administration |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

| Situation | Aspect environnemental | Impact environnemental | Lieu |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| N | Cartouches d'encre | Dangereux pour l'environnement. | Administration |
| N | Consommation d'eau | Epuisement des ressources naturelles | Solution amine |
| N | Fuite d'amine | Pollution du sol, pollution de l'air | Bac de stockage |
| | Huiles chaude | Pollution du sol | Colone de régénération |
| A | Batteries usagées | Toxique, irritant et dangereux pour l'environnement | La maintenance |
| N | GN(Explosif) | Pollution de l'air | Colone d'adsorption |
| N | Matériel de bureau (Exemple : crayons, feutres, papier, chaise et table) | Occupation du sol et dégradation de paysage | Administration |
| A | Déversement (carburant,Huile.) | Dangereux pour l'environnement | La maintenance |
| N | Bouteilles d'huile | Epuisement des ressources naturelles | La maintenance |
| A | Déchets métalliques | Epuisement des ressources naturelles Occupation du sol et dégradation de Paysage | La maintenance |

- **Situation**

N : Situation de fonctionnement normal (y compris le démarrage, l'arrêt et la maintenance).

A : Situation anormale (panne, incident, incendie, explosion, ...).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

Le **tableau IV.2** représente les différents aspects et impacts liées à l'activité de l'unité de décarbonatation. On remarque que les impacts les plus dangereux sont : la pollution de l'air par l'émission de GNL

IV.4.2. L'évaluation des aspects environnementaux significatifs

On a cité les différents aspects qu'on a identifiés au paravent par rapports aux facteurs suivants : la pollution, la nuisance, la consommation des ressources naturels et aussi les déchets.

Après l'évaluation de tous les aspects environnementaux, nous avons extrait dans le **tableau IV.3** Les aspects environnementaux significatifs dans l'unité de décarbonatation AGRU du GN.

Tableau IV.3 : Les aspects environnementaux significatifs de l'unité de décarbonatation.

| Situation | Les aspects environnementaux significatifs | L'impact significatif |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| A | Incendie | Pollution de l'air |
| N | Gaz d'échappement, fumées et vapeurs | |
| N | Poussière | |
| N | Eaux usées | Pollution du sol, sous-sol et les eaux sous terraines |
| A | GN | Pollution de l'air |
| N | Bruit | Nuisance sonore |
| N | Fuite d'amine | Dangereux pour l'environnement |
| N | Déchet contenant des produits chimiques solides, liquides ou gazeux (fréon, acide, azote, acétylène...) | |
| N | Filtres à charbon | Dangereux pour l'environnement |

IV.5. La démarche d'analyse de cycle de vie (ACV)

IV.5.1. Unité fonctionnelle

L'activité principale de l'unité AGRU est la décarbonatation du GN au niveau du complexe GL1K à Skikda. L'Analyse cycle de vie sera divisée en deux parties. La première

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

partie traitera de l'ACV de l'adsorption du GN. La masse extraite du GN est de 1 tonne a été choisie comme unité fonctionnelle.

Ensuite, l'analyse cycle de vie de la partie dépendance de la régénération du gaz naturel. Les étapes reprises dans cette section la détente, la détente et le reflux. L'unité fonctionnelle choisie est 1 tonne de GN.

Pour terminer, les deux parties seront assemblées pour obtenir une Analyse Cycle de Vie de décarbonatation du GN. Ce qui permettra ainsi de constater quels sont les impacts environnementaux les plus importants pour produire 1 tonne GN.

IV.5.2. Frontière du système

Le stade de décarbonatation du gaz naturel, allant du berceau à la porte a été choisi comme frontière du cycle de vie du GN. En effet, l'Analyse Cycle de Vie s'arrête au moment où la décarbonatation du GN du traitement et production de gaz naturel au GL1K.

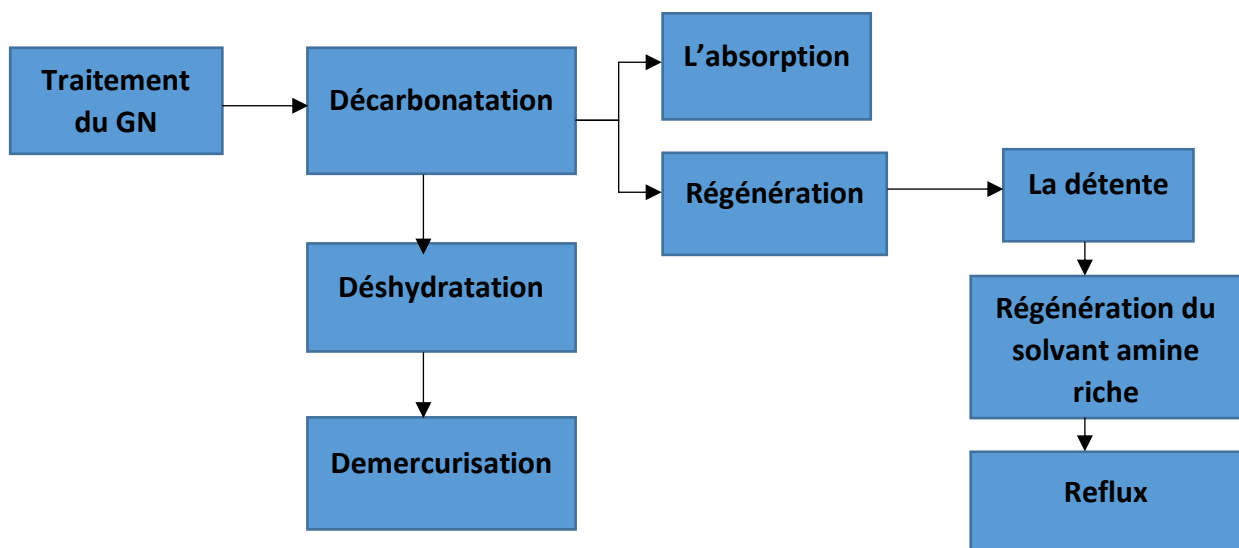


Figure IV.3 : Système de traitement de GN.

Le Schéma précédent représente le système qui est l'adsorption de la matière première, la régénération du solvant. Par manque de données récoltées, le traitement des déchets produits lors des différentes étapes ainsi que la maintenance, sont exclus de l'analyse.

IV.6. Systèmes des produits et processus élémentaires

Selon la limite du système délimité précédemment, les flux élémentaires et principaux de la décarbonatation du GN étudiés sont les suivants :

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.6.1. Les flux énergétiques entrants

Selon la limite du système délimité précédemment, les flux élémentaires et principaux de la décarbonatation du GN.

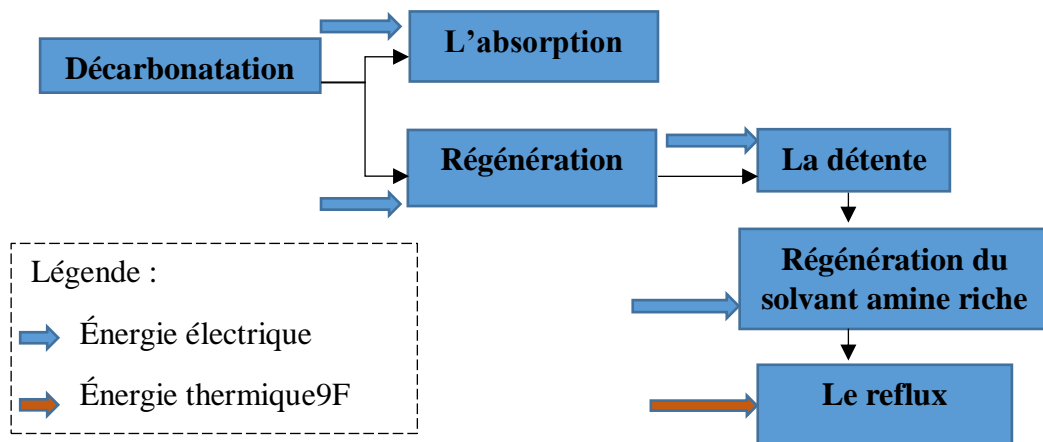


Figure IV.4 : Flux énergétiques entrants dans le système.

Il existe deux types d'énergie utilisée pour la décarbonatation du GN. D'abord, l'énergie électrique qui est utilisée pour l'absorption et la régénération lors des pompes et échangeurs. L'énergie électrique (flèche verte sur la figure) est utilisée également pour le fonctionnement de toutes les machines.

Ensuite, l'énergie thermique (flèche orange sur la figure IV.4) qui est utilisée par les rebouilleurs d'huile chaude pour réchauffer le liquide allant vers la colonne. Ces rebouilleurs sont de type à tubes et à calandre.

IV.6.2. Les flux atmosphériques sortants

Les rejets atmosphériques avec lors de la décarbonatation du GN sont illustrés sur le schéma suivant :

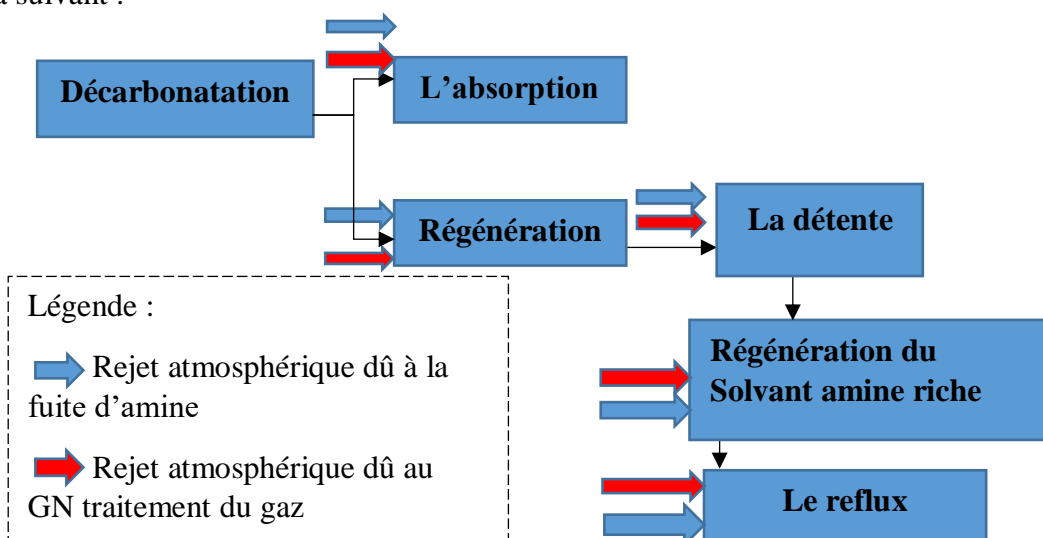


Figure IV.5 : Flux atmosphériques sortants du système.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

En ce qui concerne les rejets atmosphériques, il en existe deux types : les rejets atmosphériques dus à la fuite d'amine et les rejets atmosphériques dus à la combustion du GN explosif. Ces rejets sont composés de CO₂, C₂, C₃, C₄, et sont présents au niveau de la décarbonatation du GN.

IV.6.3. Les flux entrants et sortants de l'eau

Les effluents d'eau entrant et sortant dans notre système sont représentés par la **figure IV.6** Suivante :

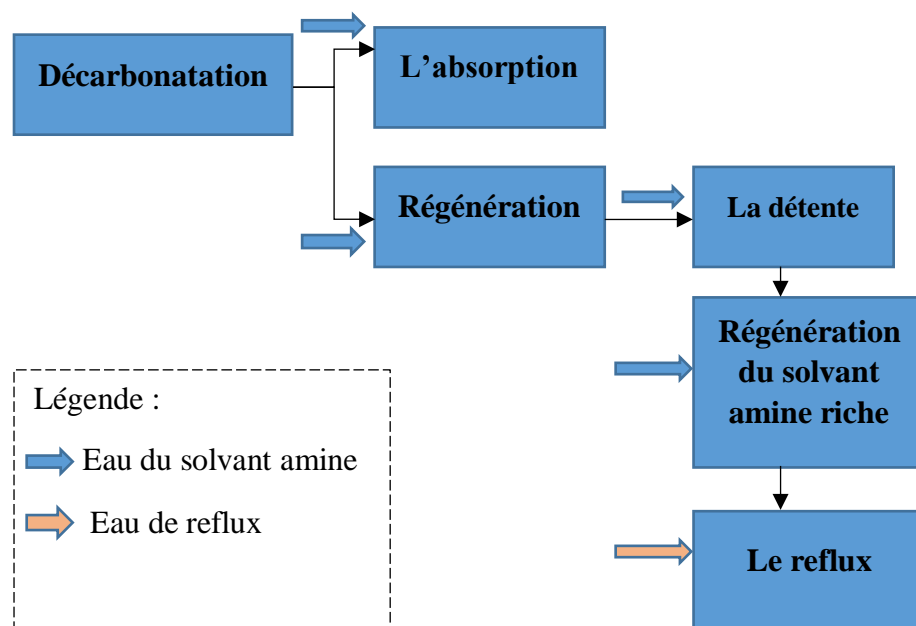


Figure IV.6 : Flux entrants et sortants de l'eau.

En ce qui concerne l'eau, les entrants dans le système étudié sont de deux types. En premier lieu, l'apport d'eau est nécessaire au niveau de l'absorption, la détente et la régénération

Ensuite, lors de l'étape du reflux. Finalement, les eaux sortantes du système étudié sont déversées vers le reflux.

Le **tableau IV.4** représente les résultats de quelques paramètres physico chimiques en comparaison avec des valeurs normatifs du Décret exécutif n° 06 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006.

Ces eaux sont par conséquent corrosives, instables, huileuses mais sont également biologiquement actives, toxiques et leur salinité peut atteindre la saturation. Pour cela on a

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

prélevé quelques échantillons d'eau pour faire des analyses des paramètres physico chimiques.

Tableau IV.4 : Analyse des paramètres physico chimiques des eaux de l'unité de décarbonatation.

| Paramètre | Unité | Echantillons | | | | Normes |
|---------------|-------|--------------|------|------|------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| pH | / | 7.9 | 8 | 7.9 | 6.9 | 6.5-8.5 |
| T | °C | 38 | 28.3 | 34 | 27 | 30 |
| TSS | mg/L | / | 75 | 15 | / | / |
| DCO | mg/L | 78 | 20 | 1440 | 400 | 120 |
| Fer | mg/L | / | / | 0.01 | 0.01 | 3 |
| Phénol | mg/L | / | 0 | 0.03 | 0.04 | 10 |
| MES | mg/L | 17 | / | / | 7 | 600 |
| Cuivre | mg/L | / | / | 0.01 | 0.01 | 01 |

Les rejets liquides issus d'adsorption ainsi que les eaux de lavage de site sont rejetés vers la mère ce qui présente un risque pour l'environnement.

D'après le **tableau IV.4** on remarque que les paramètres analysés sont des normes, sauf la DCO qui dépasse la norme algérienne ce qui présente un risque pour l'environnement.

IV.6.4. Les flux sortants des déchets

Les déchets sortant dans notre système sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Les déchets issus des activités de décarbonatation.

| Procédé de décarbonatation | Type de flux | Catégorie de flux | Unité | Quantité 12Mois | Quantité Par(UF) |
|----------------------------|--------------|--------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| Absorption | Déchets | Solvants usée | m ³ | 543 | 0,00362 |
| | | Batterie | Nombre | 3 | 0,00002 |
| Régénération | Déchets | Couches de charbon actif | Litre | 4241 | 0,02827 |
| | | Batterie | Nombre | 5 | 0,000033 |
| reflux | Déchets | Déchets non dangereux | Nombre | 10 | 0.04 |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.6.5. Les produits chimiques

Les travaux effectués en laboratoire combinant des opérations de l'absorption, détente, régénération, reflux, ont permis d'augmenter la teneur en gaz naturel. Pour effectuer ces opérations la décarbonatation a besoin des produits chimiques regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.6 : Consommation des réactifs chimiques sous forme liquide dans l'unité de décarbonatation.

| Désignation | Symbole | Quantité annuelle (L) |
|--------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|
| Acide chlorhydrique | HC ₁ | 11,2 |
| Acide sulfurique | H ₂ SO ₄ | 2.4 |
| Acide nitrique | NHO ₃ | 4.5 |
| Acide ortho phosphorique | H ₃ PO ₄ | 65.5 |
| Acide acétique | C ₂ H ₄ O ₂ | 5.3 |
| Ammoniaque | NH ₄ OH | 2.8 |

Tableau IV.7 : Consommation des réactifs chimiques dans l'unité de décarbonatation.

| Désignation | Symbole | Quantité annuelle (Kg) |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Oxalate d'ammonium | NH ₄ C ₂ O ₄ | 5 |
| Chlorure de mercure | HgC ₁₂ | 1.75 |
| Chlorure d'étain | SnC ₁₂ | 0.9 |
| Bichromate de potassium | K ₂ Cr ₂ O ₇ | 0.72 |
| Permanganate de potassium | KMnO ₄ | 0.08 |
| Sel de Mohr | (NH ₄) Fe (SO ₄) ₂ H ₂ O | 0.24 |
| Barium diphénylamine | Ba(C ₆ H ₅ NHC ₆ H ₄ SO ₃) ₂ | 0.21 |
| Diphénylamine | (C ₆ HS) ₂ NH | 0.5 |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.7. Limitation ou coupure du système

Afin de simplifier les calculs pour quantifier les impacts environnementaux et faciliter ainsi la mise en pratique de l'analyse cycle de vie, certains entrants et sortants ont été exclus du système de la décarbonation du gaz naturel.

IV.7.1. Qualité des données récoltées

Afin de construire l'Analyse Cycle de Vie, les données nécessaires à l'alimentation de l'inventaire du cycle de vie ont été fournies par l'AGRU. Pour traiter ces données sur le logiciel Sima-Pro, c'est la base de données Eco-indicateur 99 méthode qui a été exploitée.

IV.7.2. Réalisation de l'inventaire du cycle de vie (ACV)

Au cours de notre stage pratique on a pu collecter des données sur l'utilisation des ressources, la production et la consommation d'énergie, les émissions de polluants et les effluents liquides et déchet. L'inventaire des flux de matière et d'énergie est développé pendant les phases absorption et régénération. L'objectif principal de cette démarche est de déterminer les consommations spécifiques d'énergie pour extraits 1000 tonne de GN.

La moyenne de production annuelle du GN de fer est de 1000 tonnes, l'unité fonctionnelle (UF) utilisé dans cette étude est une tonne donc toutes l'évaluation quantitative de ce bilan est proportionnelle à décarbonation de GN dans ce cas, la décarbonation du gaz naturel nécessite des consommations spécifiques d'énergie niveau du le point de toute l'unité.

La figure suivante représente les limitations et les sous-systèmes de l'unité AGRU :

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

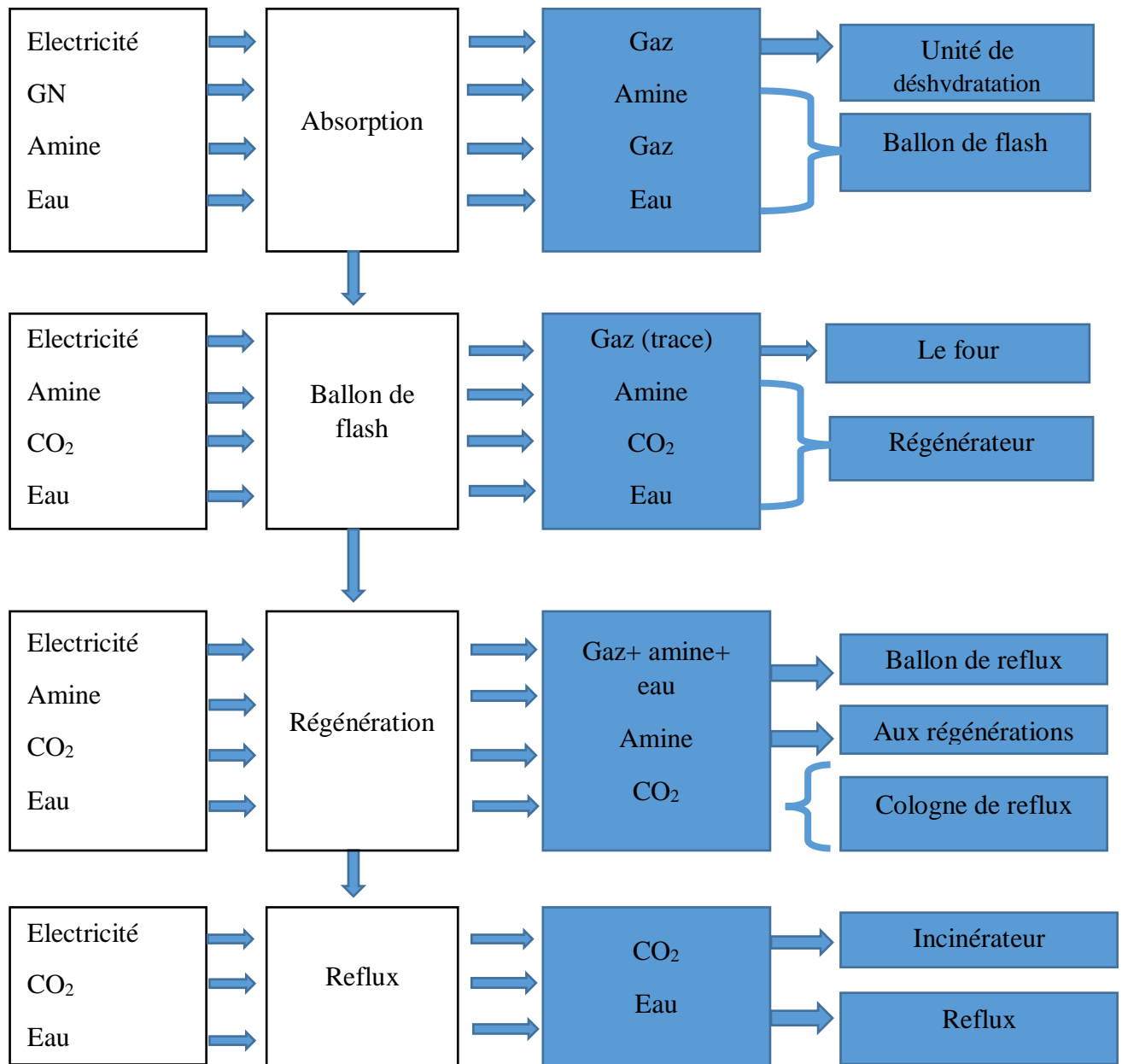


Figure IV.7 : Les frontières du système de décarbonation du GN.

IV.8. Inventaire des entrants et sortants de l'unité acide gaz removal AGRU

Le tableau suivant représente les inputs et d'étape outputs de l'absorption.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

Tableau IV.8 : Inventaire de l'absorption.

| Etape | Inventaire mesure | Valeur | | Unité |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------|-----------|
| | | Par heure | par (UF) | |
| Découverte | Gaz | 42380 | 1000000 | kg |
| Absorption | | | | |
| Inputs | Electricité | 6668 | 15762 | KW |
| | Diesel | 1.5 | 35.394 | MW |
| | Helium | 320 | 30202 | kg |
| | Azote | 2449 | 809012 | kg |
| | Methane | 34958 | 13197903 | kg |
| | Ethane | 3072 | 2174607 | kg |
| | Propane | 995 | 1033032 | kg |
| | Isobuthane | 288 | 394147 | kg |
| | Butane | 63 | 86219 | kg |
| | Isopentane | 80 | 136196 | kg |
| | Pentane | 79 | 134214 | kg |
| | hexane | 88 | 178574 | kg |
| | CO ₂ | 6516 | 6765067 | kg |
| | Amine | 613 | 1721257 | kg |
| | Eau | 6512 | 2765828 | kg |
| Output | Hélium | 80 | 7550 | kg |
| | Azote | 34958 | 11548165 | kg |
| | Méthane | 2449 | 924585 | kg |
| | Ethane | 3072 | 2174607 | kg |
| | Propane | 995 | 1033032 | kg |
| | Isobutane | 288 | 394147 | kg |
| | Butane | 63 | 86219 | kg |
| | Isopentane | 80 | 136196 | kg |
| | Pentane | 79 | 134214 | kg |
| | Hexane | 88 | 178574 | kg |
| | CO ₂ | 108 | 112128 | kg |
| | Eau | 7164 | 3042751 | kg |
| | amine | 613 | 1721257 | kg |
| | Emission vers l'air | Dioxyde de soufre SO ₂ | 5 | 117 |
| Dioxyde d'azote NO ₂ | | 1 | 23 | kg |
| Monoxyde d'azote NO | | 20 | 471 | kg |
| Monoxyde de carbone CO | | 100 | 2359 | kg |
| Emission vers l'eau | DCO | 1440 | 33978 | kg |
| | Fer | 0.01 | 0.02 | kg |
| | Phénol | 0.04 | 0.09 | kg |
| | Cuivre | 0.01 | 0.02 | kg |
| Les déchets | Déchets industriels | 10 | 235 | kg |
| | Déchets recyclables | 5 | 117 | kg |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

Tableau IV.9 : Inventaire de l'étape de détente.

| Etape | Inventaire mesure | Valeur | | Unité |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------|-------|
| | | Par heure | par (UF) | |
| Découverte | Gaz | | 1000000 | kg |
| La détente | | | | |
| Inputs | CO ₂ | 108 | 112128 | |
| | Amine | 613 | 1721257 | kg |
| | Eau | 7164 | 3042751 | kg |
| Outputs | Helium | 0 | 0 | kg |
| | Azote | 0 | 0 | kg |
| | Methane | 9 | 3397 | kg |
| | Ethane | 1 | 707 | kg |
| | Propane | 0 | 0 | kg |
| | Isobutene | 0 | 0 | kg |
| | Butane | 0 | 0 | kg |
| | Pentane | 0 | 0 | kg |
| | Hexane | 0 | 0 | kg |
| | CO ₂ | 108 | 11218 | kg |
| | Amine | 611 | 1721257 | kg |
| | Eau | 6500 | 3042751 | kg |
| | Emission vers l'air | Dioxyde de soufre SO ₂ | 5 | 117 |
| Dioxyde d'azote NO ₂ | | 1 | 23 | kg |
| Monoxyde d'azote NO | | 20 | 471 | kg |
| Monoxyde de carbone CO | | 100 | 2359 | kg |
| Emission vers l'eau | DCO | 1440 | 33978 | kg |
| | Fer | 0.01 | 0.2 | kg |
| | Phénol | 0.04 | 0.9 | kg |
| | Cuivre | 0.01 | 0.2 | kg |
| Les déchets | Déchets industriels | 10 | 235 | kg |
| | Déchets recyclables | 5 | 117 | kg |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

Tableau.IV.10 : Inventaire de l'étape de régénération.

| Etape | Inventaire mesure | valeur | | unité |
|------------------------|---------------------|-----------|---------|-------|
| | | Par heure | Par UF | |
| Découverte | Gaz | 42380 | 1000000 | Kg |
| | | | | |
| La régénération | | | | |
| Inputs | CO ₂ | 108 | 11218 | Kg |
| | Eau | 6500 | 2760732 | Kg |
| outputs | CO ₂ | 87 | 90325 | Kg |
| | Eau | 399 | 143981 | Kg |
| Emission vers l'air | Dioxyde de soufre | 5 | 117 | Kg |
| | Dioxyde d'azot | 1 | 23 | Kg |
| | Monoxyde d'azot | 20 | 471 | Kg |
| | Monoxyde de carbone | 100 | 2395 | Kg |
| Emission vers l'eau | DCO | 1440 | 33978 | Kg |
| | Fer | 0.01 | 0.2 | Kg |
| | Phénol | 0.04 | 0.9 | Kg |
| | Cuivre | 0.01 | 0.2 | Kg |
| Les déchets | Déchets industriel | 10 | 235 | Kg |
| | Déchets recyclable | 5 | 117 | Kg |

Tableau IV.11 : Inventaire de l'étape de reflux

| Etape | Inventaire mesure | valeur | | unité |
|---------------------|---------------------|-----------|---------|-------|
| | | Par heure | Par UF | |
| Découverte | Gaz | 42380 | 1000000 | Kg |
| | | | | |
| Inputs | CO ₂ | 108 | 11218 | Kg |
| | Eau | 6500 | 2760732 | Kg |
| outputs | CO ₂ | 87 | 90325 | Kg |
| | Eau | 399 | 143981 | Kg |
| Emission vers l'air | Dioxyde de soufre | 5 | 117 | Kg |
| | Dioxyde d'azot | 1 | 23 | Kg |
| | Monoxyde d'azot | 20 | 471 | Kg |
| | Monoxyde de carbone | 100 | 2395 | Kg |
| Emission vers l'eau | DCO | 1440 | 33978 | Kg |
| | Fer | 0.01 | 0.2 | Kg |
| | Phénol | 0.04 | 0.9 | Kg |
| | Cuivre | 0.01 | 0.2 | Kg |
| Les déchets | Déchets industriel | 10 | 235 | Kg |
| | Déchets recyclable | 5 | 117 | Kg |

IV.9. Application de l'analyse de cycle de vie (ACV)

L'Analyse Cycle de Vie de 1000 tonne du gaz naturel, sera donc divisée en quarts parties : l'absorption, la détente, la régénération et le reflux. Pour chaque Analyse de Cycle de Vie, un flow-sheet reprenant la catégorie d'impact réchauffement climatique ou changement

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

climatique ainsi qu'un diagramme représentant toutes les catégories d'impacts environnementaux seront interprétées. La catégorie d'impact réchauffement climatique ou changement climatique est celle qui a le plus d'impact environnemental causé par la décarbonatation du gaz.

IV.10. Le logiciel Sima Pro

Le logiciel Sima-Pro **version 9.3** a été utilisé dans l'analyse LCA (Life cycle Impact Analysis). Sima-Pro est un logiciel d'analyse de cycle de vie généraliste permettant d'évaluer les impacts potentiels de tous types d'industries. Il s'agit d'un logiciel néerlandais et il est le leader mondial pour la réalisation d'analyse de cycle de vie. Il se caractérise par une grande base de données regroupant des informations sur des produits très divers. Sa vitesse de calcul est rapide, ce qui est pratique lorsqu'on étudie des processus regroupant plusieurs milliers de constituants.

Ce logiciel permet de réaliser des analyses de cycle de vie avec différents scénarios pour ensuite les comparer et voir lequel semble le plus viable aux niveaux économique et environnemental. Il s'agit donc d'un logiciel complet nécessitant plusieurs mois d'utilisation afin de connaître et de maîtriser toutes les options.

Plus de trente méthodes de calcul sont disponibles à la base des données :

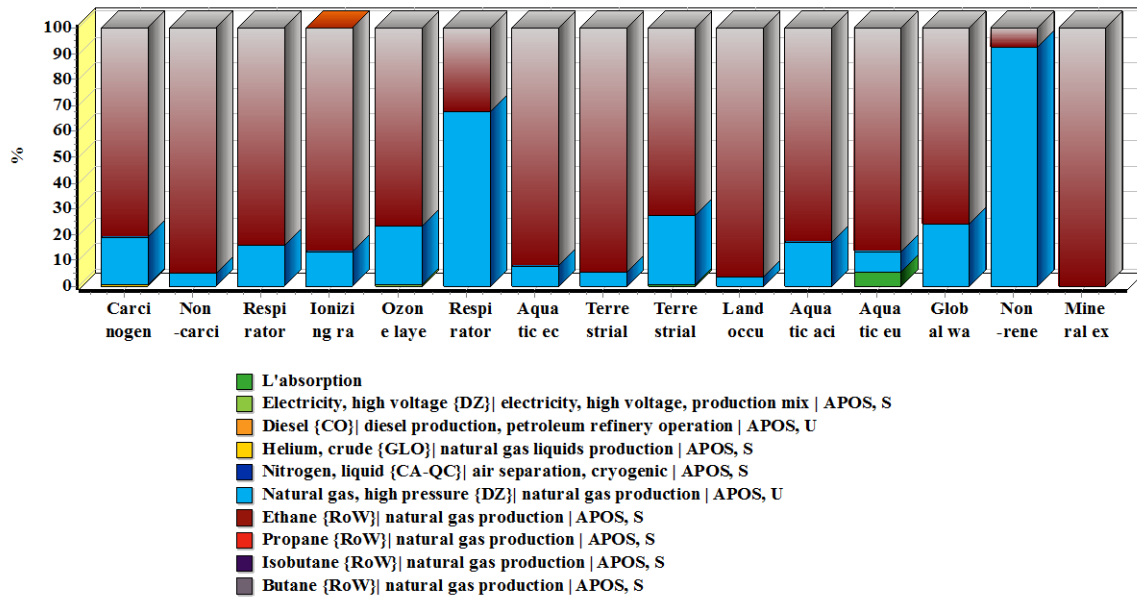
- **IMPACT 2002+**
- **TRACI 2**
- **ReCiPe Endpoint (E)**
- **ReCiPe Midpoint (E)**
- **EPS 2000**
- **CML 2002**
- **Ecological Scarcity 2013**

IV.11. Analyse Cycle de Vie de l'absorption

Suite au recensement des données au niveau de GL1K Skikda et à l'introduction de celles-ci dans le logiciel SIMAPRO, l'analyse du logiciel donne tout d'abord un flow-sheet (**FigureIV.8**) qui représente la répartition des différents flux selon les données encodées, en rapport à l'absorption. D'après ce flow-sheet, reprenant la catégorie d'impact, le gaz naturel représente le flux le plus impactant au niveau de l'absorption avec 76.1%. Le deuxième flux est représenté par CO₂ avec 23.9 %.

Les résultats sont regroupés dans le **tableau IV.12** et illustrés par les **figuresVI.9** et **VI.10**

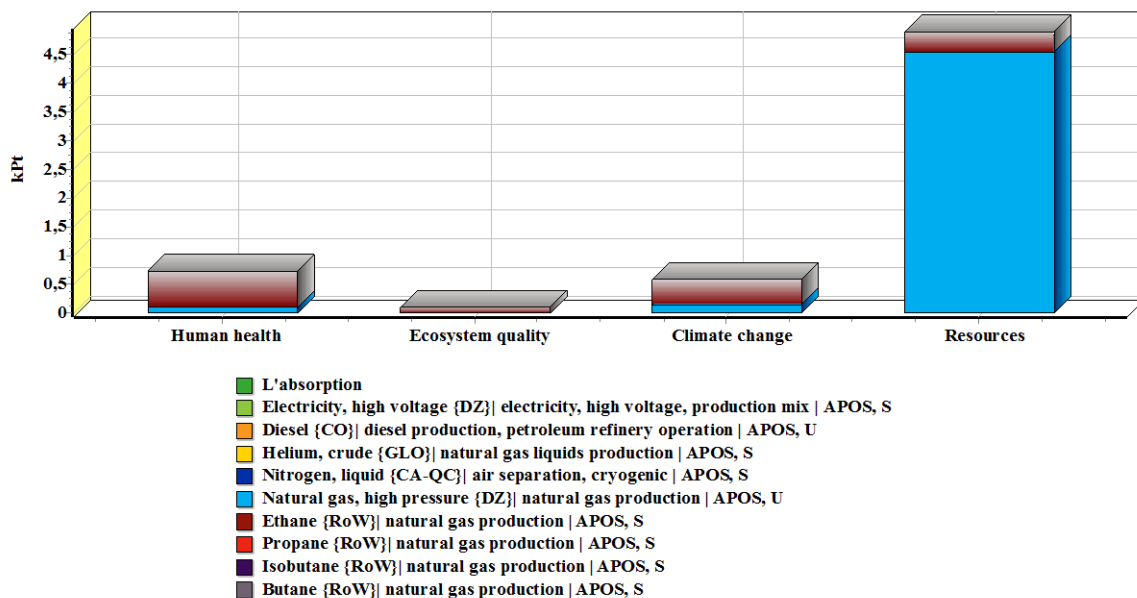
Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie



Analyse de 1E6 kg 'L'absorption', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure / Excl...

Figure IV.9 : Diagramme de caractérisation mid-point de l'absorption (IMPACT 2002+).

D'après le tableau IV.12 et la figures IV.9 qui représente le reprenant toutes les catégories d'impacts environnementaux, le gaz naturel est la cause principale des impacts avec 76.1%, suivi par le CO₂ avec 23.9%.



Analyse de 1E6 kg 'L'absorption', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Pondération / Exclusion des processus d'infrastructure / Excl...

Figure IV.10 : Diagramme de pondération (End-Point) de l'absorption (IMPACT 2002+).

Selon les résultats de l'Analyse Cycle de Vie de l'absorption figure IV.10, les quatre catégories d'impacts les plus touchées sont :

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

- Consommation des ressources (77.73%), dont le gaz naturel est la cause avec 72%, le CO₂ avec 5.73 %.
- La santé humaine (11.41%), dont le CO₂ est la cause avec 9.7 %. le gaz naturel avec 1.71%.
- Écosystème qualité (1.5%), dont le CO₂ est la cause avec 1.5 %.
- changement climatique (9.17%), dont le CO₂ est la cause avec 6.97 %. le gaz naturel avec 2.2%.

IV.11.2. La méthode ReCiPe Endpoint

Le tableau suivant représente Étude de dommage de l'absorption

Tableau IV.13 : Étude de dommage de l'absorption (ReCiPe Endpoint).

| Catégorie de dommage | L'absorption | CO ₂ | Gaz naturel | Diesel | Électricité | Total % |
|-----------------------|--------------|-----------------|-------------|----------|-------------|---------|
| Total | 0.000145 | 25.5 | 74.5 | 0.000276 | 0.0439 | 100 |
| Santé humain % | 0.000136 | 11.5 | 2.8 | 0.000032 | 0.0142 | 14.3 |
| Écosystème % | 0.000009 | 7.9 | 1.67 | 0.000047 | 0.0117 | 9.59 |
| Resource % | - | 6.07 | 70 | 0.000197 | 0.018 | 76.1 |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

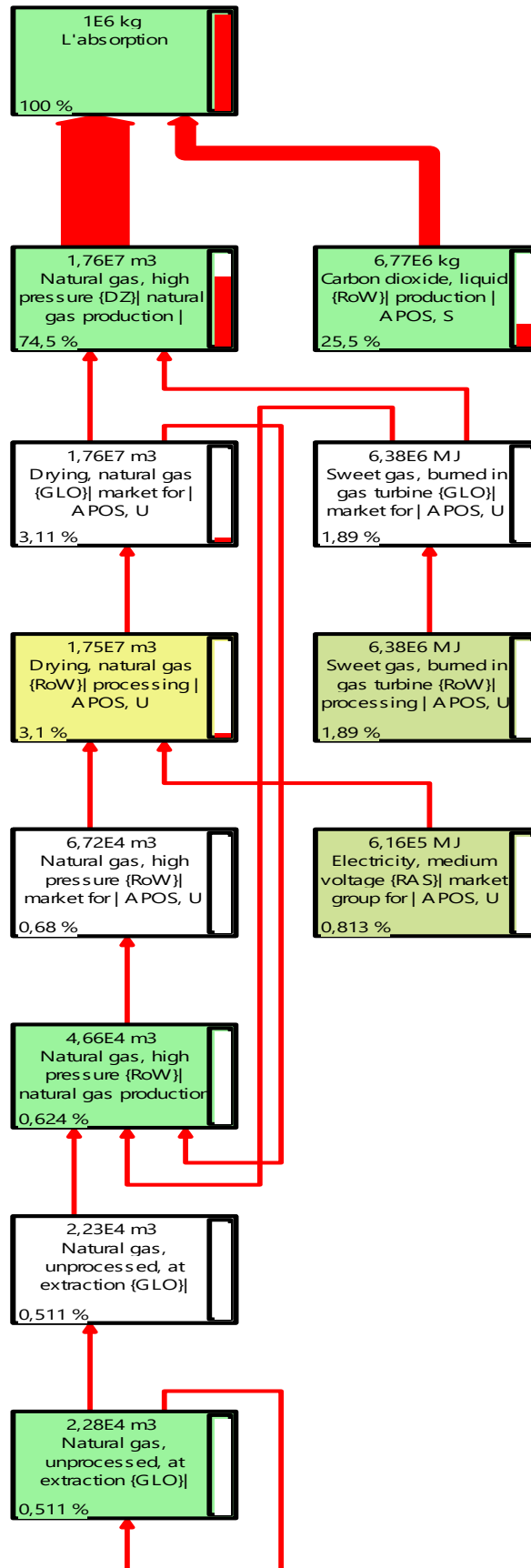
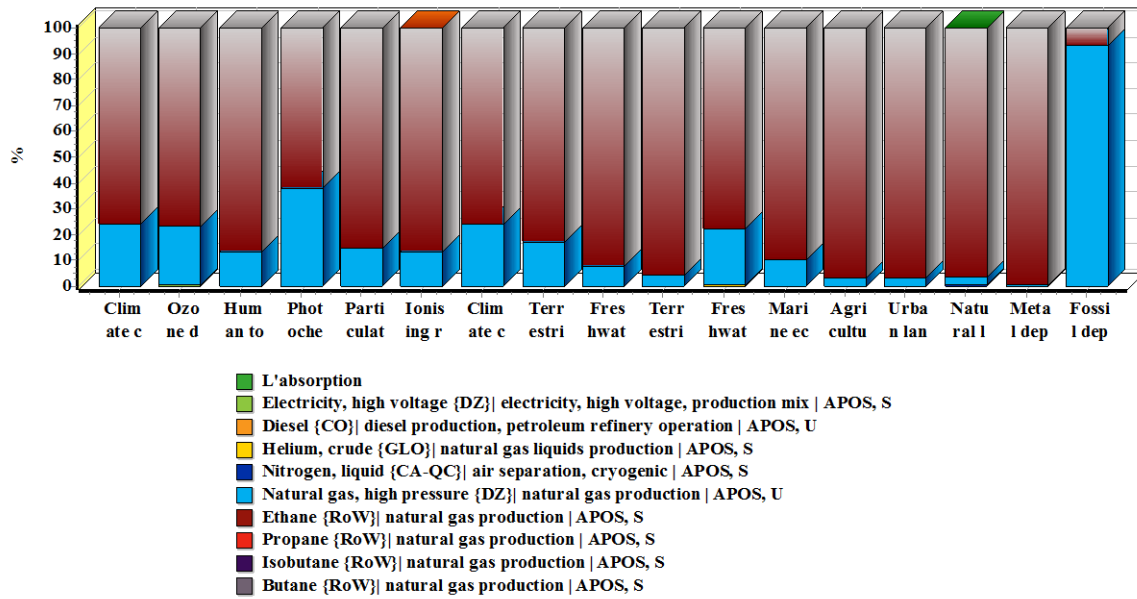


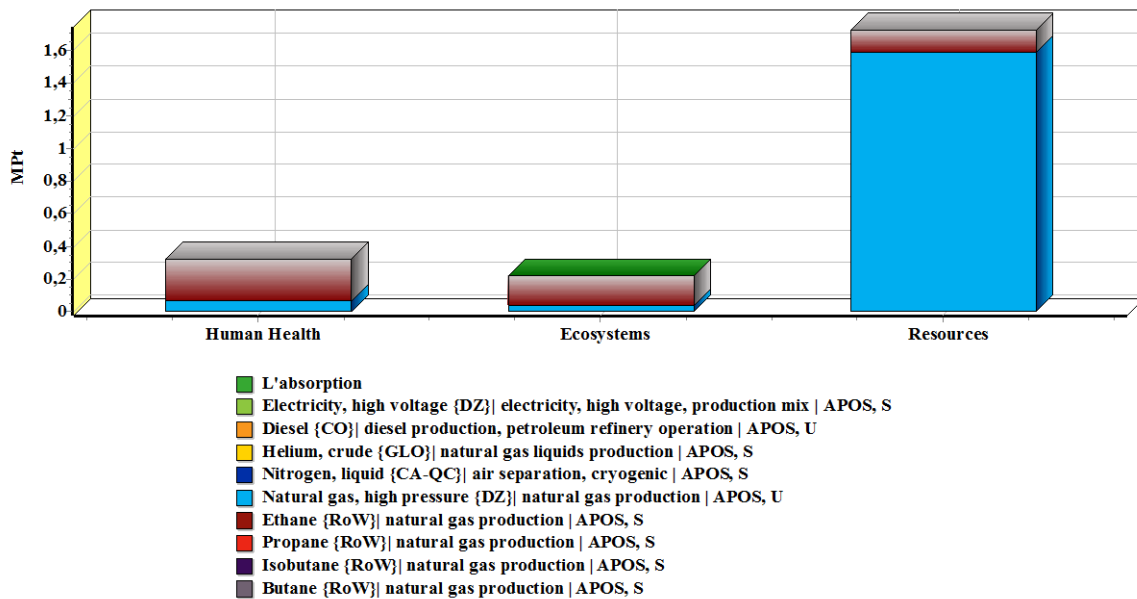
Figure IV.11 : Schéma d'arborescence de l'absorption (ReCiPe).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie



Analyse de 1E6 kg 'L'absorption', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure

Figure IV.12 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de l'absorption (ReCiPe).



Analyse de 1E6 kg 'L'absorption', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Pondération / Exclusion des processus d'infrastructure

Figure IV.13 : Diagramme de pondération (End-Point) de l'absorption (ReCiPe).

D'après le **tableau IV.13** et les **figures IV.12** qui représentent les impacts mid point et end point respectivement on remarque que le gaz naturel est la cause principale des impacts avec 76.1%, suivi par le CO₂ avec 23.9%.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.11.3. La méthode TRACI 2

La figure suivante représente le schéma d'arborescence de l'absorption par la méthode TRACI 2.

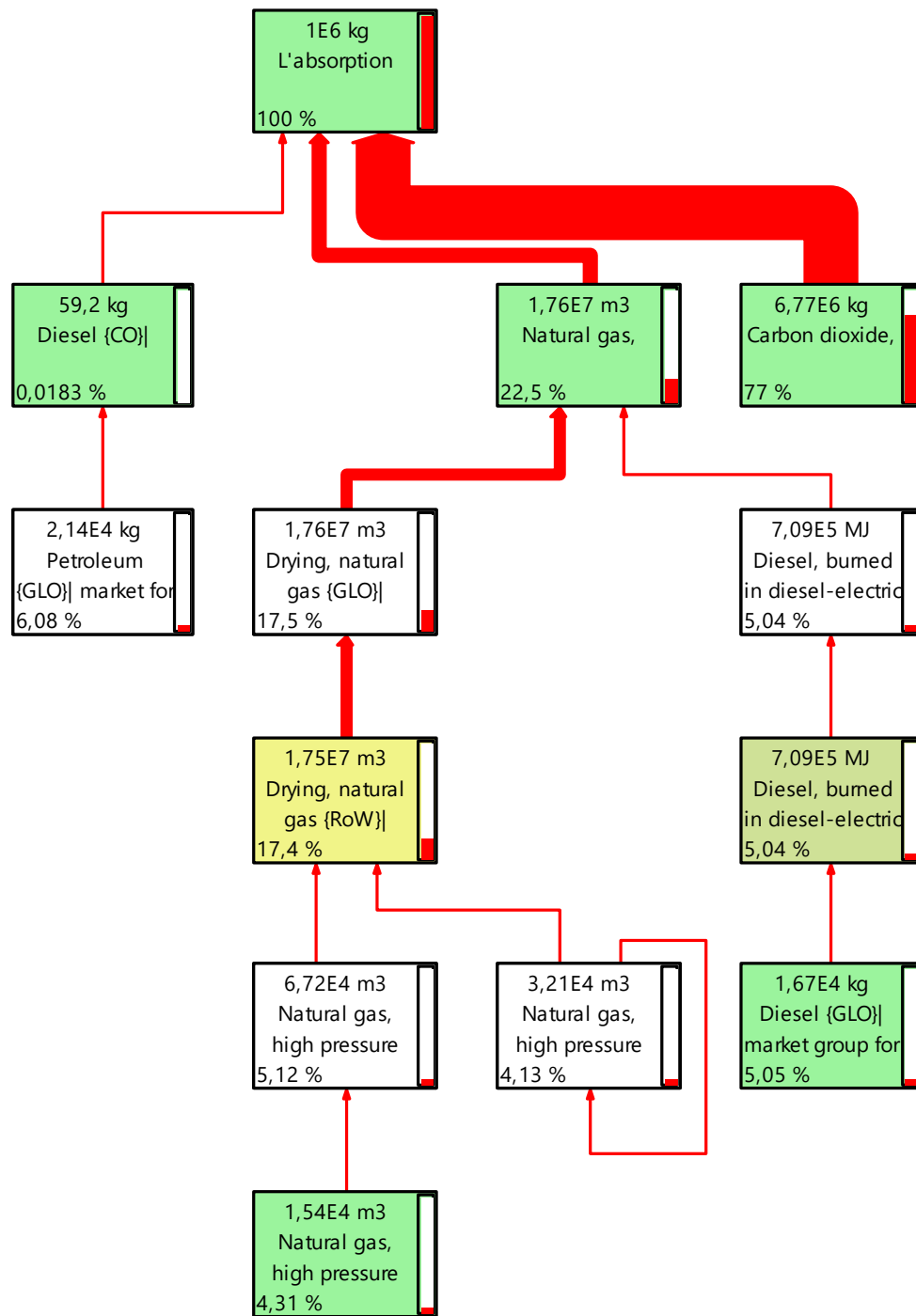


Figure IV.14 : Schéma d'arborescence ACV activité de l'absorption (TRACI 2).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

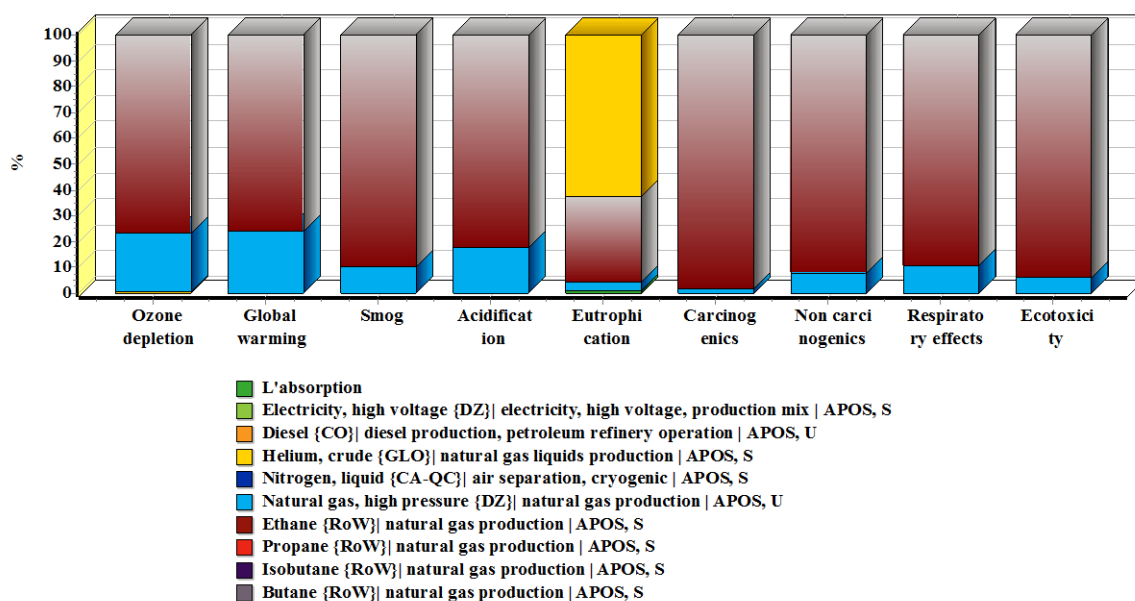


Figure IV.15 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de l'absorption (TRACI 2).

D'après la **figure IV.15** on remarque que le gaz naturel est la cause principale des impacts avec 77%, suivi par le CO₂ avec 22.5%.

IV.11.4. La méthode Eco-indicator 99

Le tableau suivant représente l'étude de dommage de l'absorption.

Tableau IV.14 : Étude de dommage de l'absorption (Eco-indicator 99).

| Catégorie de dommage | L'absorption | CO ₂ | Gaz naturel | Électricité | Total% |
|-----------------------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|--------|
| Total | 0.00582 | 24.9 | 75.1 | 0.024 | 100 |
| Santé humain % | 0.00534 | 19 | 2.21 | 0.00525 | 21.5 |
| Écosystème Qualité % | 0.000484 | 0.663 | 0.0626 | 0.000269 | 0.726 |
| Resource % | - | 5.24 | 72.5 | 0.0185 | 77.8 |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

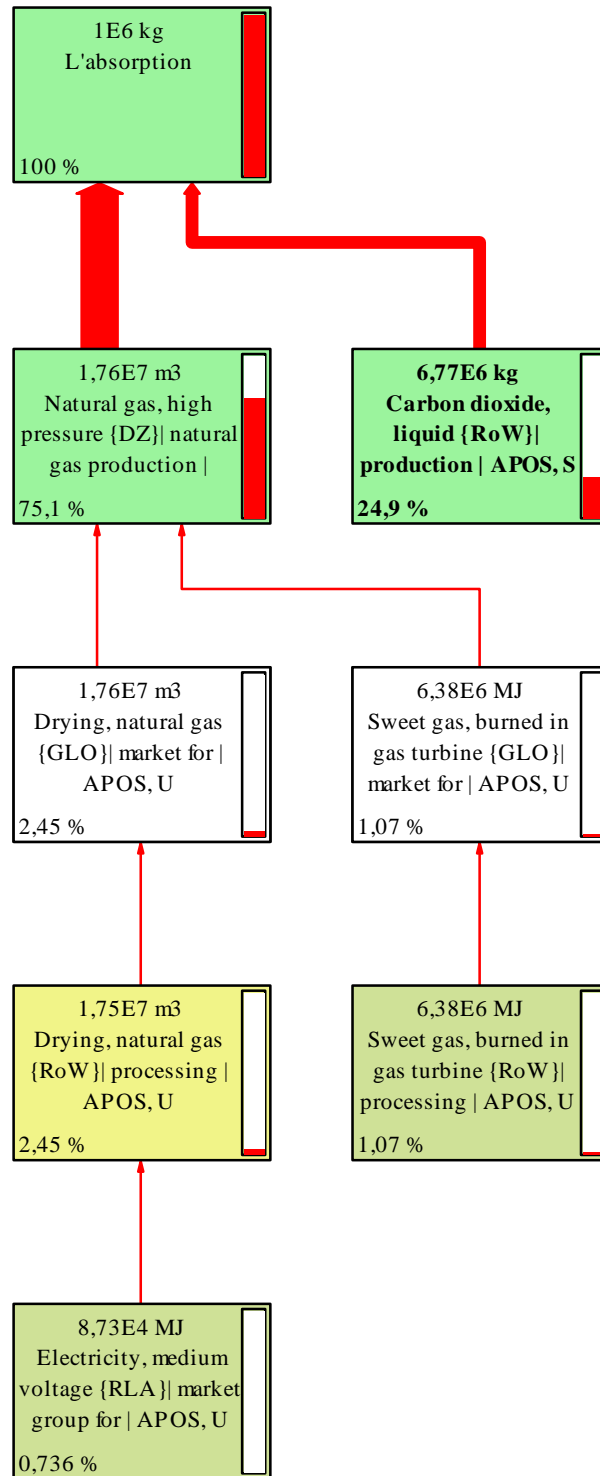
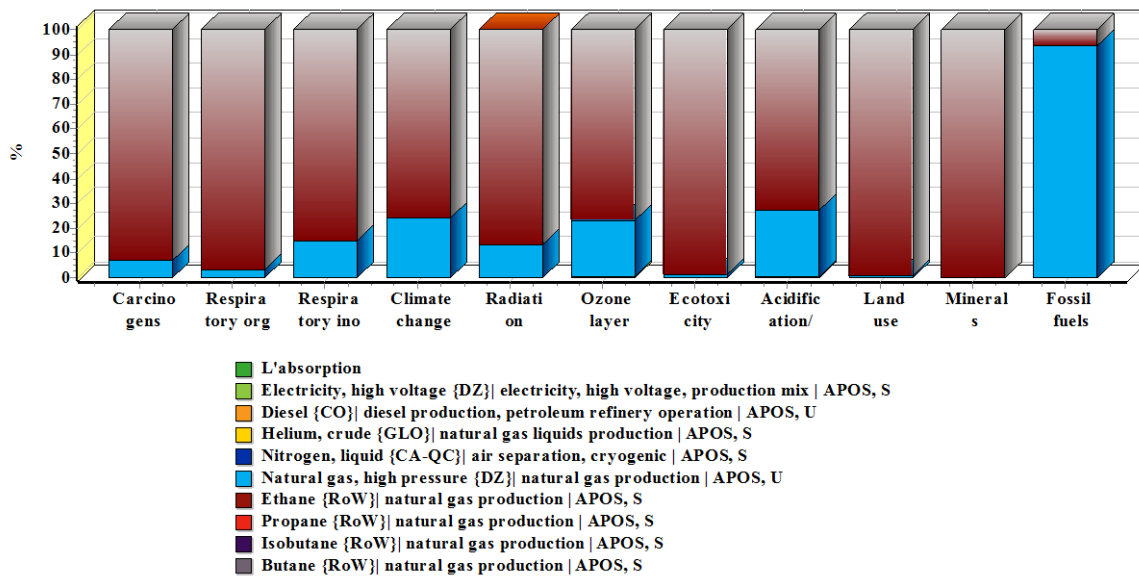


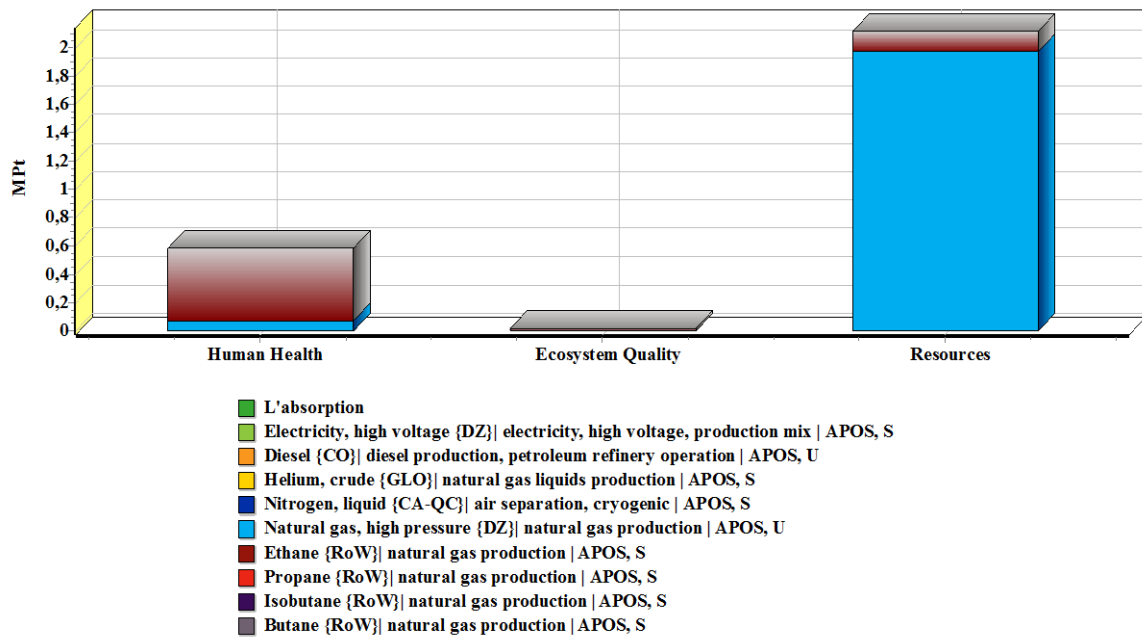
Figure IV.16 : Schéma d'arborescence ACV activité de l'absorption (Eco-indicator 99).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie



Analyse de 1E6 kg 'L'absorption', méthode: Eco-indicator 99 (E) V2.10 / Europe EI 99 E/A / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure / E

Figure IV.17 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de l'absorption (Eco-indicator 99).



Analyse de 1E6 kg 'L'absorption', méthode: Eco-indicator 99 (E) V2.10 / Europe EI 99 E/A / Pondération / Exclusion des processus d'infrastructure / E

Figure IV.18 : Diagramme de pondération (End-Point) de l'absorption (Eco-indicator 99).

D'après la figure IV.18 on remarque que le gaz naturel est la cause principale des impacts avec 75.1%, suivi par le CO₂ avec 24.9%.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.12. Analyse Cycle de Vie du travail de la détente (ballon de flashe)

IV.12.1. La méthode IMPACT 2002+

Suite au recensement des données à l'introduction de celles-ci dans le logiciel simapro, l'analyse du logiciel donne tout d'abord un flow-sheet (**Figure IV.19**) qui représente la répartition des différents flux par rapport à la détente (dépendance de l'absorption).

Le tableau suivant représente l'étude de dommage de la détente.

Tableau IV.15 : Étude de dommage de la détente (IMPACT 2002+).

| Catégorie de dommage | La détente | CO ₂ | Amine | Total (%) |
|----------------------------------|------------|-----------------|-------|-----------|
| Total | 2.48 | 92.2 | 5.36 | 100 |
| Santé humain (%) | 2.32 | 24.3 | 1.69 | 28.3 |
| Ecosystème Qualité (%) | 0.0746 | 4.4 | 1.48 | 6.4 |
| Resource (%) | - | 32.3 | 1.15 | 33.4 |
| Changement climatique (%) | 0.0823 | 30.7 | 1.04 | 31.8 |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

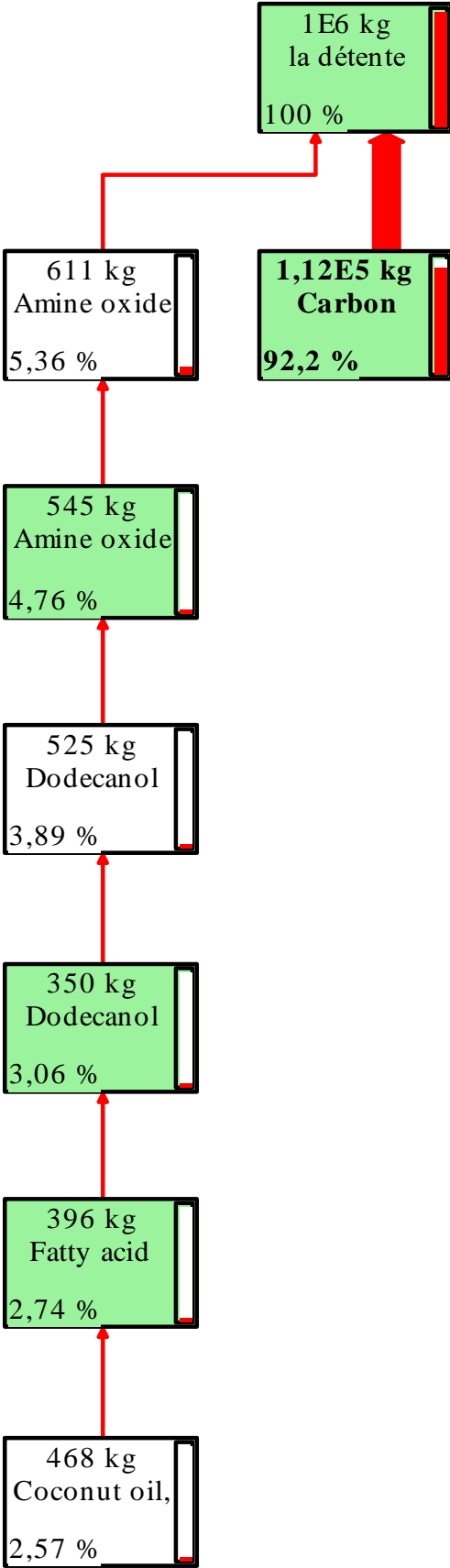
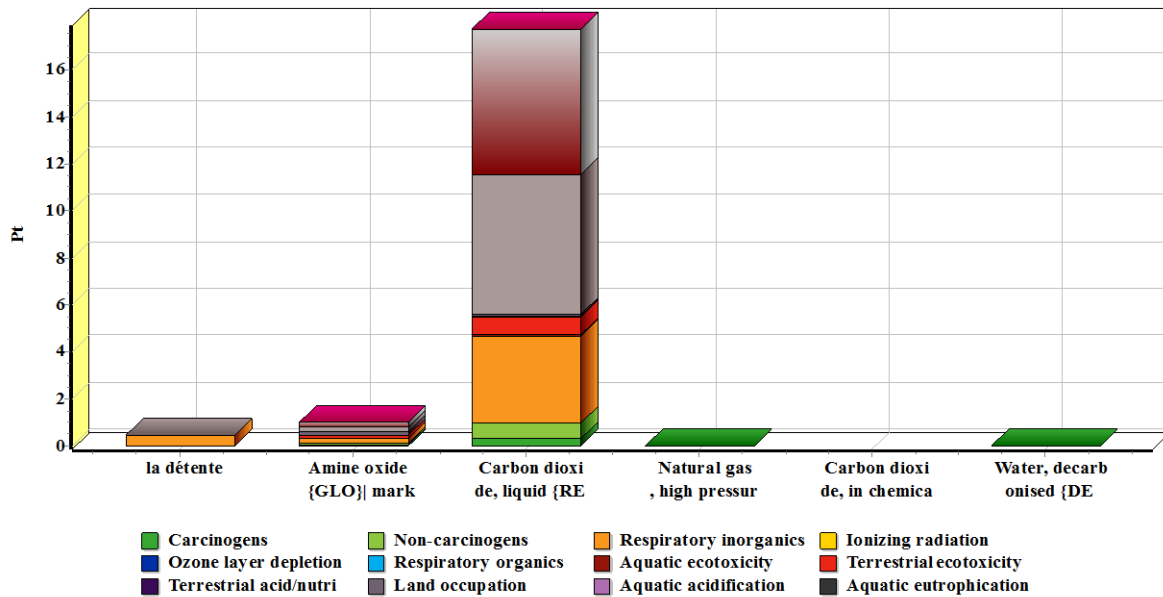


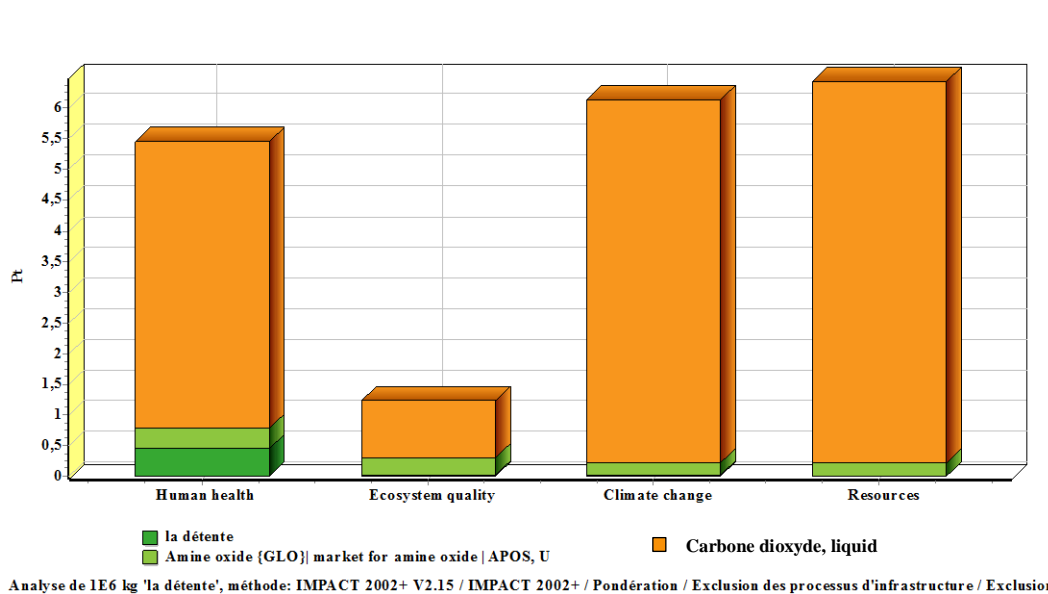
Figure IV.19 : Schéma d'arborescence de la détente (IMPACT 2002+).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie



Analyse de 1E6 kg 'la détente', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Score unique / Exclusion des processus d'infrastructure / Exclu

Figure IV.20 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la détente (IMPACT 2002+).



Analyse de 1E6 kg 'la détente', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Pondération / Exclusion des processus d'infrastructure / Exclusion

Figure IV.21 : Diagramme pondération (End-Point) de la détente (IMPACT 2002+).

D'après les diagrammes représentés par la **Figure IV.20** et reprenant toutes les catégories d'impacts environnementaux qui sont en relation avec les besoins de l'unité en ce qui concerne gaz naturel électricité afin d'effectuer le travail du ballon de flash la détente, l'utilisation la consommation du CO₂ est la cause principale des impacts avec 92.2% et engendre ecotoxicité aquatique et acidification ainsi que d'autres impacts, suivi par l'oxide d'Amine avec 2.36%, puis en troisième position la détente 8.48%.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

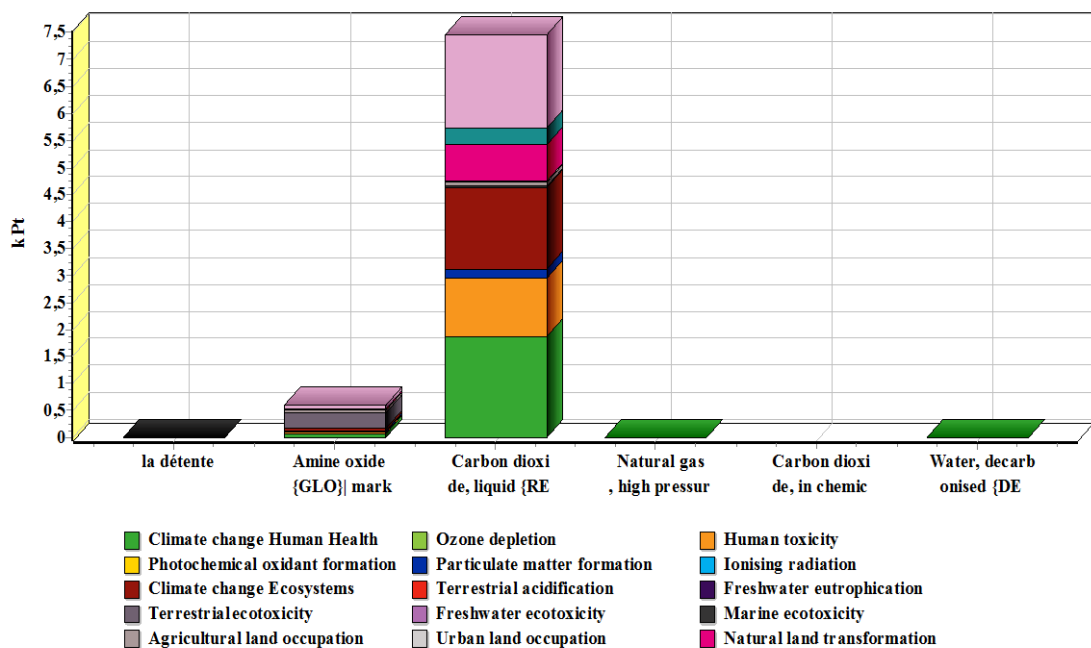
On remarque aussi d'après la **figure IV.21** qui représente le diagramme pondération de la détente que c'est le dioxyde de carbone qui a plus d'impact sur la santé humaine, la qualité de l'écosystème le changement climatique et la consommation des ressources.

IV.12.2. La méthode ReCiPe Endpoint

Le tableau suivant représente l'étude de dommage de la détente.

Tableau IV.16 : Étude de dommage de la détente (ReCiPe).

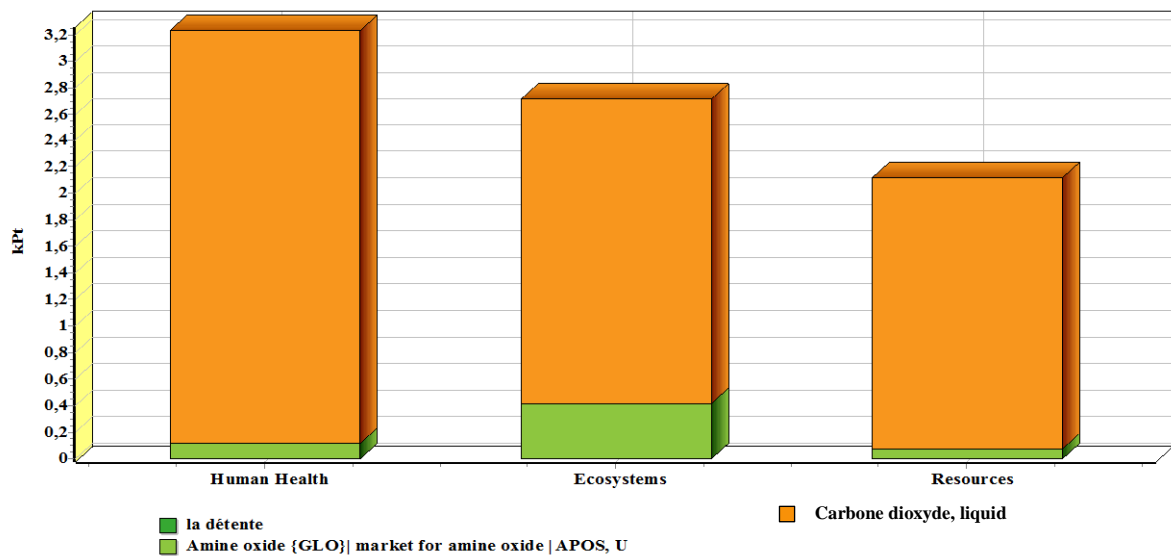
| Catégories de dommages | La détente | CO ₂ | Amine | Total (%) |
|-------------------------------|------------|-----------------|-------|-----------|
| Total | 0.0407 | 92.5 | 7.46 | 100 |
| Santé humain (%) | 0.0383 | 38.7 | 1.36 | 40.1 |
| Ecosystème qualité (%) | 0.00243 | 28.5 | 5.15 | 33.7 |
| Resource (%) | - | 25.3 | 0.951 | 26.3 |



Analyse de 1E6 kg 'la détente', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Score unique / Exclusion des processus d'infrastructure / E

Figure IV.22 : Diagramme de score unique (Mid-Point) de la détente (ReCiPe).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie



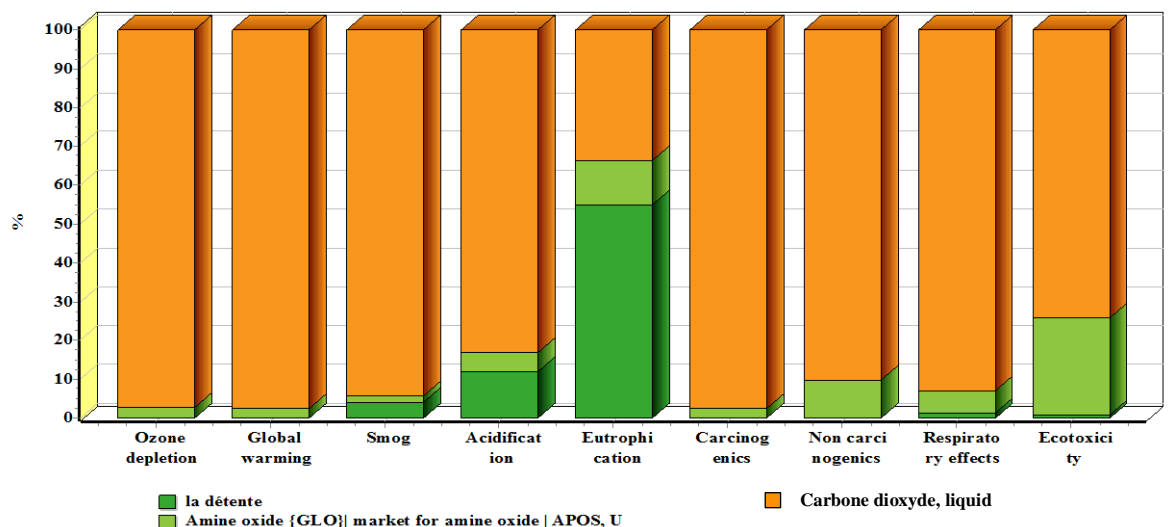
Analyse de 1E6 kg 'la détente', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Pondération / Exclusion des processus d'infrastructure / Ex

Figure IV.23 : Diagramme pondération (End-Point) de la détente (ReCiPe).

D'après les diagrammes représentés par le **Figure IV.23** on remarque que le dioxyde de carbone engendre un impact environnemental considérable avec 92,5 % et des impacts mid point comme le réchauffement climatique, l'écotoxicité de l'eau la détérioration de la couche d'ozone ainsi que des impacts sur la santé humaine suivi par l'amine avec 7.46%.

IV.12.3. La méthode TRACI 2

La figure suivante représente le diagramme de caractérisation mid-point de la détente effectuée par la méthode TRACI 2.



Analyse de 1E6 kg 'la détente', méthode: TRACI 2 V4.01 / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure / Exclusion des émissions à long t

Figure IV.24 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la détente (TRACI 2).

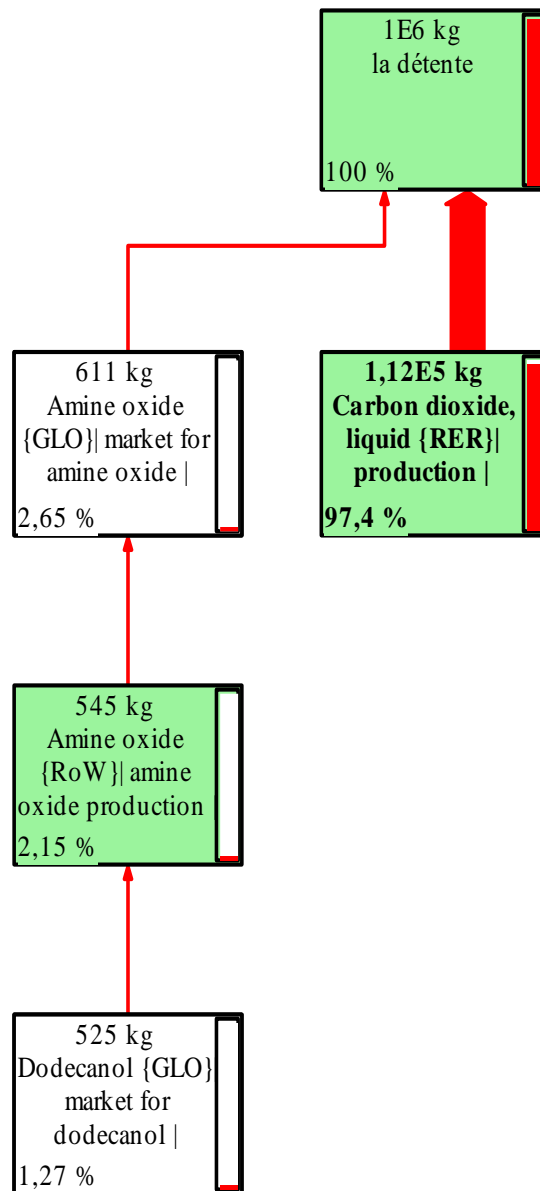


Figure IV.25 : Schéma d'arborescence de la détente (TRACI 2).

D'après les diagrammes représentés par les **Figures IV.24** et **Figure IV.25** on remarque que le dioxyde de carbone engendre un impact environnemental considérable avec 97,4 % suivi par l'oxyde d'amine avec 2.65%.

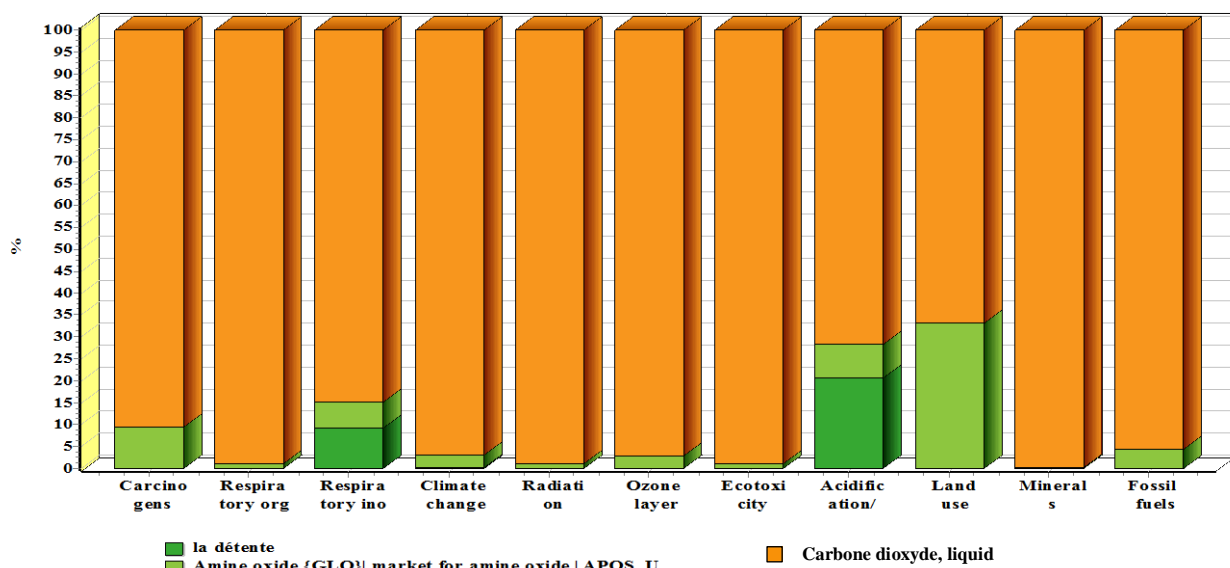
IV.12.4. La méthode Eco-indicator 99

Le tableau suivant représente Étude de dommage de la détente.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

Tableau IV.17 : Étude de dommage de la détente (Eco-indicator 99).

| Catégories de dommages | La détente | CO ₂ | Amine | Total (%) |
|-------------------------------|------------|-----------------|-------|-----------|
| Total | 2.69 | 91.7 | 5.6 | 100 |
| Santé humain (%) | 2.46 | 50.7 | 3.45 | 56.6 |
| Ecosystème qualité (%) | 0.223 | 4.99 | 0.637 | 5.85 |
| Resource (%) | - | 36.1 | 1.51 | 37.6 |



Analyse de 1E6 kg 'la détente', méthode: Eco-indicator 99 (E) V2.10 / Europe EI 99 E/A / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure / E

Figure IV.26 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la détente (Eco-indicator 99).

D'après le **tableau IV.17** les diagrammes représentés par le **Figure IV.26** on remarque que le dioxyde de carbone engendre un impact environnemental considérable avec 91.7 % suivi par l'oxyde d'amine avec 5.6%.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

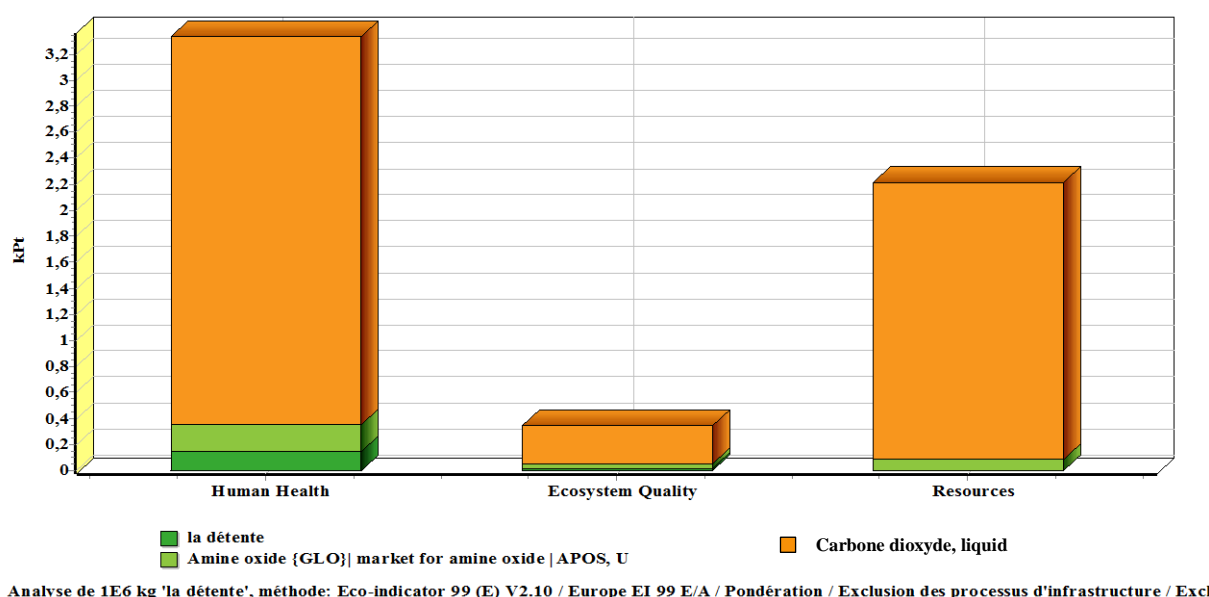


Figure IV.27 : Diagramme pondération End-Point de la détente (Eco-indicator 99).

On remarque aussi d'après la **figure IV.27** que le plus grand impact est considéré pour la catégorie santé humaine suivi par les ressource et enfin l'écosystème

IV.13. Analyse Cycle de Vie du travail de la régénération

IV.13.1. La méthode IMPACT 2002+

Suite au recensement des données l'introduction de celles-ci dans le logiciel SimaPro, l'analyse du logiciel donne tout d'abord un flow-sheet (**Figure VI.27**) qui représente la répartition des différents flux par rapport à la régénération.

Le tableau suivant représente Étude de dommage de la régénération.

Tableau IV.18 : Étude de dommage de la régénération (IMPACT 2002+).

| Catégorie de dommage | Le régénération | Amine | Eau | Total (%) |
|----------------------------------|-----------------|-------|----------|-----------|
| Total | 70.2 | 29.8 | 0.0119 | 100 |
| Santé humain (%) | 65.7 | 9.92 | 0.000802 | 75.7 |
| Ecosystème qualité (%) | 2.11 | 7.89 | 0.00109 | 10 |
| Resource (%) | - | 6.27 | 0.0061 | 6.27 |
| Changement climatique (%) | 2.3 | 5.74 | 0.00394 | 8.07 |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

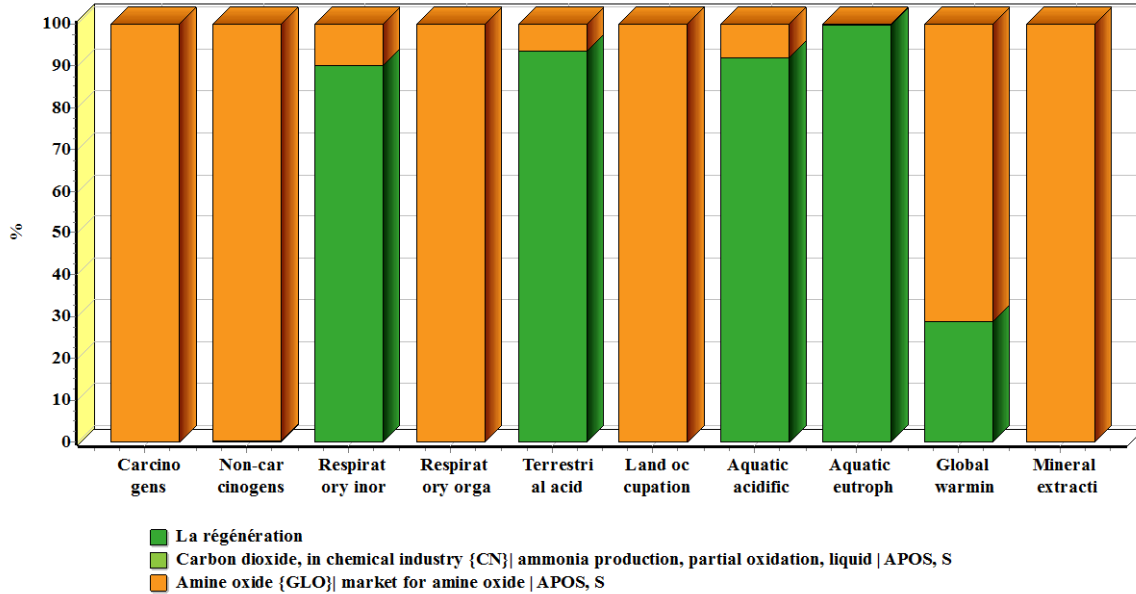


Figure IV.28 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la régénération (IMPACT 2002+).
Analyse de 1E6 kg 'La régénération', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure / Ex

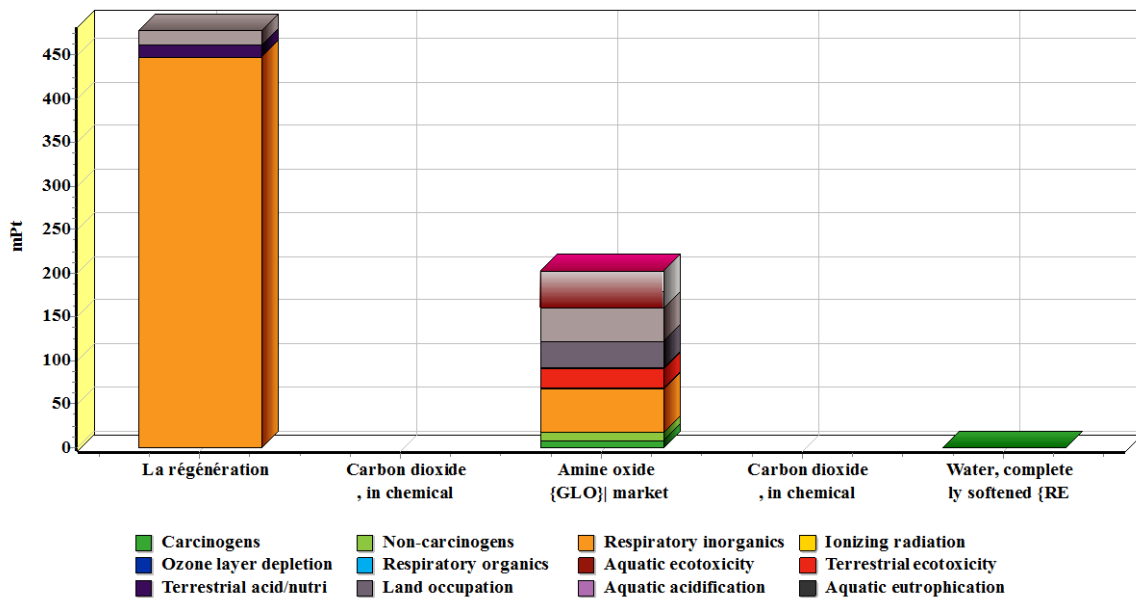
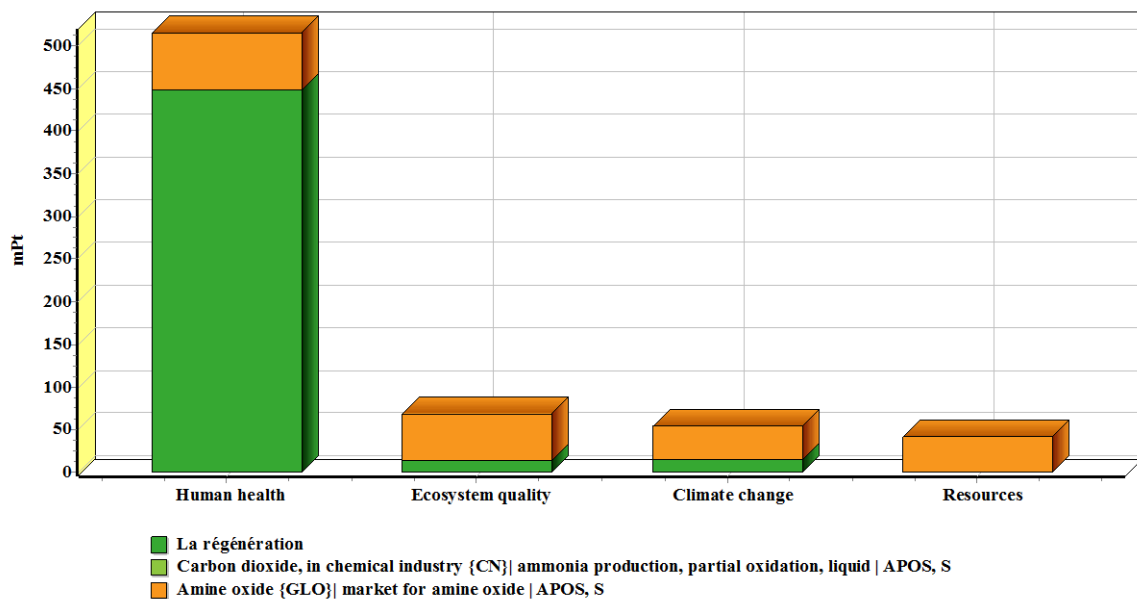


Figure IV.29 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la régénération (IMPACT 2002+).
Analyse de 1E6 kg 'La régénération', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Score unique / Exclusion des processus d'infrastructure / Excl

D'après les diagrammes représentés par les Figures IV.28 et Figure IV.29 et reprenant toutes les catégories d'impacts environnementaux on remarque que c'est l'oxyde

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

d'amine qui génère plus d'impacts comme concerigene respiratoire ainsi que la plus grande valeur pour le score unique est enregistrée pour la régénération.



Analyse de 1E6 kg 'La régénération', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Pondération / Exclusion des processus d'infrastructure / Excl

Figure IV.30 : Diagramme pondération (End-Point) de régénération (IMPACT 2002+).

Selon les résultats de l'Analyse Cycle de Vie de la régénération (Tableau IV.18) et la (Figure IV.30), les quatre catégories d'impacts les plus touchées sont :

- Consommation des ressources (6.27%), dont l'Amine est la cause avec 6.27%.
- La santé humaine (75.62%), dont l'Amine est la cause avec 9.92%, et la régénération pour 65.7%, et l'eau pour 0.000802%.
- Ecosystème qualité (10%), dont l'Amine est la cause avec 7.89%. et la régénération pour 2.11%.
- Changement climatique (8.04%), dont l'Amine est la cause avec 5.74%. et la régénération pour 2.3%.

IV.13.2. La méthode ReCiPe Endpoint

Le tableau suivant représente l'étude de dommage de la régénération.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

Tableau IV.19 : Étude de dommage de la régénération (ReCiPe Endpoint).

| Catégorie de dommage | La régénération | Eau | Amine | Total (%) |
|-------------------------------|-----------------|---------|-------|-----------|
| Total | 2.71 | 0.012 | 97.3 | 100 |
| Santé humaine (%) | 2.55 | 0.00498 | 19.7 | 22.3 |
| Ecosystème qualité (%) | 0.162 | 0.00152 | 64.5 | 64.6 |
| Resource (%) | - | 0.00551 | 13.1 | 13.1 |

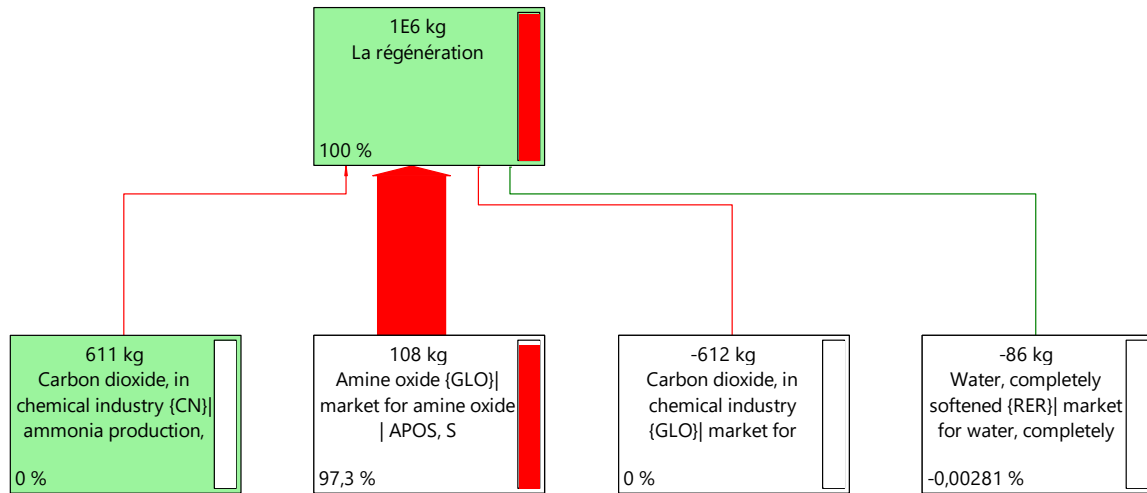
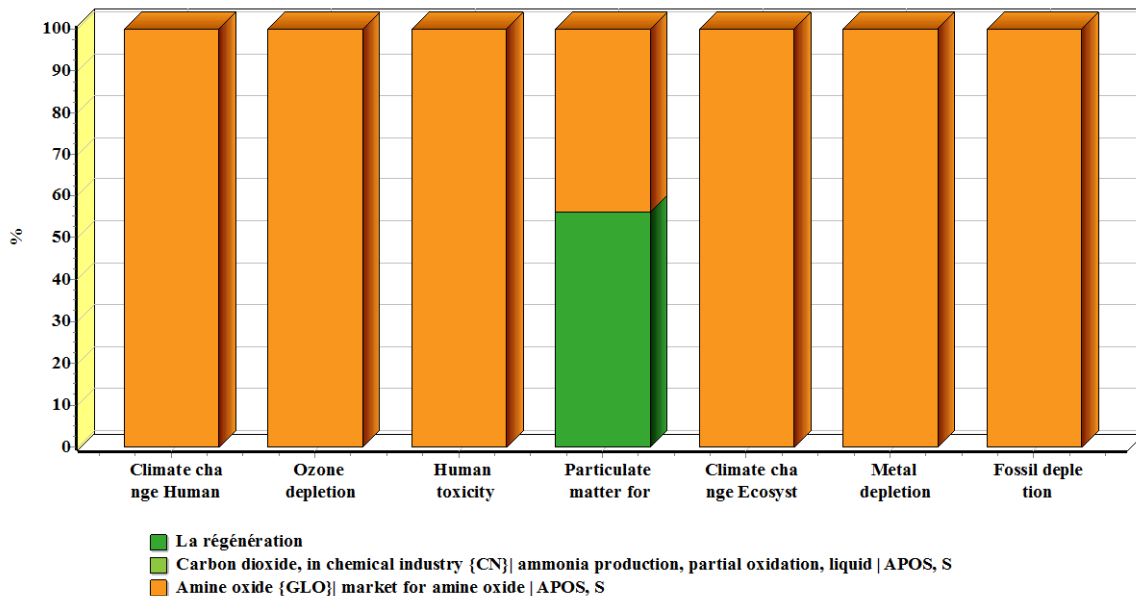


Figure IV.31 : Schéma d'arborescence la régénération (ReCiPe Endpoint).



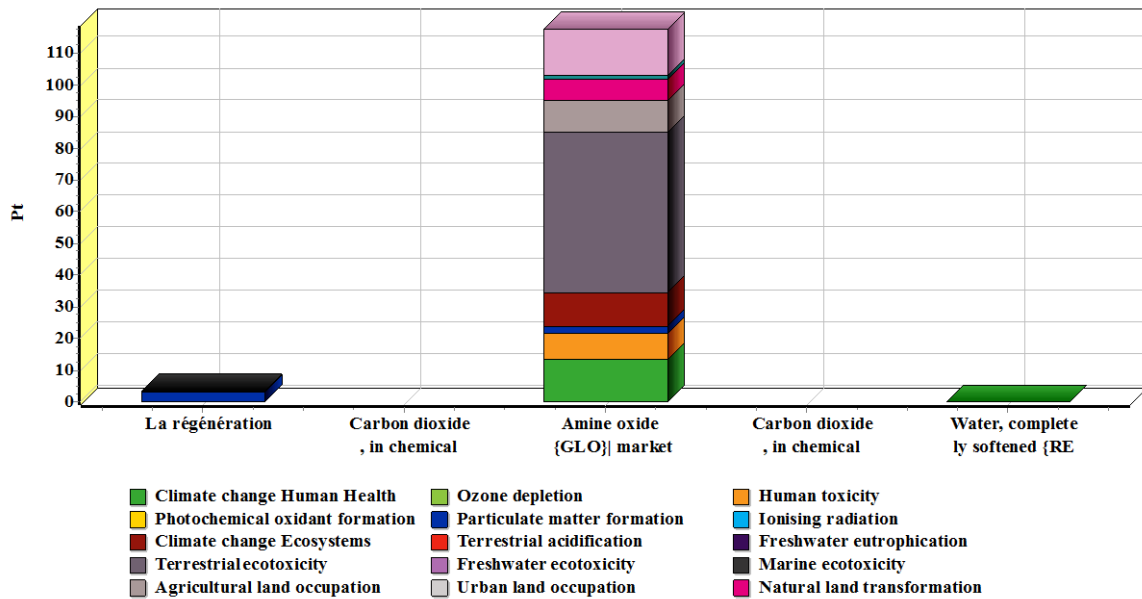
Analyse de 1E6 kg 'La régénération', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastr

Figure IV.32 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la régénération (ReCiPe Endpoint).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

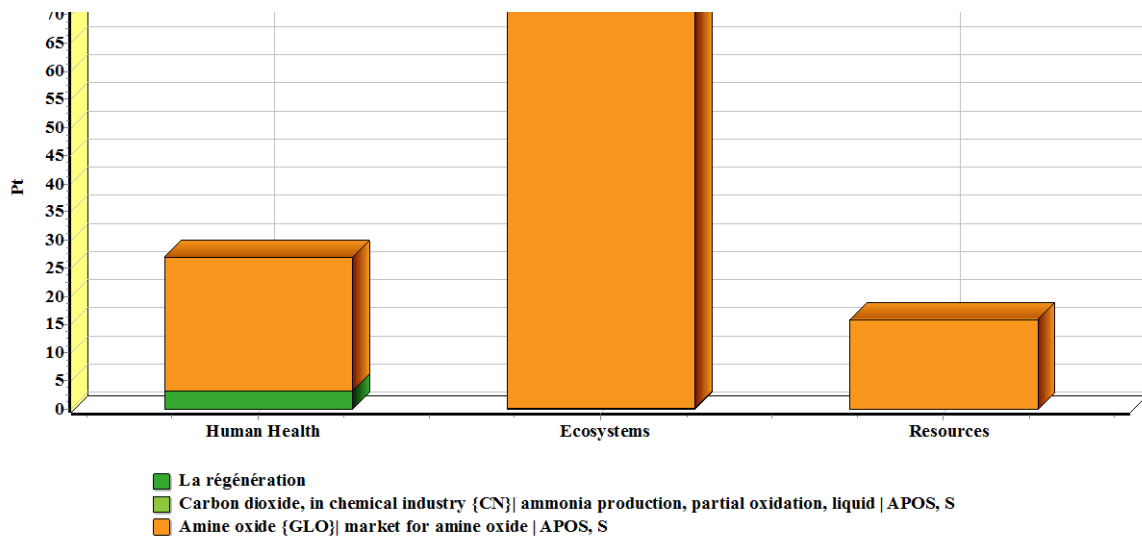
D'après le **tableau IV.19** les diagrammes représentés par les **Figures IV.31** et **Figure IV.32** on remarque que l'oxyde de d'amine engendre un impact environnemental considérable avec 97.3 %.

On remarque aussi d'après la **figure IV.34** que le plus grand impact est considéré pour la catégorie écosystème suivi par la santé humaine et enfin les ressources.



Analyse de 1E6 kg 'La régénération', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Score unique / Exclusion des processus d'infrastruct

Figure IV.33 : Diagramme score unique ACV (Mid-Point) de l'activité de la régénération (ReCiPe Endpoint).



Analyse de 1E6 kg 'La régénération', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Pondération / Exclusion des processus d'infrastruct

Figure IV.34 : Diagramme pondération- ACV (End-Point) – l'activité de régénération (ReCiPe Endpoint).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.13.3. La méthode TRACI 2

La figure suivante représente le schéma d'arborescence de la détente effectuée par la méthode TRACI 2.

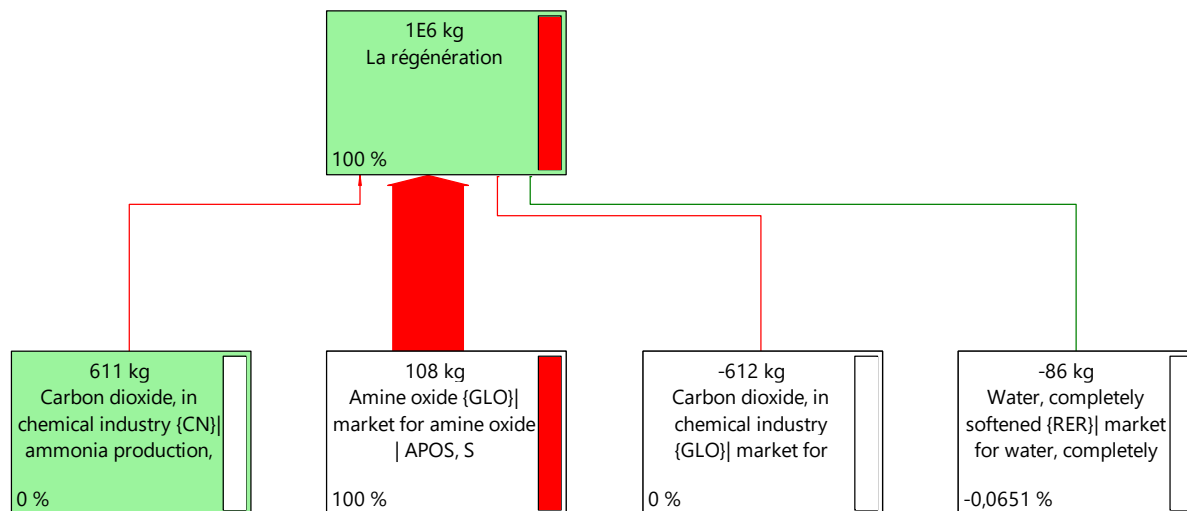
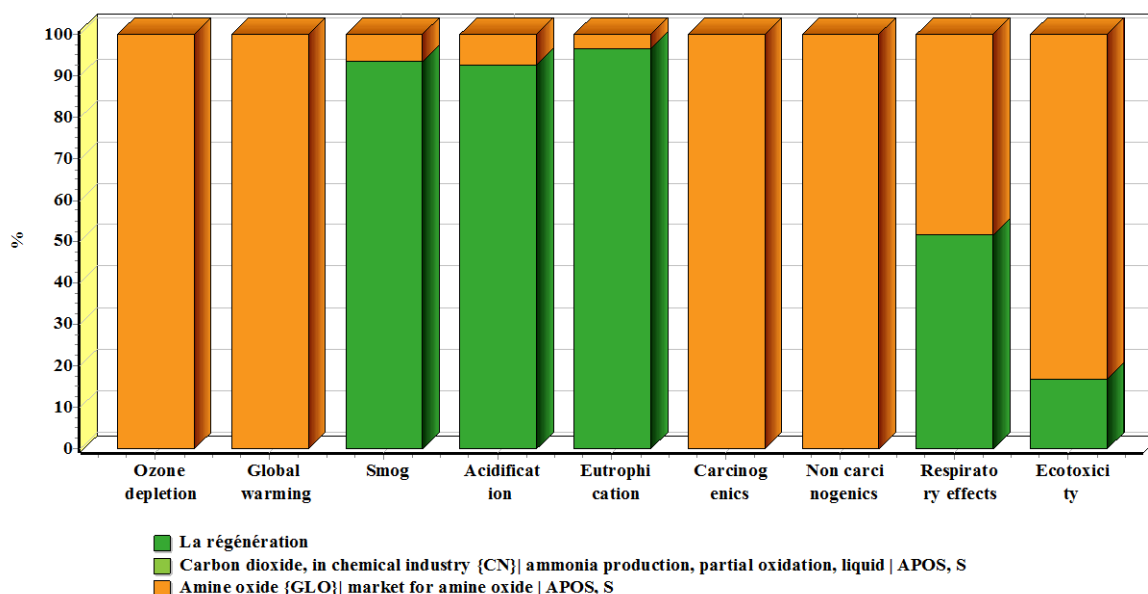


Figure IV. 35 : Schéma d'arborescence la régénération (TRACI 2).



Analyse de 1E6 kg 'La régénération', méthode: TRACI 2 V4.01 / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure / Exclusion des émissions à l'air

Figure IV.36 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de la régénération (TRACI 2).

D'après la Figures IV.36 et on constate que l'oxyde de d'amine engendre un impact environnemental considérable et majoritaire avec 100 %.

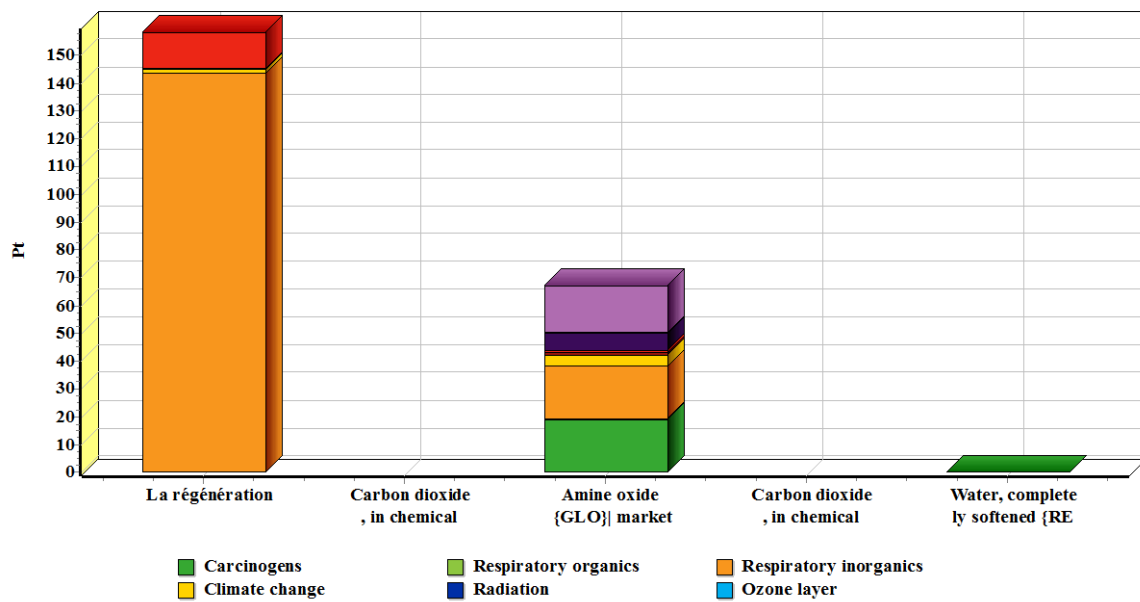
IV.13.4. La méthode Eco-indicator 99

Le tableau suivant représente Étude de dommage de la régénération.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

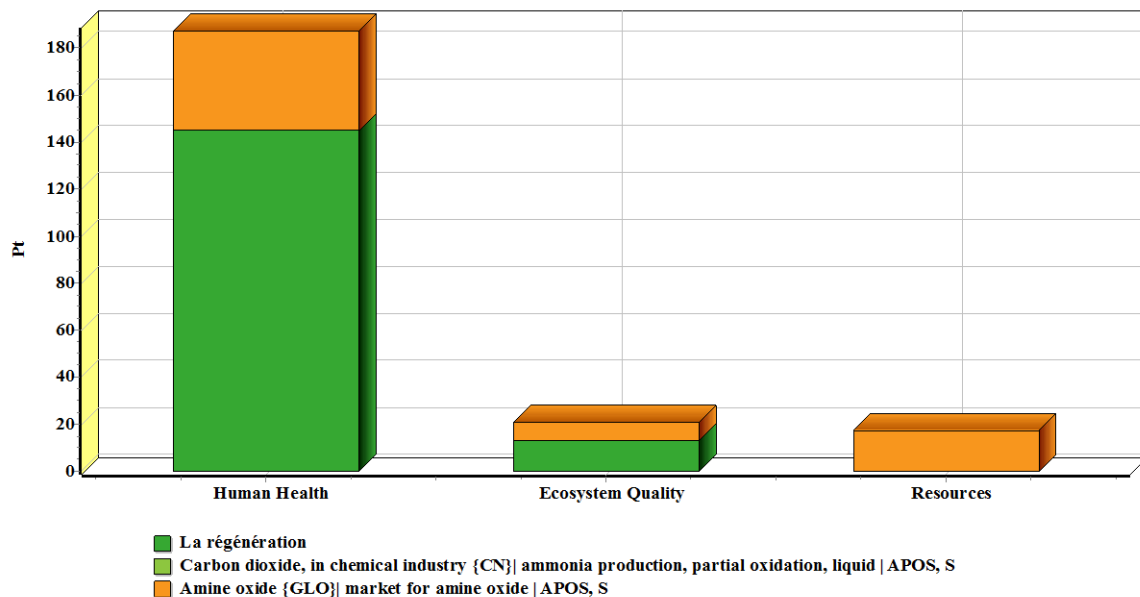
Tableau IV.20 : Étude de dommage de la régénération (Eco-indicator 99).

| Catégorie de dommage | La régénération | Amine | Total (%) |
|-------------------------------|-----------------|-------|-----------|
| Total | 70.2 | 28.9 | 100 |
| Santé humaine (%) | 64.4 | 18.7 | 83 |
| Ecosystème qualité (%) | 5.83 | 3.39 | 9.23 |
| Resource (%) | - | 7.73 | 7.23 |



Analyse de 1E6 kg 'La régénération', méthode: Eco-indicator 99 (E) V2.10 / Europe EI 99 E/A / Score unique / Exclusion des processus d'infrastructure

Figure IV.37 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la régénération (Eco-indicator 99).



Analyse de 1E6 kg 'La régénération', méthode: Eco-indicator 99 (E) V2.10 / Europe EI 99 E/A / Pondération / Exclusion des processus d'infrastructure

Figure IV.38 : Diagramme pondération (End-Point) de régénération (Eco-indicator 99).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

D'après le **tableau IV.20** les diagrammes représentés par les **Figures IV.37** et **Figure IV.38** on remarque que la régénération engendre un impact environnemental considérable avec 70.2 % suivie par l'amine avec 28.9 .On remarque aussi d'après la **figure IV.38** que le plus grand impact est considéré pour la catégorie santé humaine.

IV. 14. Analyse Cycle de Vie du travail du reflux

IV. 14.1. La Méthode IMPACT 2002+

Suite au recensement des données (**Tableau IV.21**) l'introduction de celles-ci dans le logiciel SIMAPRO, l'analyse du logiciel donne tout d'abord un flow-sheet (**figure IV.39**) qui représente la répartition des différents flux par rapport au reflux.

Le tableau suivant représente Étude de dommage du reflux.

Tableau IV.21 : Étude de dommage du reflux (IMPACT 2002+).

| Catégorie de dommage | Le reflux | CO ₂ | Electricité | Diesel | Total (%) |
|----------------------------------|-----------|-----------------|-------------|----------|-----------|
| Total | 14.6 | 54.8 | 30.6 | 0.0202 | 100 |
| Santé humaine (%) | 13.7 | 14.5 | 2.25 | 0.00271 | 30.4 |
| Ecosystème qualité (%) | 0.439 | 2.91 | 0.393 | 0.000782 | 3.75 |
| Resource (%) | - | 19.1 | 15.8 | 0.0151 | 35 |
| Changement climatique (%) | 0.484 | 18.2 | 12.1 | 0.00159 | 30.8 |

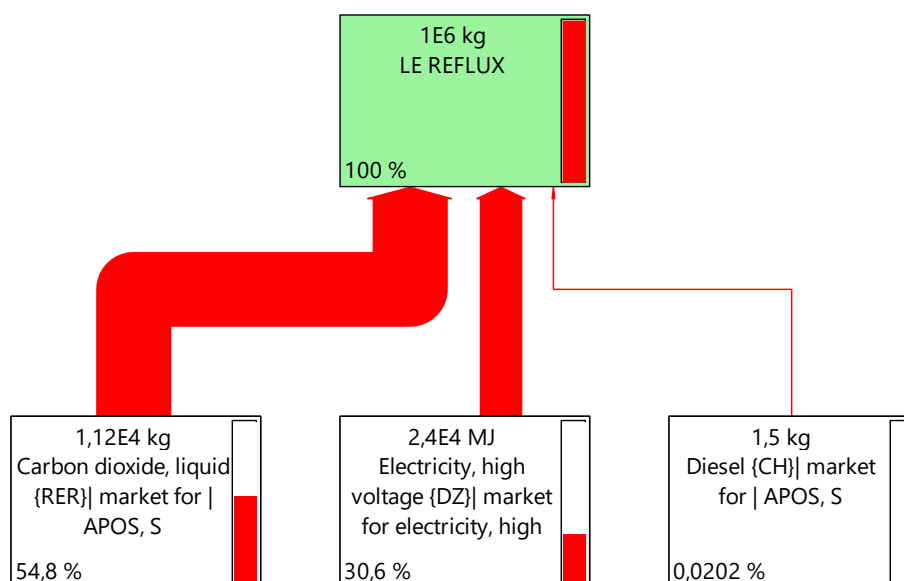
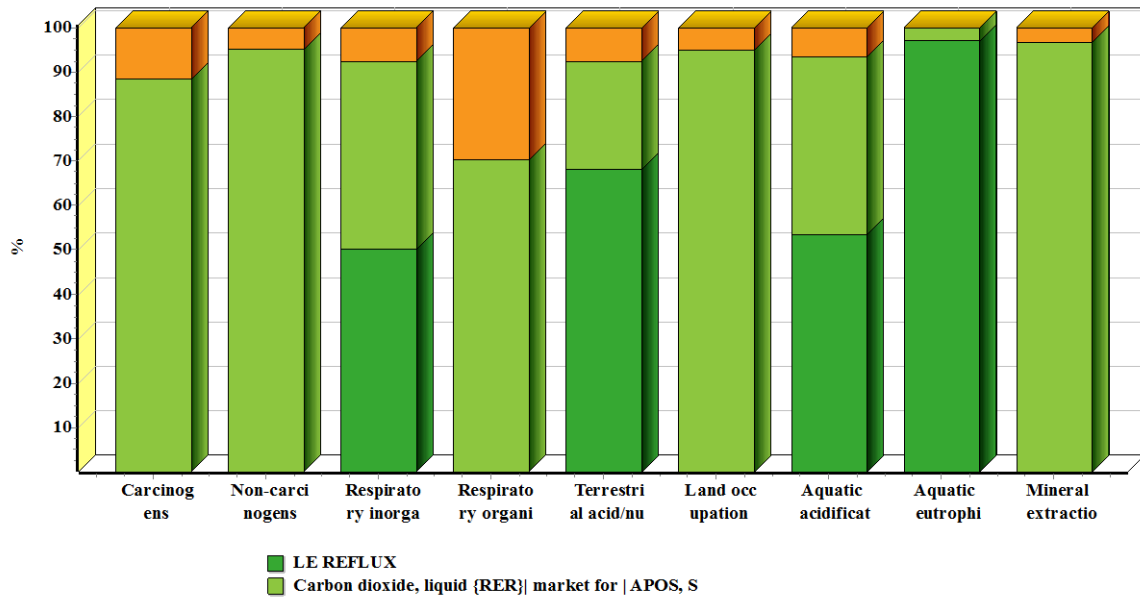


Figure IV.39 : Schéma d'arborescence la Reflux (IMPACT 2002+).

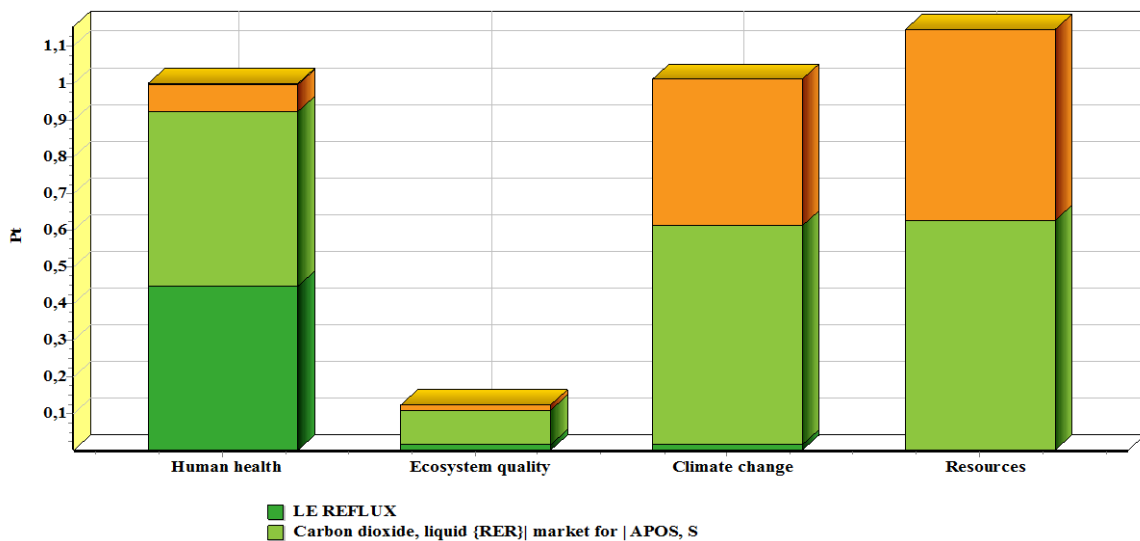
Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie



Analyse de 1E6 kg 'LE REFLUX', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure / Excl

Figure IV.40 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) du reflux (IMPACT 2002+).

D'après les diagrammes suivants représentés par les figures IV. 39 et IV. 40 reprenant toutes les catégories d'impacts environnementaux, CO₂ est la cause principale des impacts avec 54.8%, suivi par L'électricité avec 30.6%, puis en troisième position le reflux avec 14.6%, et le diesel avec 0.0202%.



Analyse de 1E6 kg 'LE REFLUX', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Pondération / Exclusion des processus d'infrastructure / Excl

Figure IV.41 : Diagramme de pondération (End-Point) du reflux (IMPACT 2002+).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

Selon les résultats de l'Analyse Cycle de Vie de la carrière (**TableauIV.21**) et la **Figure IV.41**, les quatre catégories d'impacts les plus touchées sont :

- Consommation des ressources (35 %), dont CO₂ est la cause principale avec 19.1%, l'électricité avec 15.8 %, le diesel pour 0.0151%.
- Changement climatique (30.8%), dont CO₂ est la cause principale avec 18.2%, l'électricité avec 12.1%, le reflux avec 0.484%.
- La santé humaine (30.4%), dont CO₂ est la cause principale avec 14.5%, le reflux avec 13.7 %, et l'électricité pour 2.25%.
- Ecosystème qualité (3.75%), dont CO₂ est la cause principale avec 2.91%, le reflux pour 0.439%, l'électricité avec 0.393%.

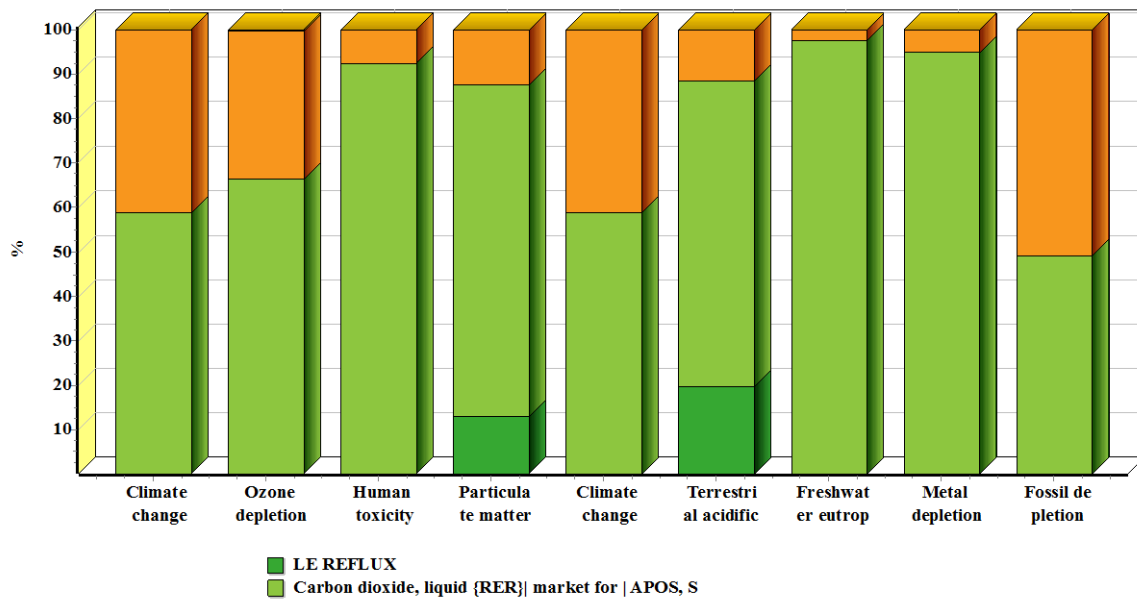
IV. 14.2. La méthode ReCiPe Endpoint

Le tableau suivant représente Étude de dommage du reflux.

Tableau IV.22 : Étude de dommage du reflux (ReCiPe Endpoint).

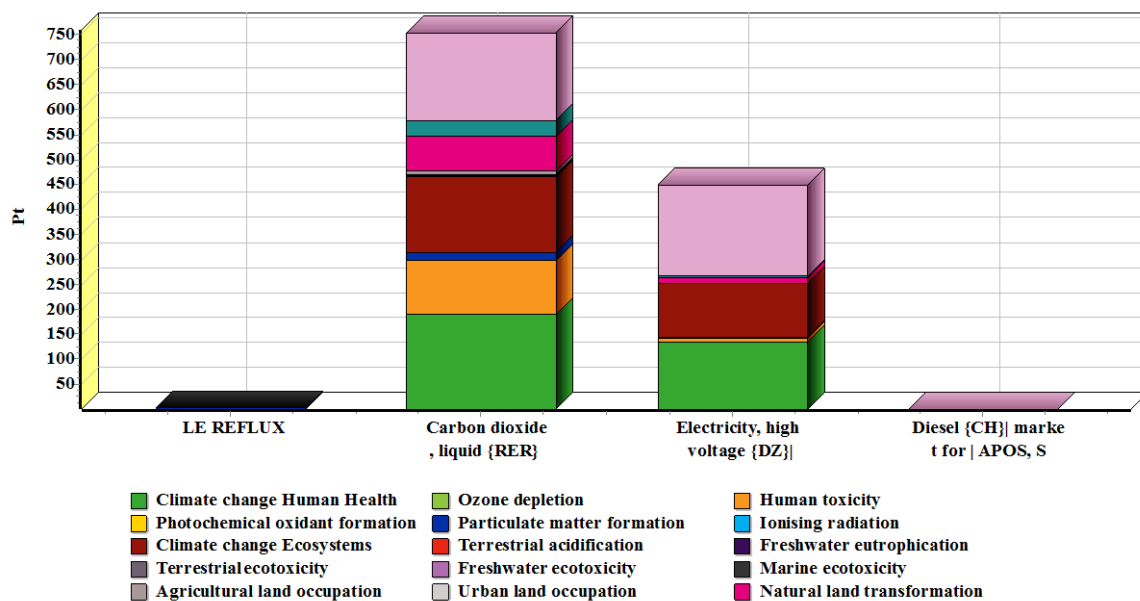
| Catégorie de dommage | Le reflux | CO ₂ | électricité | Diesel | Total (%) |
|-------------------------------|-----------|-----------------|-------------|---------|-----------|
| Total | 0.272 | 62.6 | 37.2 | 0.023 | 100 |
| Santé humain (%) | 0.256 | 26.1 | 12 | 0.0054 | 38.4 |
| Ecosystème qualité (%) | 0.0163 | 19.3 | 9.93 | 0.00245 | 29.2 |
| Resource (%) | - | 17.1 | 15.2 | 0.0152 | 32.3 |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie



Analyse de 1E6 kg 'LE REFLUX', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure

Figure IV.42 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) du reflux (ReCiPe Endpoint).



Analyse de 1E6 kg 'LE REFLUX', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Score unique / Exclusion des processus d'infrastructure

Figure IV.43 : Diagramme score unique - ACV (Mid-Point) du reflux (ReCiPe Endpoint).

D'après le tableau IV.22 les diagrammes suivants représentés par les figures VI. 42 et VI. 43 reprenant toutes les catégories d'impacts environnementaux, on constate que le CO₂ est la cause principale des impacts avec 62.6%, suivi par L'électricité avec 37.2%, puis en troisième position le reflux avec 0.27%, et le diesel avec 0.023%.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV. 14.3. La méthode TRACI 2

La figure suivante représente le schéma d'arborescence du reflux effectuée par la méthode TRACI 2.

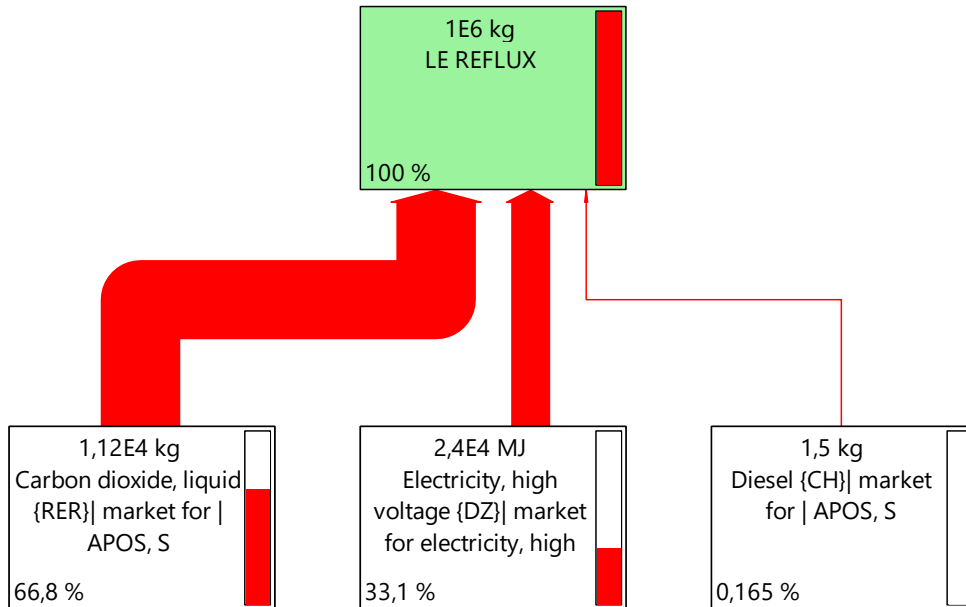
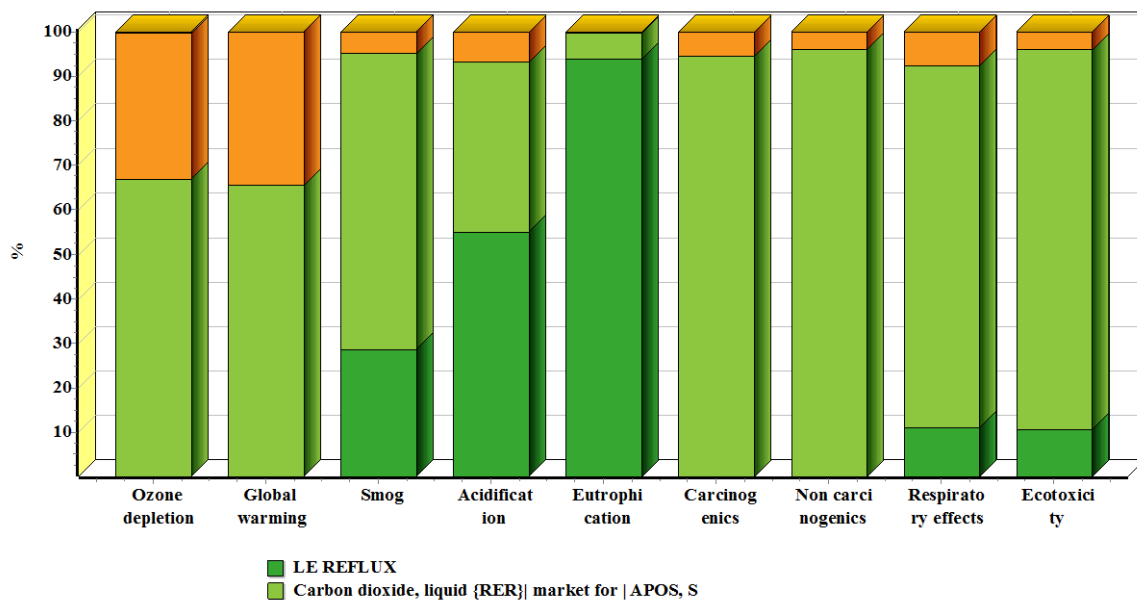


Figure IV.44 : Schéma arborescence du reflux (TRACI 2).



Analyse de 1E6 kg 'LE REFLUX', méthode: TRACI 2 V4.01 / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastructure / Exclusion des émissions à lo

Figure IV.45 : Diagramme de caractérisation Mid-Point) du reflux (TRACI 2).

D'après la Figure IV.45 et on constate que le dioxyde de carbone engendre un impact environnemental considérable avec 66.8 %, suivi par l'électricité avec 33.1%.

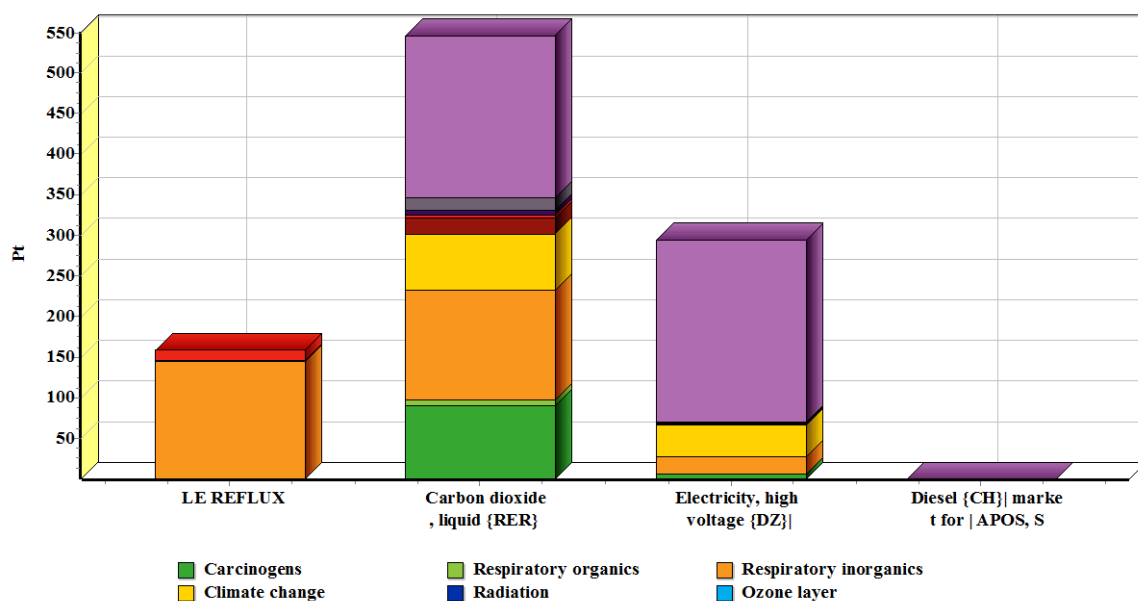
Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV. 14.4. La méthode Eco-indicator 99

Le tableau suivant représente Étude de dommage du reflux.

Tableau IV.23 : Étude de dommage du reflux (Eco-indicator 99).

| Catégorie de dommage | Le reflux | CO ₂ | électricité | Diesel | Total (%) |
|-------------------------------|-----------|-----------------|-------------|----------|-----------|
| Total | 15.8 | 54.7 | 29.5 | 0.0254 | 100 |
| Santé humain (%) | 14.5 | 30.2 | 6.64 | 0.00391 | 51.4 |
| Ecosystème qualité (%) | 1.32 | 2.99 | 0.34 | 0.000497 | 4.65 |
| Resource (%) | - | 21.5 | 22.5 | 0.021 | 44 |

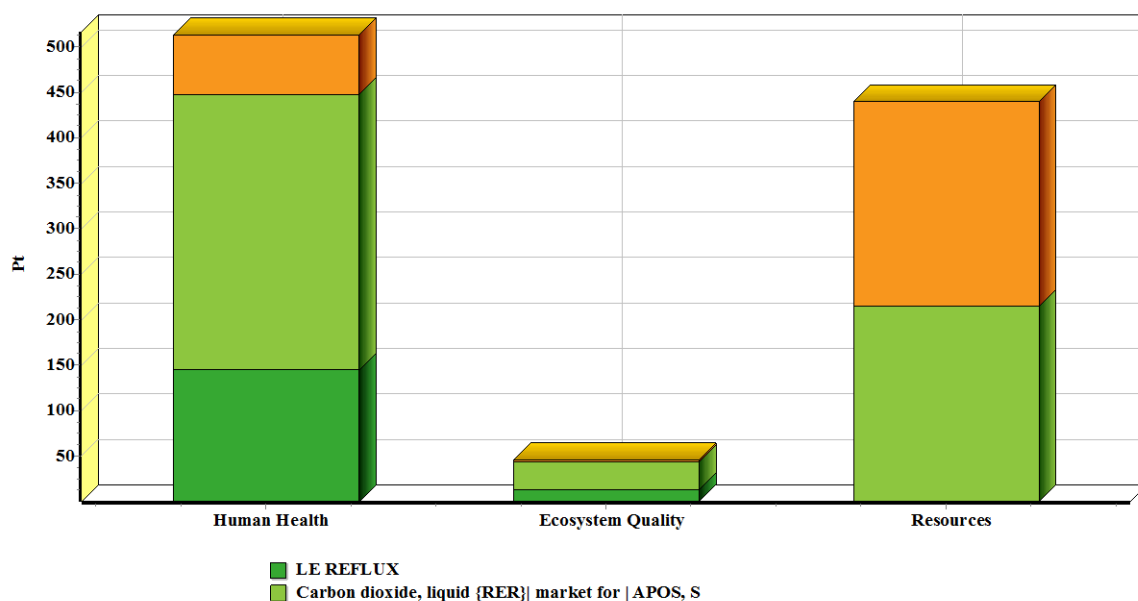


Analyse de 1E6 kg 'LE REFLUX', méthode: Eco-indicator 99 (E) V2.10 / Europe EI 99 E/A / Score unique / Exclusion des processus d'infrastructure /

Figure IV.46 : Diagramme score unique (Mid-Point) du reflux (Eco-indicator 99).

D'après le tableau **IV.23** et les diagrammes représentés par les **figures VI.46** et **IV.47**, on constate que le CO₂ est la cause principale des impacts avec 54.7%, suivi par l'électricité avec 29.5%, puis en troisième position le reflux avec 15.8%, et le diesel avec 0.025%. Le plus grand impact end point est enregistrée pour la santé humaine.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie



Analyse de 1E6 kg 'LE REFLUX', méthode: Eco-indicator 99 (E) V2.10 / Europe EI 99 E/A / Pondération / Exclusion des processus d'infrastructure / E

Figure IV.47 : Diagramme de pondération (End-Point) du reflux (Eco-indicator 99).

IV.15. Analyse Cycle de Vie du procédé de décarbonation (IMPACT 2002+)

IV.15.1. Evaluation des dommages mid point et end point

La dernière étape de l'ACV et l'assemblage des sous processus pour l'obtention du procédé global de décarbonation du gaz naturel au niveau de l'unité AGRU du complexe GLIK, grâce au schéma suivant **Figure IV.48** les trois impacts environnementaux les plus concernés pour la décarbonation de 10 000 000 tonne du gaz sont : La consommation des ressources avec 77.6 %, la santé humaine avec 11.5%, et le changement climatique avec 9.26%, et l'écosystème avec 1.6%.

Le tableau suivant représente l'étude de dommage du procédé de décarbonation.

Tableau IV.24 : Étude de dommage du procédé de décarbonation (IMPACT 2002+).

| Catégorie de dommages | Unité | total | L'absorption | La détente | La régénération | Le reflux |
|------------------------------|-------|-------|--------------|------------|-----------------|-----------|
| total | % | 100 | 99.6 | 0.304 | 0.0108 | 0.0518 |
| santé humaine | % | 11.5 | 11.4 | 0.0863 | 0.00814 | 0.0158 |
| écosystème qualité | % | 1.62 | 1.6 | 0.0195 | 0.00108 | 0.00194 |
| changement climatique | % | 9.26 | 9.15 | 0.0969 | 0.000869 | 0.016 |
| ressources | % | 77.6 | 77.5 | 0.102 | 0.000674 | 0.0181 |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

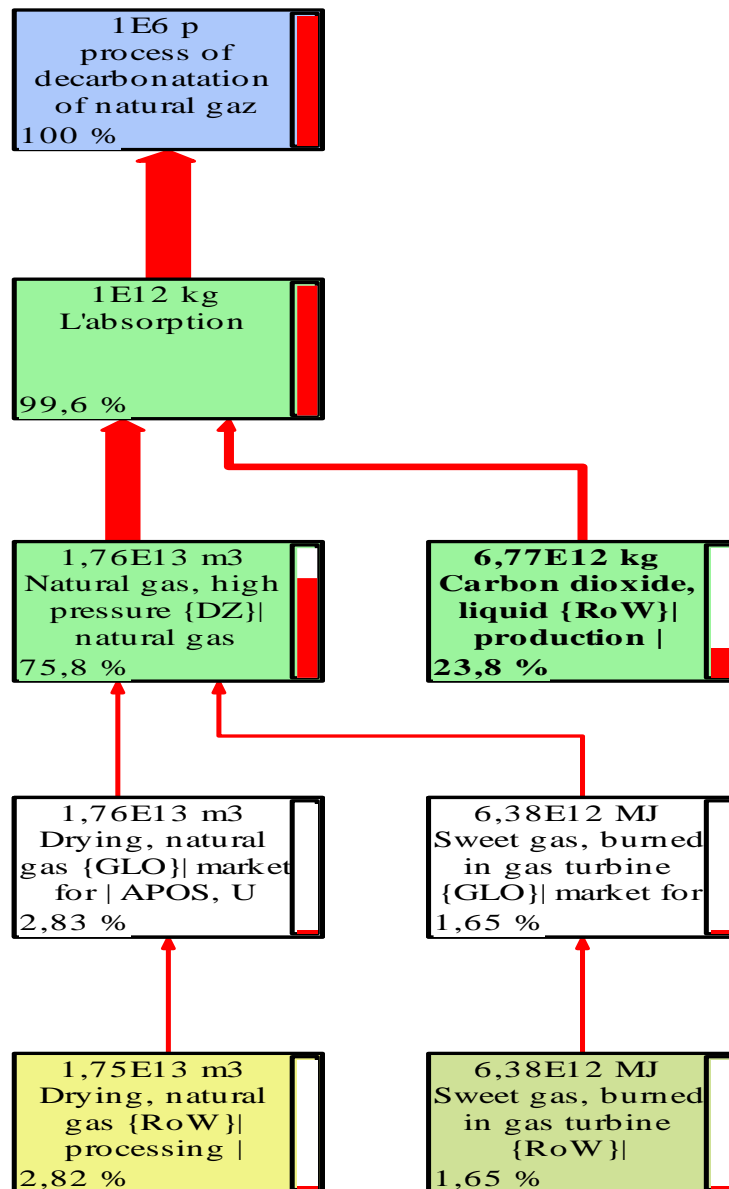


Figure IV.48 : Schémas d'arborescence de décarbonation de l'unité AGRU (IMPACT 2002+).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

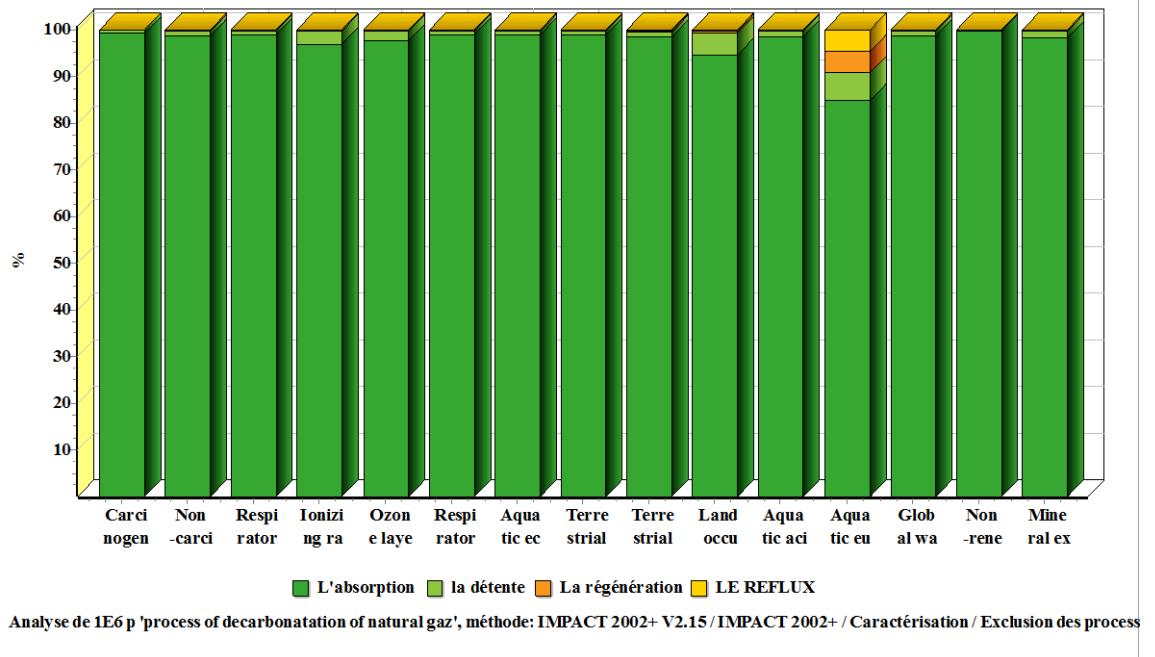


Figure IV.49 : Diagramme de caractérisation (Mid-Point) de l'unité de décarbonation (IMPACT 2002+).

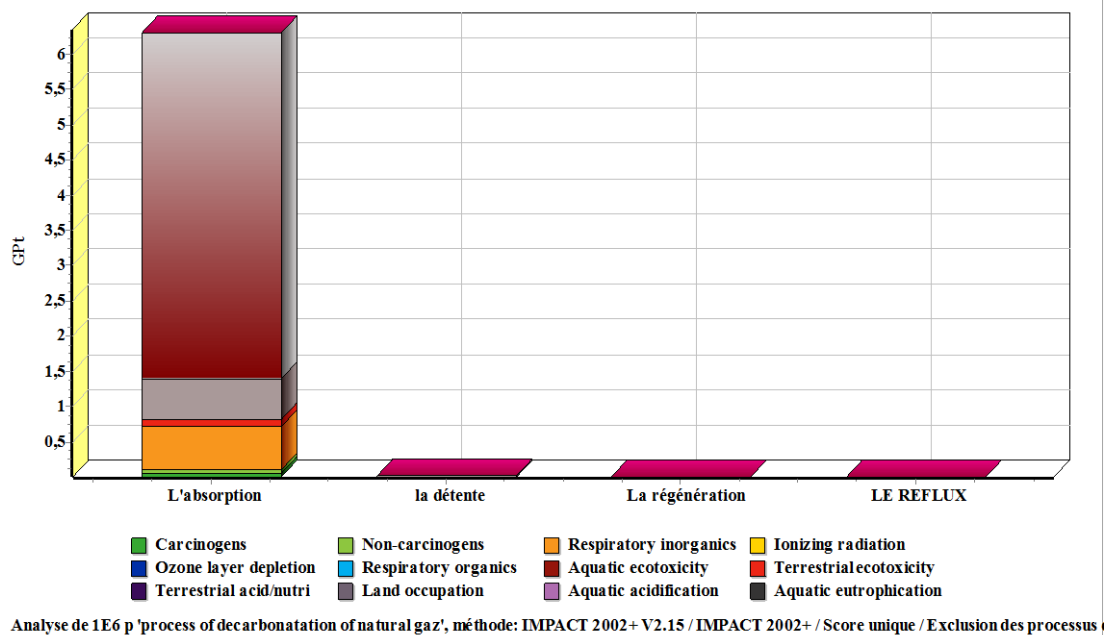
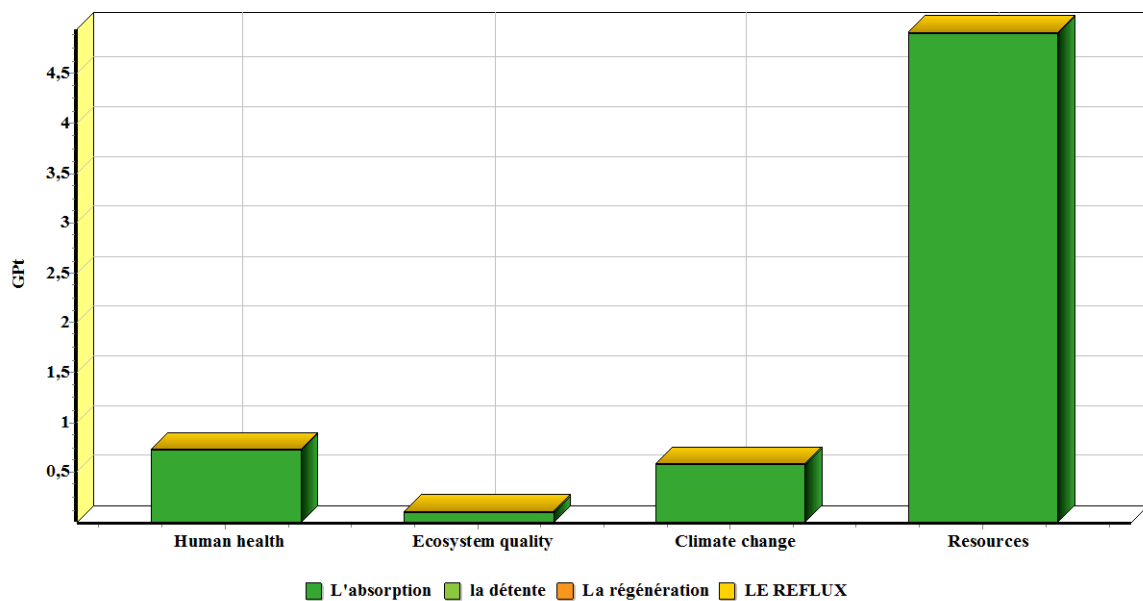


Figure IV.50 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la décarbonation (IMPACT 2002+).

D'après les diagrammes représentés par les Figures IV.49 et IV.50 reprenant toutes les catégories d'impacts environnementaux qui sont en relation avec les besoins de l'unité en ce qui concerne l'ensemble de l'activité de décarbonation l'absorption est la cause principale et

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

contribue aux impacts environnementaux avec 99.6%, suivi par le reflux 0.0518%, la détente à 0.304%, Pour terminer, la régénération 0.266%.



Analyse de 1E6 p 'process of decarbonation of natural gaz', méthode: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+ / Pondération / Exclusion des processus

Figure IV.51 : Diagramme de pondération (End-Point) de la décarbonatation (IMPACT 2002+).

Selon les résultats de l'analyse cycle de vie de la décarbonatation (voir **Tableau IV.24**) représentés par les **figures IV.51** et, les trois catégories d'impacts les plus touchées sont :

- Les ressources (77.6%), dont l'absorption est la cause principale avec 77.5%, et la détente avec 0.102%, et le reflux 0.0181%, la régénération avec 0.000674% ;
- La santé humaine (11.5%), dont l'absorption est la cause pour 11.4%, et la détente 0.0863%, et le reflux 0.0158%, la régénération avec 0.00814% ;
- Changement climatique (9.26%), dont l'absorption est la cause pour 9.15%, et la détente 0.969%, et le reflux 0.016%, la régénération avec 0.000869% ;
- La qualité de l'écosystème (1.62%), dont l'absorption est la cause pour 1.6%, et la détente 0.0195%, et le reflux 0.00194%, la régénération avec 0.00108% ;

IV.15.2. Émission dans l'air

Les résultats des polluants atmosphériques obtenus par la modélisation avec SimaPro sont représentés par la **figure IV.52**.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

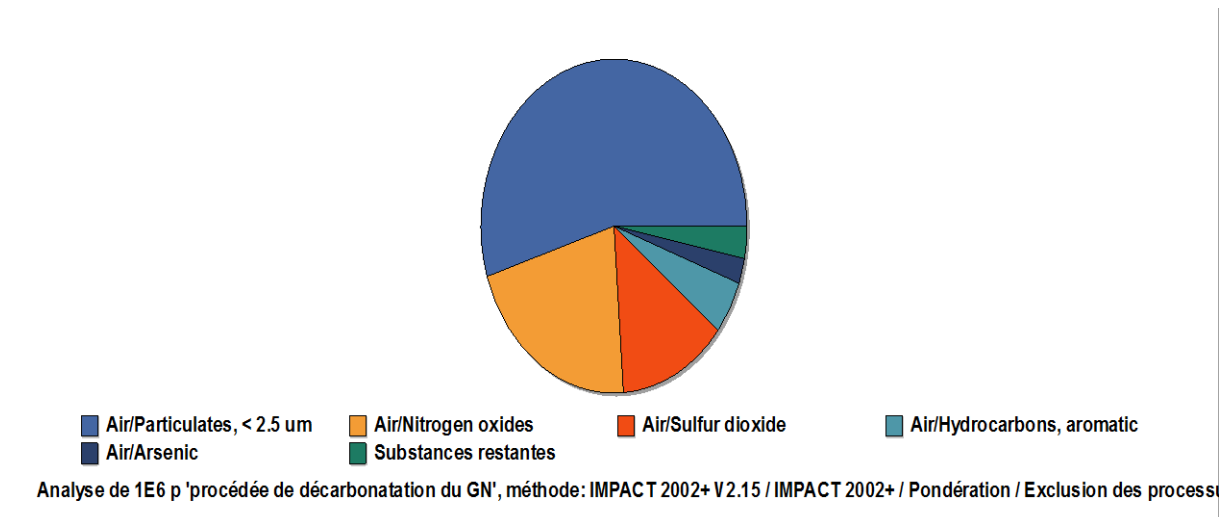


Figure IV.52 : Evaluation des émissions vers l'air suite à l'activité de décarbonatation (IMPACT 2002+).

D'après les résultats représentés par la **Figure IV.52** on remarque que les émissions les plus importantes sont du particules avec 54.9%, suivi par le azote oxydes avec 21.3% et en troisième position le dioxyde de soufre avec 13.1%.

IV.15.3. Émission vers l'eau

Les résultats des polluants émis vers l'eau, obtenus par la modélisation avec SimaPro sont représentés par la figure suivante.

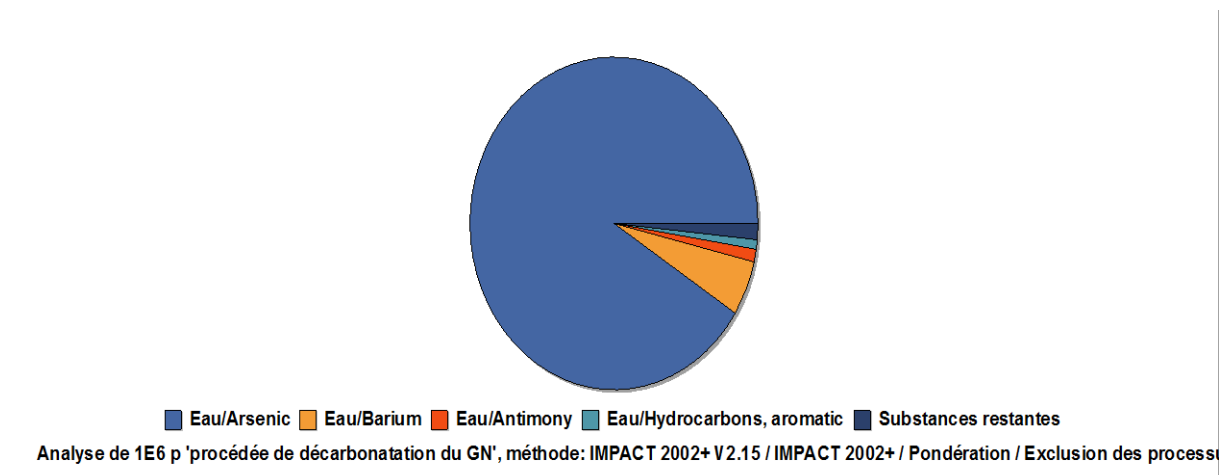


Figure IV.53 : Evaluation des émissions vers l'eau suite au procédé de décarbonatation par (IMPACT 2002+).

D'après les résultats représentés par la **Figure IV.53** on remarque que les émissions les plus importantes sont du l'arsenic avec 90.9%, suivi par le baryum avec 5.35%, et en troisième position l'antimoine avec 1.22%, et l'hydrocarbure aromatiques 0.926%. Ce qui présente un risque potentiel pour l'environnement.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

VI.16. Analyse Cycle de Vie du procédé de décarbonatation (ReCiPe Endpoint)

IV.16.1. Evaluation des dommages mid point et end point

La méthode ReCiPe Endpoint a été appliquée à l'assemblage du procédé de décarbonatation du gaz naturel au niveau de l'unité AGRU du complexe GL1K. Les trois impacts environnementaux les plus concernés pour la décarbonatation sont : la consommation des ressources avec 75.9 %, la santé humaine avec 14.4% et l'écosystème qualité avec 9.69%. Le tableau suivant représente l'étude de dommage du procédé de décarbonatation.

Tableau IV.25 : Étude de dommage du procédé de décarbonatation (ReCiPe Endpoint).

| Catégorie de dommages | Unité | total | L'absorption | La détente | La régénération | Le reflux |
|---------------------------|-------|-------|--------------|------------|-----------------|-----------|
| total | % | 100 | 99.6 | 0.354 | 0.00531 | 0.0529 |
| santé humaine | % | 14.4 | 14.3 | 0.142 | 0.00118 | 0.0203 |
| écosystème qualité | % | 9.69 | 9.55 | 0.119 | 0.00343 | 0.0155 |
| ressources | % | 75.9 | 75.8 | 0.0931 | 0.000697 | 0.0171 |

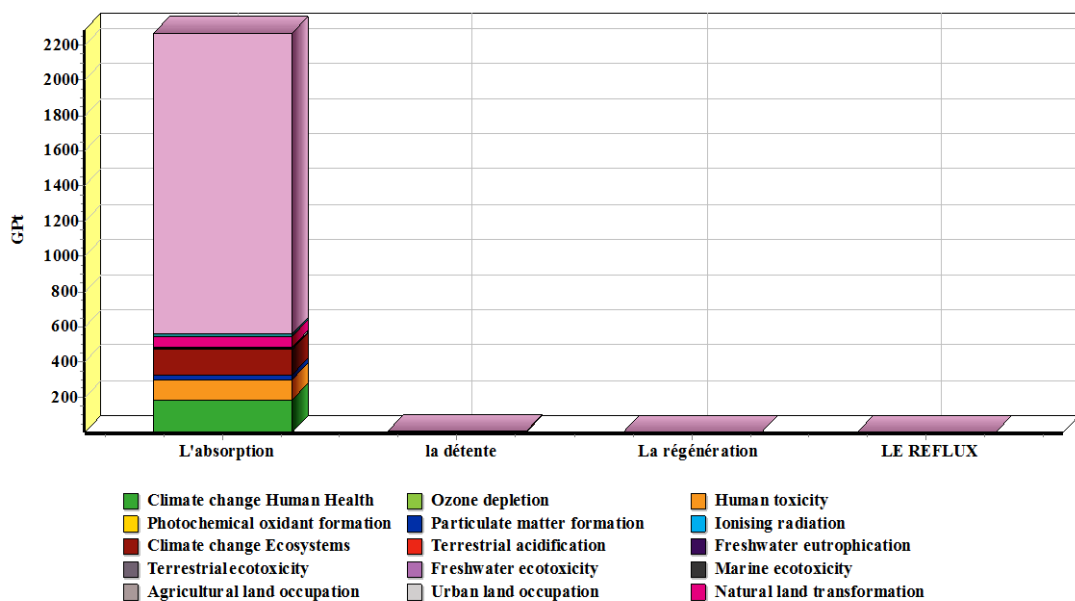
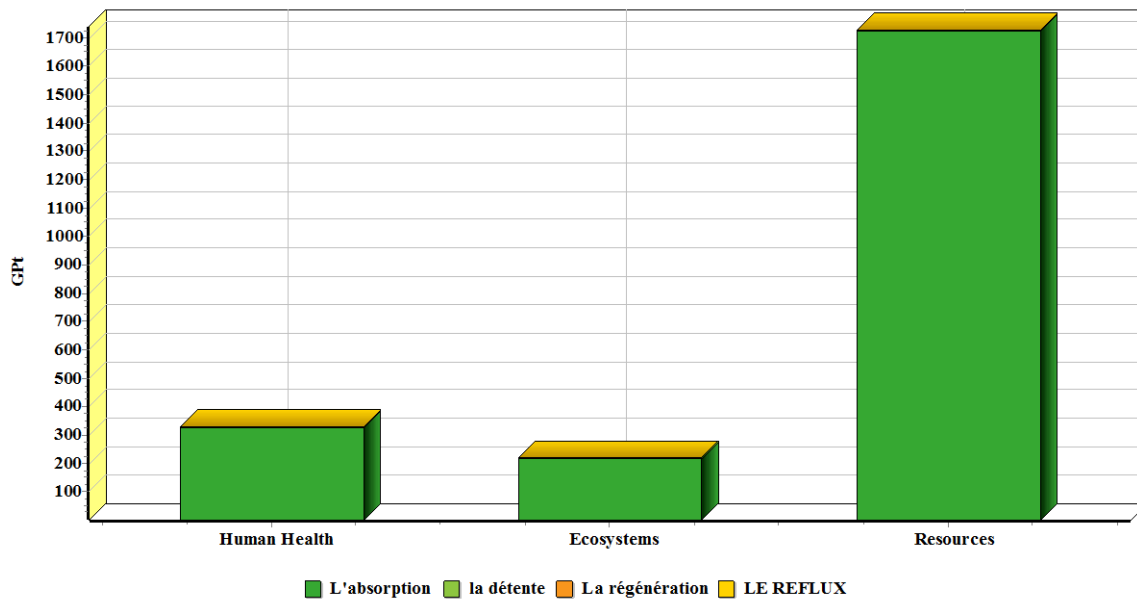


Figure IV.54 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la décarbonatation (ReCiPe Endpoint).

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie



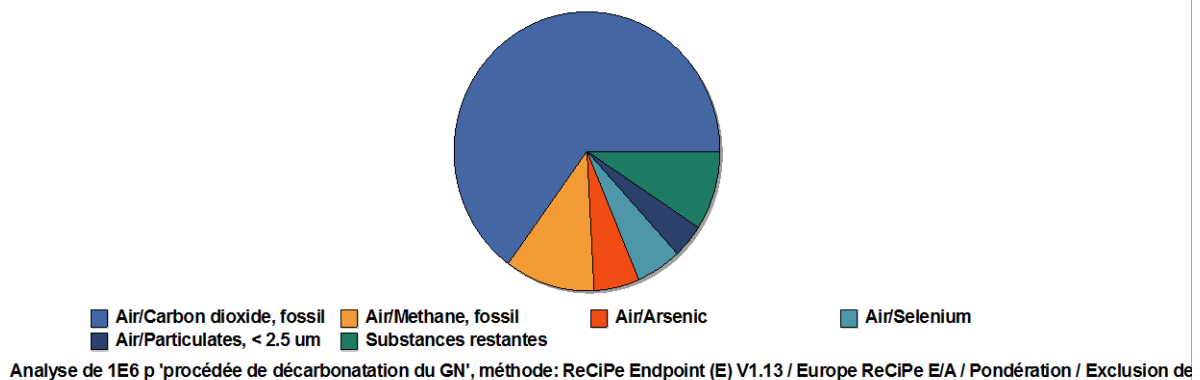
Analyse de 1E6 p 'process of decarbonation of natural gaz', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Pondération / Exclusion d

Figure IV.55 : Diagramme de pondération (End-Point) de la décarbonation (ReCiPe Endpoint).

D'après les diagrammes représentés par les **Figures IV.54** et **IV.55** on constate que l'absorption contribue aux impacts environnementaux avec 99.6%, suivi par le reflux 0.052%, la détente à 0.35%, Pour terminer, la régénération 0.005%.

IV.16.2. Émission dans l'air

Les résultats des polluants atmosphériques obtenus par la modélisation avec SimaPro sont représentés par la **figure IV.58**.



Analyse de 1E6 p 'procédée de décarbonation du GN', méthode: ReCiPe Endpoint (E) V1.13 / Europe ReCiPe E/A / Pondération / Exclusion de

Figure IV.56 : Evaluation des émissions vers l'air du procédé de décarbonation Sima pro (ReCiPe Endpoint).

D'après les résultats représentés par la **Figure IV.56** on remarque que les émissions les plus importantes sont du dioxyde de carbone fossile avec 64.9%, suivi par le méthane fossile avec 10.9% et en troisième position l'arsenic avec 5.53%. et le sélénium avec 5.5%, et les particules avec 3.93%.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.16.3. Émission vers l'eau

Les résultats des polluants émis vers l'eau, obtenus par la modélisation avec SimaPro sont représentés par la figure suivante.

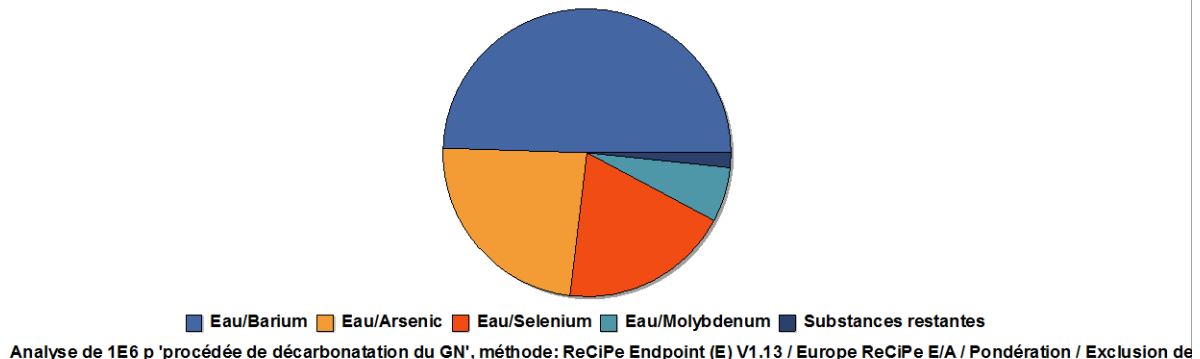


Figure IV.57 : Evaluation des émissions vers l'eau de la décarbonatation par Sima pro (ReCiPe Endpoint).

D'après les résultats représentés par la **FigureIV.57** on remarque que les émissions les plus importantes sont du baryum avec 49.5%, suivi par le l'arsenic avec 23.6%, et en troisième position le sélénium avec 19.1%, et le molybdène avec 6.14%.

IV.17. Analyse Cycle de Vie du procédé de décarbonatation (Eco-indicator 99)

IV.17.1. Evaluation des dommages mid point et end point

La méthode ReCiPe Endpoint a été appliquée à l'assemblage du procédé de décarbonatation du gaz naturel au niveau de l'unité AGRU du complexe GLIK. Les impacts sont : La consommation des ressources avec 77.7 %, la santé humaine avec 21.6% et l'écosystème qualité avec 0.739%.

Le tableau suivant représente Étude de dommage du procédé de décarbonatation.

Tableau IV.26 : Étude de dommage du procédé de décarbonatation (Eco-indicator 99).

| Catégorie de dommages | Unité | total | L'absorption | La détente | La régénération | Le reflux |
|---------------------------|-------|-------|--------------|------------|-----------------|-----------|
| total | % | 100 | 99.7 | 0.216 | 0.00828 | 0.0367 |
| santé humaine | % | 21.6 | 21.5 | 0.122 | 0.00687 | 0.0188 |
| écosystème qualité | % | 0.739 | 0.724 | 0.0126 | 0.000764 | 0.0017 |
| ressources | % | 77.7 | 77.6 | 0.0812 | 0.00064 | 0.0161 |

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

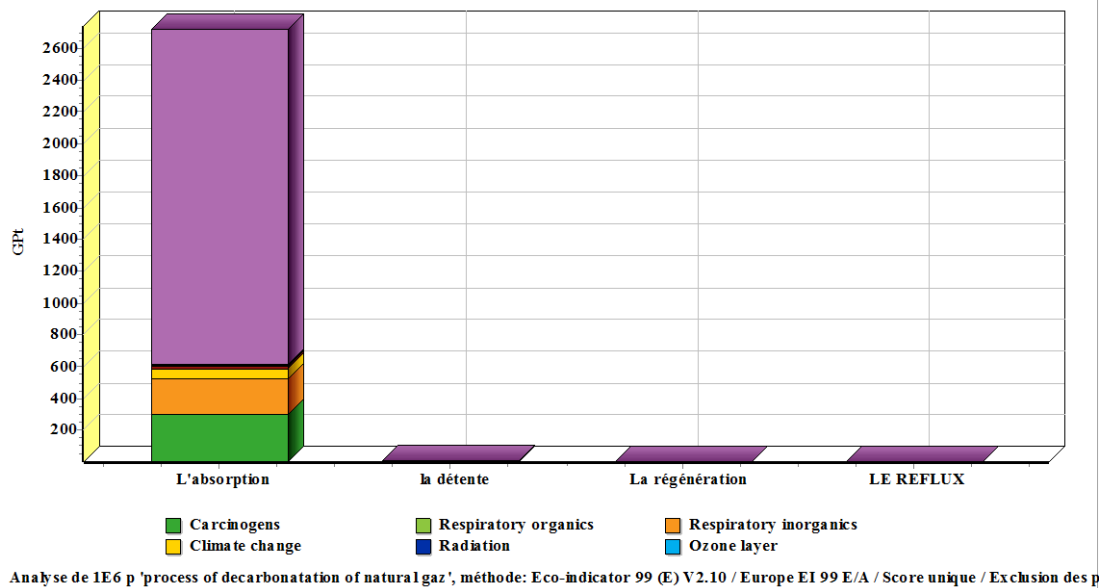


Figure IV.58 : Diagramme score unique (Mid-Point) de la décarbonatation (Eco-indicator 99).

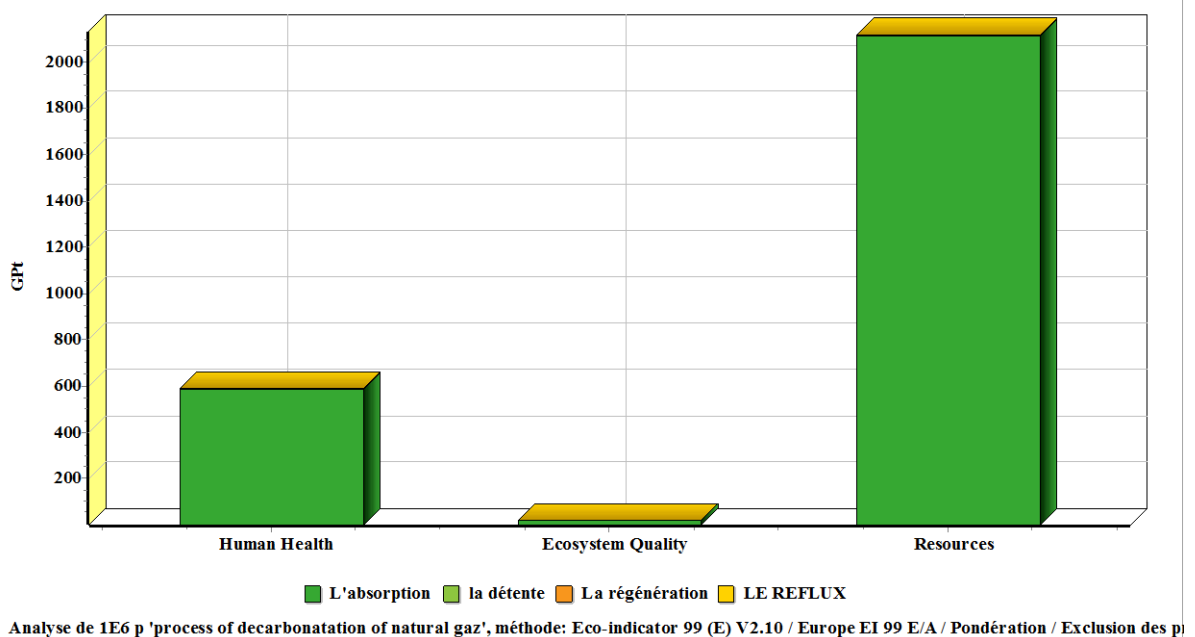


Figure IV.59 : Diagramme de pondération (End-Point) de la décarbonatation (Eco-indicator 99).

D'après les Figures IV.58 et IV.59 on remarque que l'absorption contribue aux impacts environnementaux avec 99.7%, suivi par le reflux 0.036%, la détente à 0.21%, Pour terminer, la régénération 0.008%.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.17.2. Émission dans l'air

Les résultats des polluants atmosphériques obtenus par la modélisation avec SimaPro sont représentés par la **figure IV.60**.

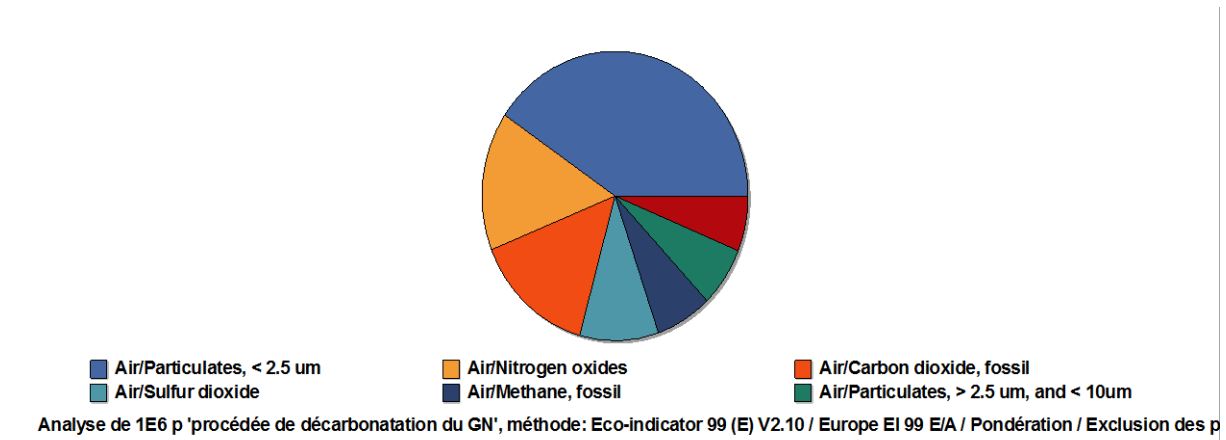


Figure IV.60 : Evaluation des émissions vers l'air de décarbonatation Sima pro (Eco-indicator 99).

D'après les résultats représentés par la **Figure IV.60** on remarque que les émissions les plus importantes sont de la particule <2.5um avec 40.5%, suivi par le nitrogène oxyde fossile avec 15.5% et en troisième position du dioxyde de carbone avec 14.7%, et le dioxyde de soufre avec 9.58%, et le méthane avec 6.84%.

IV.17.3. Émission vers l'eau

Les résultats des polluants émis vers l'eau, obtenus par la modélisation avec SimaPro sont représentés par la figure suivante.

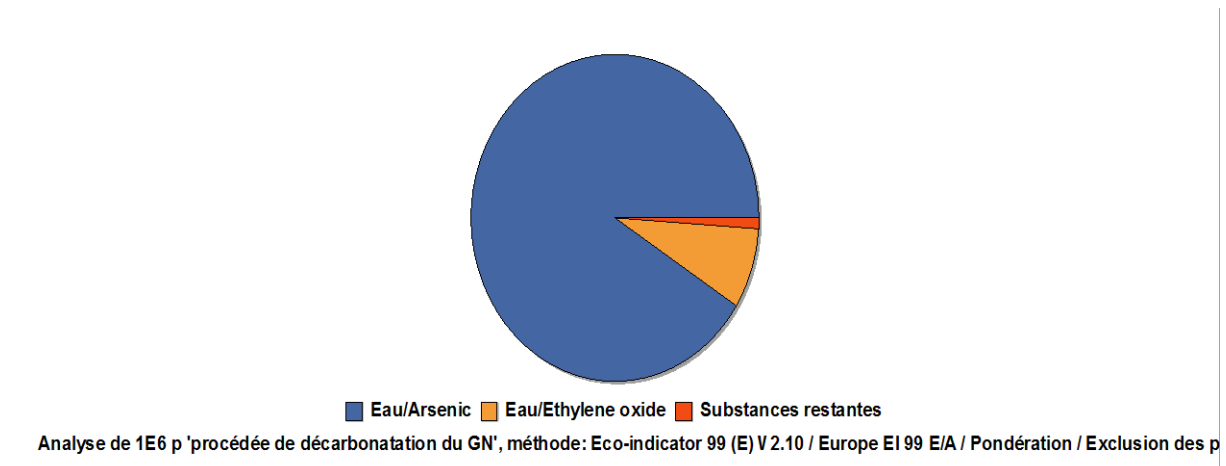


Figure IV.61 : Evaluation des émissions vers l'eau du procédé de décarbonatation par Sima pro (Eco-indicator 99).

D'après les résultats représentés par la **Figure IV.61** on remarque que les émissions les plus importantes sont de l'arsenic avec 90.9%, suivi par le Oxyde d'éthylène avec 5.35%.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.18. Comparaison entre les résultats des étapes de décarbonatation

L'évaluation des impacts environnementaux a été effectuée pour les étapes de décarbonatation du gaz naturel avec quatre méthodes : IMPACT 2002+, ReCiPe Endpoint, Eco-indicator 99.

La comparaison est regroupée dans la figure **Figure IV.62**.

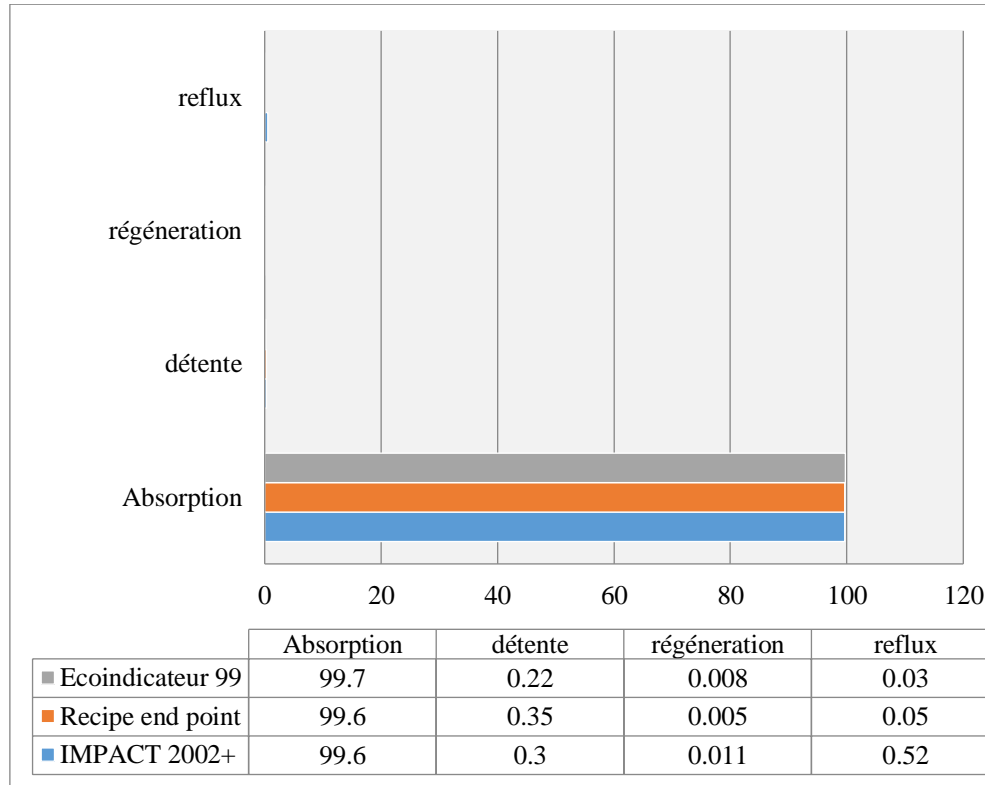


Figure IV.62 : Comparaison entre les impacts end point pour les méthodes.

D'après la **figure IV.62** on remarque que pour l'étape d'absorption les trois méthodes d'évaluation des impacts environnementaux ont abouti à des résultats presque identiques avec un pourcentage de 99.6% ce qui reflète le risque environnemental de cette étape et cela est dû aux différents produits chimiques utilisés dans cette étape comme : diesel, azote, CO₂, amine ainsi que les émissions vers l'air et l'eau.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.19. Comparaisons des méthodes

Tableau IV.27 : Comparaisons entre les méthodes (End point).

| Méthodes Catégories | IMPACT 2002+ | ReCiPe Endpoint | Eco-indicator 99 | TRACI 2 |
|--------------------------|-----------------|--------------------|------------------|---------|
| Santé humaine | 11,5 | 14,4 | 21,6 | - |
| Écosystème qualité | 1,62 | 9,69 | 0,739 | - |
| Ressources | 77,7 | 75,9 | 77,7 | - |
| Changement climatique | 9,26 | - | - | - |

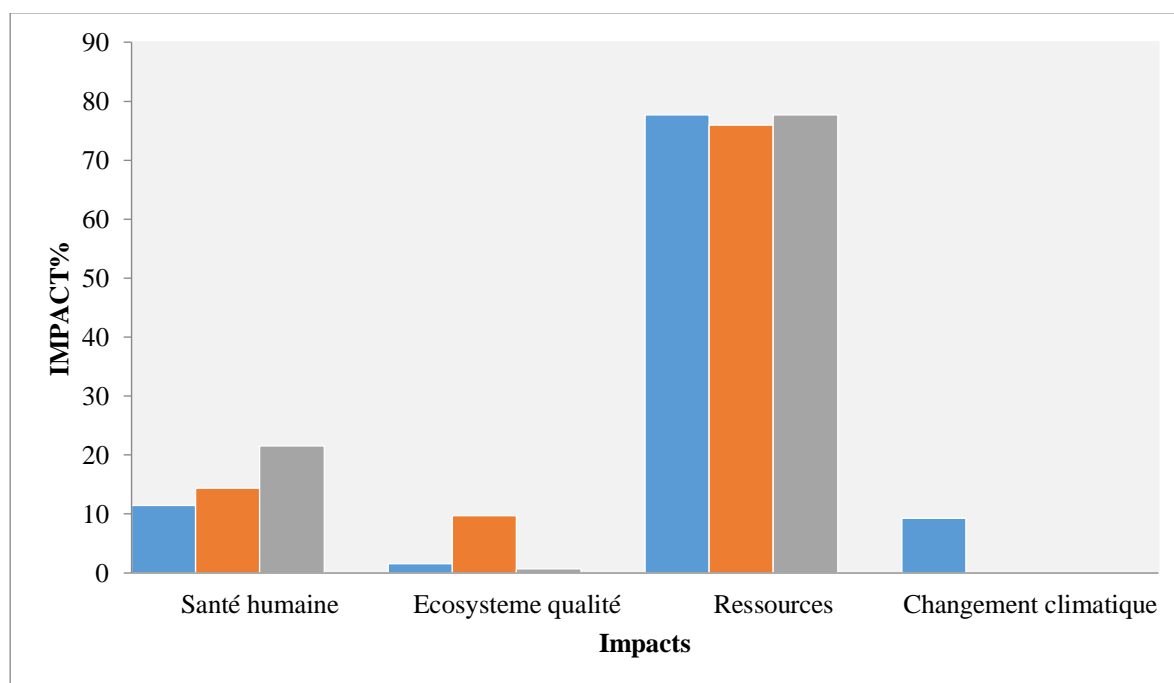


Figure IV.63 : Comparaison entre les impacts end point pour les méthodes.

D'après la **figure IV.63** on remarque que l'activité de décarbonation du gaz naturel a plus d'impact sur la consommation des ressources et cela est dû à la grande consommation des gisements de gaz naturel qui est une ressource. On remarque que pour la catégorie end point ressource il n'y a pas une grande différence entre les calculs effectués par les trois méthodes. On constate aussi que la méthode TRACI n'est pas fiable pour l'évaluation des impacts end point.

Chapitre IV Résultats et discussion de l'analyse de cycle de vie

IV.20. Conclusion

La liquéfaction du gaz naturel contribue aux émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et d'autres gaz à effet de serre, aggravant ainsi le problème du changement climatique. De plus, le processus de liquéfaction peut également entraîner des fuites de méthane, un puissant gaz à effet de serre, qui se produit pendant la production, le transport et le stockage du gaz naturel liquéfié. Le méthane a un potentiel de réchauffement global bien plus élevé que le CO₂, ce qui en fait une préoccupation majeure pour l'accentuation du réchauffement climatique.

En conclusion, pour l'Analyse Cycle de Vie de décarbonatation du gaz naturel et à l'aide de la modélisation effectuée par Sima-Pro en se basant sur les quatre méthodes, l'absorption est l'étape du procédé la plus responsable des impacts environnementaux. D'après les résultats obtenus reprenant toutes les catégories d'impacts environnementaux, l'absorption est l'étape où on a constaté plus de risque avec un pourcentage de 99.6% ; suivie par 0.22% détente, 0.03% reflux et 0.008% Pour la régénération.

Durant la décarbonatation du gaz naturel, l'étape qui présente plus de risque est l'absorption et les impacts environnementaux dans l'étape mid-point (intermédiaires) sont : le changement climatique, la destruction de la couche d'ozone, acidification, eutrophisation et smog. N'oubliant pas l'impact sur la santé humaine comme : cancérigène et respiratoire) ainsi que la consommation des ressources (épuisement des gisements de gaz naturel).

Conclusion générale

Conclusion générale

Afin d'évaluer les impacts environnementaux de décarbonation de gaz, une Analyse Cycle de Vie doit être réalisée. L'ACV est la prise en compte des impacts environnementaux. La réalisation d'une Analyse Cycle de Vie est une méthode assez complexe à effectuer. En effet, l'ACV comporte quatre étapes.

Premièrement, le but et les objectifs doivent être explicités en précisant l'unité fonctionnelle (unité de référence), les frontières du système.

Deuxièmement, la réalisation de l'inventaire du cycle de vie doit être faite. Cette étape est la plus longue et la plus complexe car la récolte de données que sont les flux entrants (énergie, matière première...) et flux sortants du système (émissions atmosphériques, déchets, pollution de l'eau...), demande énormément de temps vu que l'inventaire était réalisé dans les quatre étapes de cycle de décarbonation du gaz naturel : l'absorption, la régénération, la détente et le reflux.

Troisièmement, l'évaluation de l'impact du cycle de vie, consiste à transformer l'ensemble des flux recensés durant l'inventaire du cycle de vie en impacts environnementaux via une série d'indicateurs. Quatrièmement, l'interprétation du cycle de vie est la dernière phase de l'Analyse Cycle de Vie.

Dans notre étude on a opté pour l'Analyse de Cycle de Vie de l'unité de décarbonation. Afin de réaliser cette ACV, beaucoup de données concernant les entrants, les sortants ainsi que le bilan énergétique du complexe GLIK Skikda ont été récoltées. AGRU est une unité d'enlèvement de gaz CO₂ et dont la mission principale est la décarbonation du gaz naturel.

La décarbonation du GN comporte plusieurs étapes. Premièrement, l'étape de l'absorption. Cette étape comprend conçue pour éliminer le CO₂ contenu dans le gaz naturel par absorption chimique. Deuxièmement vient la détente qui est introduite pour subir une détente de 67 b à 4.5 bars. Troisièmement la régénération d'amine riche amine pauvre. Dernièrement le reflux de l'eau est pompé vers le régénérateur.

La quantification des impacts environnementaux a été réalisée par le logiciel Simapro. On a appliqué quatre méthode d'évaluation des impacts mid-point et end-point qui sont : IMPACT 2002+, ReCiPe Endpoint, Eco-indicator 99 et TRACI 2.

D'après les résultats obtenus reprenant toutes les catégories d'impacts environnementaux, l'absorption est l'étape où on a constaté plus de risque avec un

pourcentage de 99.6% ; suivie par 0.22% détente, 0.03% reflux et 0.008% Pour la régénération.

Durant la décarbonation du gaz naturel, l'étape qui présente plus de risque est l'absorption et les impacts environnementaux dans l'étape mid-point (intermédiaires) sont : le changement climatique, la destruction de la couche d'ozone, acidification, eutrophisation et smog. N'oubliant pas l'impact sur la santé humaine comme : cancérigène et respiratoire) ainsi que la consommation des ressources (épuiement des gisements de gaz naturel).

On constate que le gaz naturel est la cause principale des impacts environnementaux avec les pourcentage suivants:75.1%, 76.1% ,74.5% et 77% pour les méthodes Eco indicateur 99, impact 2002+, Recipe end point et TRACI respectivement.

En deuxième lieu le CO₂ aussi contribue aussi aux impacts sur l'environnement avec : 23.9%, 22.9% et 25.5% pour les méthodes Eco indicateur 99, impact 2002+ et Recipe end point respectivement. On constate que l'écart n'est pas significatif entre les méthodes et la méthode TRACI ne peut être appliquée pour l'évaluation des impacts end point. L'activité de décarbonation du GN engendre une pollution atmosphérique et des émissions du dioxyde de carbone, du méthane l'arsenic, le sélénium et les particules.

Ces résultats montrent que l'activité de l'unité AGRU représente un véritable risque pour les différents compartiments de l'environnement, et pour cela des mesures préventives doivent être installé au niveau de l'unité comme une station de traitement des eaux usées, le captage des émissions atmosphérique à la source et le traitement des déchets.

Recommandations

Pour tirer des conclusions de l'étude réalisée, il faut considérer les éléments décrits dans la phase d'interprétation du cycle de vie. Un exemple de séquence logique du processus à suivre est le suivant :

- Identifier les enjeux significatifs.
- Evaluer la méthodologie et les résultats pour la complétude, la sensibilité et la cohérence.
- Tirer des conclusions préliminaires, vérifier qu'elles sont cohérentes avec les exigences des objectifs et du champ de l'étude (y compris en matière de qualité des données, les hypothèses et valeurs prédéfinies, les limitations méthodologiques et de l'étude et les exigences orientées application).
- Si les conclusions sont cohérentes, les communiquer en tant que conclusions complètes.
- Sinon, revenir à l'une des trois premières étapes, selon le cas.

Les recommandations doivent se baser sur les conclusions finales de l'étude et représenter une conséquence logique et raisonnable des conclusions.

Références bibliographiques

- [1] Center for Energy Economics, Bureau for Economic Geology, the University of Texas at Austin
- [2] <https://www.aquaportail.com/definition-6890-gaz-naturel.html>
- [3] <http://www.choisir.com/energie/articles/163187/gaz-naturel-liquefie-lavenir-de-lenergie-avec-les-gnl>
- [4] Initiation au Gaz Naturel Liquéfié, GNL 101, SNC LAVALIN, 2016
- [5] Natural gas series, energy transition institute, November 2015
- [6] Sedra amina, contribution à l'étude des compresseurs du processus MR du complexe GL1 Skikda, mémoire de master université badji Mokhtar Annaba, 2017
- [7] Le gaz naturel, FICHE DÉCOUVERTE LYCÉE, GOODPlanet
- [8] <https://clearseas.org/fr/gnl/>
- [9] ROJEY ; « Le gaz naturel : production, traitement et transport », Edition technip 1994.
- [10] mémoire de fin d'étude l'optimisation des paramètres opératoire de débutaniseur du module de Hassi R'mel 2006. Abdeslam Fatima Zohra.
- [11] Maîtrise des aspects environnementaux Significatifs, 2013 Cabinet NPM Maroc.
- [12] L'analyse du cycle de vie du produit, 2013 Cabinet NPM Maroc.
- [13] Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, L'analyse du cycle de vie, (Volume 88 - Année 2019 — Actes de colloques — Le changement climatique - Novembre 2019 - Liège).
- [14] Analyse du Cycle de Vie (ACV), Pôle Eco-conception, 57 cours Fauriel 42024 Saint-Etienne Cedex 2 - FRANCE, CGU CIRIDD 2016.
- [15] ACVBAT - Démarche d'analyse du cycle de vie appliquée aux matériaux et éléments de construction, UVED 2013.
- [16] Analyse de Cycle de Vie (ACV) : définition, youmatter, mai 2021.
- [17] Patrick Rousseaux, (ACV) techniques-ingenieur, mai 2022.
- [18] Élodie PÉCHENART, Arnaud ROQUESALANE, SimaPro, oct 2014.
- [19] mémoire Université de Toulouse hal, L'analyse du cycle de vie pour le développement de nouveaux procédés de valorisation des bioressources. Innovations Agronomiques, May 2013.
- [20] Sonatrach.2009.Nouveau Train de GL1K. Décarbonatation du gaz naturel.Skikda.
- [21] <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/04/SEDRA-AMINA.pdf>
- [22] <https://docplayer.fr/13045410-Plus-d-efficacite-pour-vos-echanges-thermiques.html>
- [23] Projet du nouveau méga train de GNL de Skikda, Algerie.manuel opératoire.

Annexe

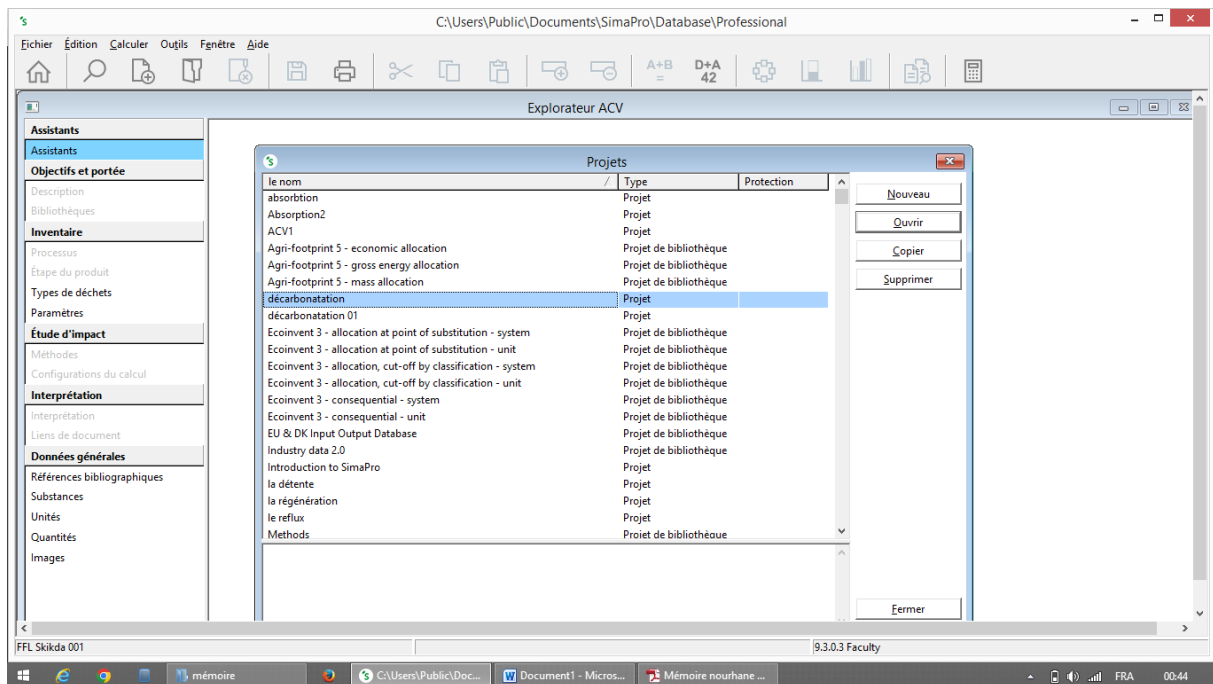
Annexe 1

Les étapes de réalisation ACV

1. Par double Cliqué sur l'icône de logiciel Sima

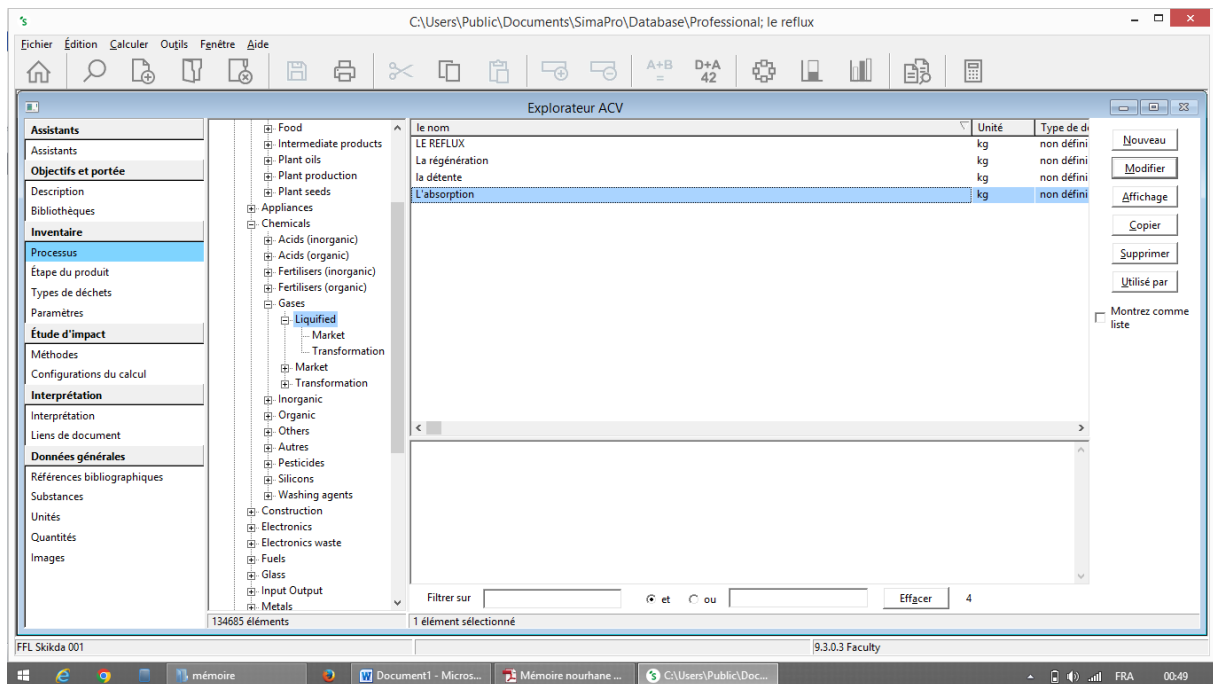
Dialogue apparaitre :

- On a créé un nouveau projet (décarbonation).
- Après la création d'un nouveau projet cliqué sur (Du logiciel soit à notre disposition).



2. Maintenant, suivez les trois étapes, qui sont également indiquées dans la pour crée le premier processus de décarbonation l'absorption

- Cliquez sur Processus dans la fenêtre Explorateur ACV.
- Cliquez sur la catégorie matériau Chemicals, gazes, gaz naturel
- Cliquez sur Nouveau et un nouvel enregistrement de premier processus décrit l'absorption



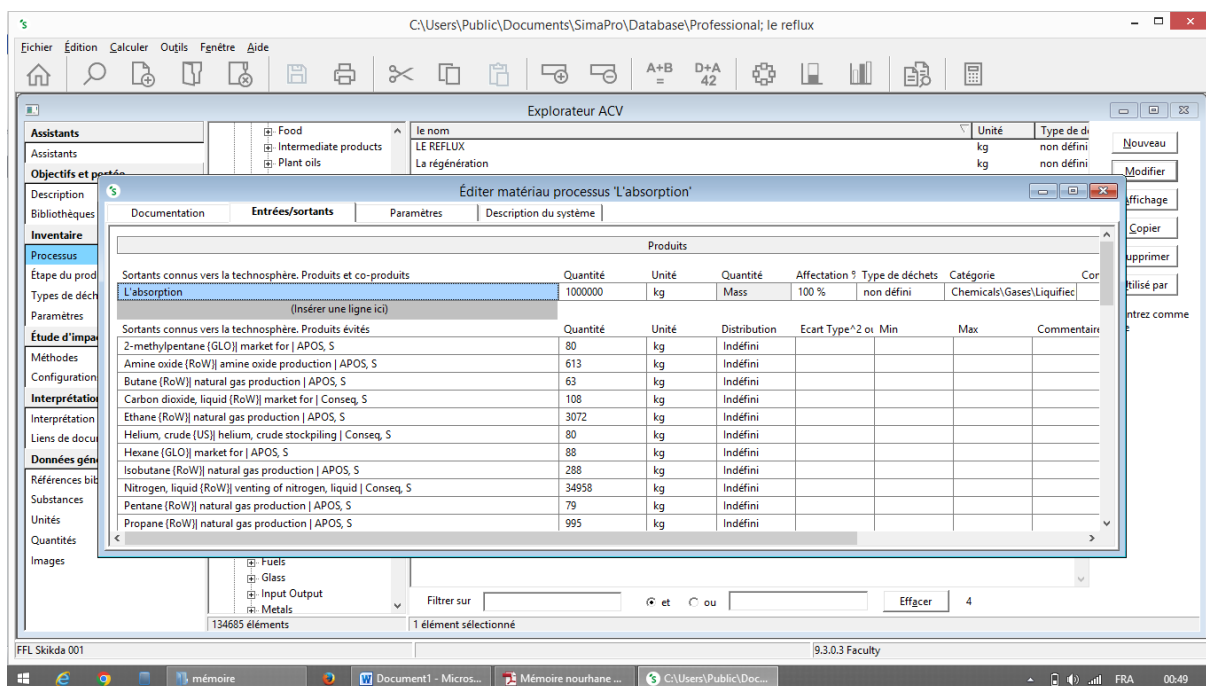
3. Pour introduire les entrants et les sortants de ce processus Suivez les quatre étapes

Indiquées dans la figure ci-dessous :

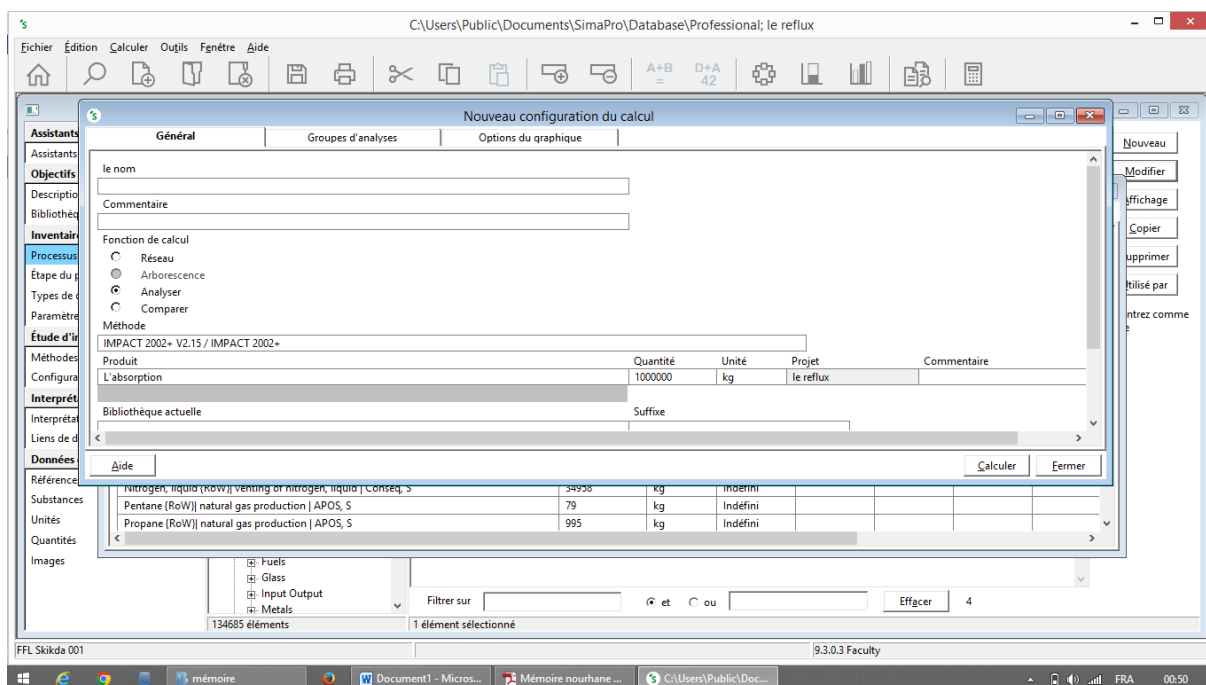
- Double clic sur le champ blanc sous le "Sorties connues à la technosphère. Produits et co-produits", et une nouvelle ligne apparaîtront.
- Entrez le texte "l'absorption" dans la section Under "Nom". Passer au champ suivant en utilisant la touche d'onglet.
- Entrez le numéro 1000000 sous 'quantité'.
- Double clic dans le champ sous "unité" et choisissez kg option.

SimaPro peut convertir des unités, de sorte qu'il comprend que vous avez maintenant juste est entré dans une production de 1000000 kg possible d'utiliser des tonnes, dans ce cas, vous devez d'abord changer la quantité de volume en masse.

On introduit les entrées connues de la nature et de la technosphère de la même manière précédente avec les quantités et les unités correspondantes



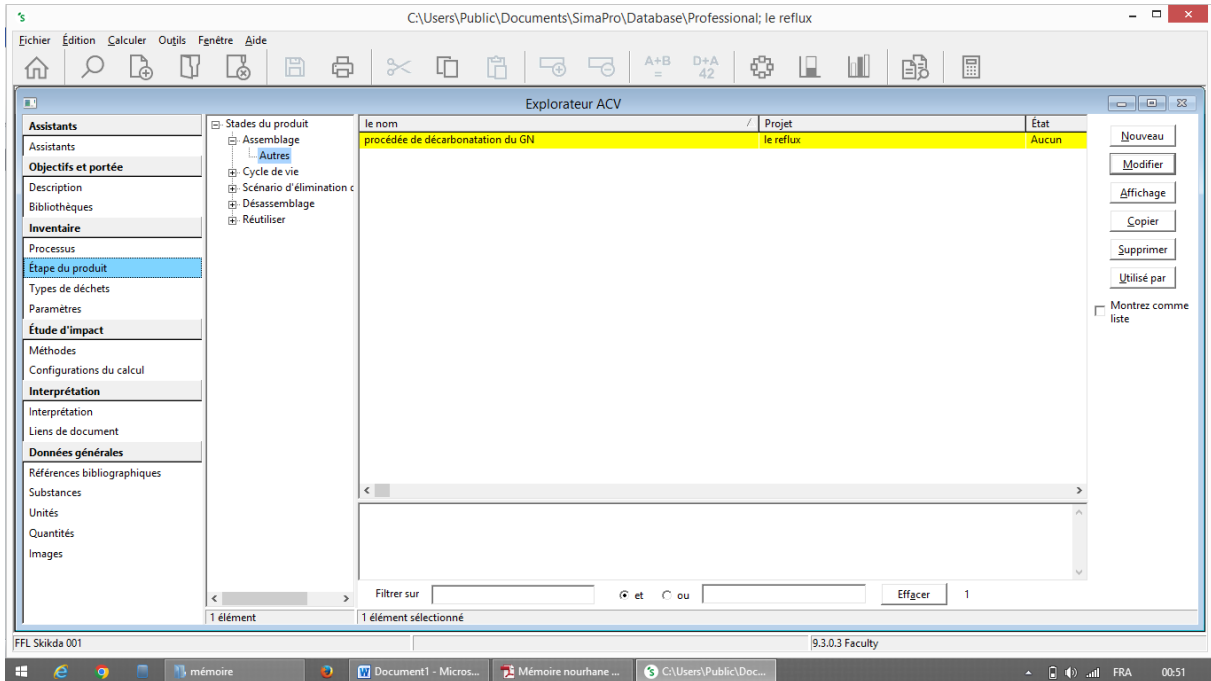
4. Maintenant que nous avons entré les données, nous pouvons cliquer sur le bouton « calculer » pour obtenir un premier coup d'oeil au réseau que nous avons créé.



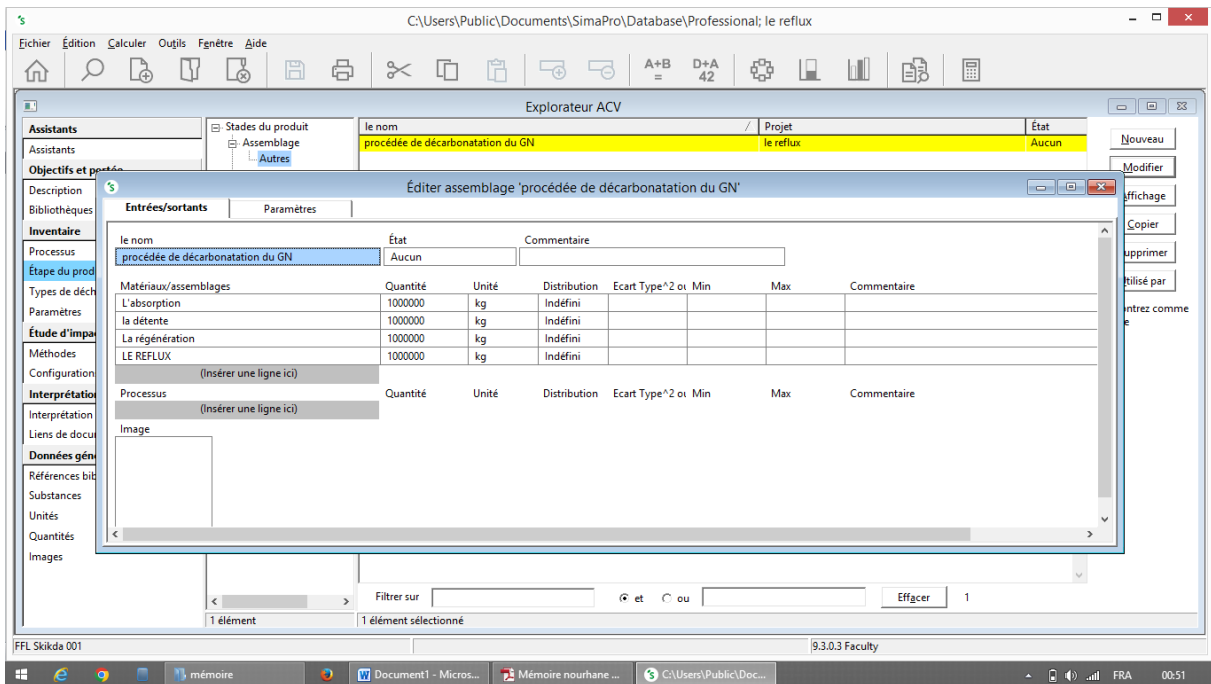
Les entrants et les sortants sont introduits par les mêmes étapes de premier processus

5. Maintenant, afin de créer un assemblage, nous cliquons sur les étapes du produit, appuyons sur le bouton assemblage dans la liste, puis cliquez sur Nouveau afin d'ouvrir un fichier.

- Nous nommons le nouveau fichier procédés de décarbonation.



6. Et maintenant, nous ajoutons toutes les étapes dans ce fichier



Enfin, nous pouvons cliquer sur le bouton Calculer pour regarder le résultat final

Annexe 2

Définition des méthodes appliquées par le logiciel Sima-pro

1- Méthode Eco-Indicator 99

Cette méthode succède à celle de 95 et apporte deux modifications : la construction d'une procédure de pondération et la création de 3 classes de dommages auxquelles seront associés les différents impacts répertoriés. Ces 3 classes sont :

- Les dommages à la santé humaine exprimés en nombre d'années perdues ou passées dans une situation de handicap.
- Les dommages à la qualité de l'écosystème qui sont représentés par le nombre d'espèces perdues dans un certain espace durant une période déterminée.
- Les dommages aux ressources exprimées comme le surplus d'énergie nécessaire dans le futur pour l'extraction des métaux et fossiles (compte tenu de leur raréfaction)

2-La méthode IMPACT 2002 +

Cette méthode est également une méthode de quantification de type "end-point". On effectue grâce à cette méthode la caractérisation des dommages compte tenu de la possibilité d'agréger les impacts en quatre catégories distinctes, respectivement :

- les impacts sur la santé humaine : destruction de la couche d'ozone stratosphérique, radiations ionisantes, effets respiratoires et effets cancérigènes et/ou non-cancérigènes,
- les impacts sur la qualité des écosystèmes terrestres (écotoxicité et acidification), aquatiques (acidification, écotoxicité et eutrophisation) ainsi que l'occupation des sols,
- les impacts sur le changement climatique dus à l'effet de serre additionnel,
- l'utilisation des ressources, en termes d'extraction de minerais et des énergies non renouvelables

3-Méthode ReCiPe Endpoint

Origine : Pays-Bas

Cette récente méthode est la synthèse de plusieurs méthodes antérieures (CML 2002 et Eco-indicateur 99) dont elle a pris progressivement la place. Elle est actuellement largement utilisée, pour des caractérisations intermédiaires comme pour des caractérisations des dommages.

4-Méthode TRACI

Origine : Etats-Unis

Cette méthode, également appelée << outil pour la réduction et l'analyse des impacts chimique et autre impacts environnementaux >> intermédiaires dans un cadre nord-américain.