

N° Ordre..... / FSI / UMBB / 2015

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES



Laboratoire de recherche technologie alimentaire

Thèse de doctorat

Présenté par :

M^{me} : Bougherara Saliha épouse Djoubani

En vue de l'obtention du diplôme de **DOCTORAT** en :

Filière : Génie de procédés

Option : Génie de l'environnement

***Application de la démarche ACV pour
différentes industries Algériennes***

Devant le jury composé de :

M^{me} DIDAOUI Saeda (Epe NEMOUCHI)

M^r BOUTALEB Abdelhak USTHB

M^r BENRACHEDI Khaled

M^r DJELALI Nacereddine

M^r EL HADI Djamel

M^r LOUHAB Krim

Professeur USTHB Présidente

Professeur USTHB examinateur

Professeur UMBB examinateur

Professeur UMBB examinateur

Maitre de conférences A Université de BLIDA examinateur

Professeur UMBB Directeur de thèse

Année universitaire : 2014 -2015

ملخص الاطروحة

تهدف هذه الدراسة إلى تطبيق أساليب مختلفة للتقييم البيئي وتشمل: التدقيق البيئي، تأثير مصفوفة للتحديد النوعي للآثار البيئية والتحديد الكمي من خلال استعمال منهج تحليل دورة الحياة. وقد تم تطبيق هذه الأساليب لمختلف الصناعات الجزائرية وهي:

- صناعة الاسمنت

- صناعة المنظفات

- الصناعة الصيدلانية

وقد تم تطبيق هذه الأساليب لمجموعة متنوعة من المنتجات المصنوعة في مختلف مراحل التصنيع، بدءا من استخدام المواد الخام إلى مرحلة الحصول على المنتج النهائي.

هذا التقييم سمح لنا بتقديم تحليل نقدي للطرق المختلفة المستخدمة مع اختيار امثل طريقة بحيث تكون موثوقة , مرنة وبسيطة تسمح بالتحليل النوعي و الكمي لمختلف التأثيرات البيئية و التي من شأنها تحديد كل العناصر المساهمة و المتدخلة في تأثير معين.

بعد الدراسة التحليلية و المقارنة لمختلف طرق التحليل البيئي ، خلصنا إلى أن منهج تحليل دورة الحياة هو منهج يعتمد عليه كونه يحدد تحديدا كميًا لمختلف الآثار البيئية وكذا العوامل المساهمة في تأثير كل فئة. ويعتبر هذا التوجه نتيجة مفيدة فيما يخص أخذ القرارات في مجال التسيير البيئي ، وتقدير حجم التأثيرات السلبية ذات الصلة بعملية الانتاج والتصنيع و هذا لكون طريقة تحليل مراحل الحياة تؤول كل الاثار السلبية المسجلة الى وحدة قياس معتمدة ، كنسبة مؤشر معين، وهذه الطريقة تعتمد على استعمال برنامج اعلام الي يدعى 1. SimaPro7 يسمح باستعمال كيفيات متعددة للتحديد الكمي لمختلف الاثار البيئية السلبية . وبهذا فهذه الطريقة تعتبر الانجع والاكثر اعتمادا في اتخاذ القرار في سياسة التسيير البيئي في هذه الدراسة تم تطبيق المنهج المذكور اعلاه او طريقة تحليل مراحل الحياة كما يلي:

(1) صناعة الأسمنت: تم تطبيقها على نوعين من العمليات انتاج الاسمنت: الطريقة الرطبة والجافة، مع إجراء دراسة مقارنة.

(2) صناعة المنظفات: تم تطبيقها على نوعين من المنتجات على شكل سائل ومسحوق ومتعدد الاستعمالات، مع عملية المقارنة (الرطبة والجافة).

(3) الصناعة الصيدلانية: تم تطبيقها المخصص على عدة أنواع من العصائر والمراهم، مع المقارنة من حيث الاختلاف في المكونات (وجود أو عدم وجود عنصر)، وكذا مجال الاستعمال

من خلال هذه الدراسة، تبين أن هذه الطريقة تسمح بالتقييم النوعي والكمي للآثار السلبية على البيئة بغض النظر الى الطريقة المستخدمة، مع امكانية العثور على الحلقة الضعيفة في كل عملية الإنتاج، وكما تبين انه بهذه الطريقة يمكن عكس حقيقة التلوث الموجودة في الجزائر.

الكلمات الرئيسية: تحليل الآثار دورة الحياة البيئية، صناعة الاسمنت، صناعة الأدوية، صناعة المنظفات، طرق تحليل الاثار البيئية والبيئة

Résumé

Cette étude a pour objet d'appliquer différentes méthodes d'évaluation environnementale à savoir : l'audit environnemental, matrice d'impact pour la détermination qualitative des aspects et des impacts ainsi leur quantification par la démarche Analyse de Cycle de Vie.

Ces différentes méthodes ont été appliquées pour différentes industries Algériennes à savoir :

- L'industrie lourde,
- L'industrie chimique,
- L'industrie pharmaceutique,

Les méthodes citées précédemment ont été appliquées pour diverses gammes de produits fabriqués sous différentes formes et par plusieurs processus u, depuis l'utilisation des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini.

Cette évaluation d'impact nous a permis de faire une analyse critique des différentes méthodes utilisées et d'opter enfin à un choix d'une méthode fiable, flexible, simple à la fois qualitative et quantitative des impacts environnementaux, dont il s'agit de la démarche ACV utilisant le logiciel SimaPro.7 comme outil d'évaluation.

Dans cette étude la démarche ACV, nous a permis de :

- 1) Quantifier les impacts environnementaux de l'industrie cimentière et de faire une étude comparative entre deux voies de production (sèche et humide), et de déterminer la contribution des émissions atmosphériques à certaines catégories d'impacts et de déterminer les impacts engendrés par un mètre cube d'eau.
- 2) Quantifier et comparer les impacts environnementaux engendrés par détergents de deux formes ; liquide et poudre, à différents usages, avec comparaison des processus (voie humide et sèche), et de déterminer la contribution des éléments constitutifs, le rejet des tensio-actifs et les produits de dégradation à différentes catégories d'impacts
- 3) Quantifier et comparer les impacts engendrés par des sirops et des pommades, et faire une étude comparative.

Son application pour divers domaines d'activités industrielles, a pu refléter la réalité de la pollution existante en Algérie. Donc elle permettra d'aider les praticiens et les décideurs de prendre des décisions sûres dans leurs politiques de gestion environnementale.

Mots clés : Analyse de cycle de vie, impacts environnementaux, méthodes d'évaluation environnementale, industrie du ciment, industrie pharmaceutique, industrie de détergent, environnement.

Abstract

The aim of study is to apply various methods of environmental assessment include environmental auditing, impact matrix for the qualitative determination of aspects and impacts and their quantification by the Life Cycle Analysis approach.

These methods have been applied to various Algerian industries namely:

- The cement industry.
- The detergent industry
- The pharmaceutical industry

Following these comparative studies, we have concluded that the LCA approach is a reliable approach because it happens to quantify the environmental impacts and to determine the factors contributing to each impact category.

This approach is considered advantageous, by the quantification of impacts related to the unit of measure, expressed as a given indicator forever impact categories, this method through the use of SimaPro7.1 software, and different methods of evaluation, that is seen as a tool for decision support in environmental management policies.

In this study, the LCA approach has been applied as follows:

- 1) Evaluation and quantification of impact generated by two types of processes: wet and dry, with determination of element contribution to each impact category, and quantification of the impact generated by cubic meter used in process production.
- 2) Evaluation and quantification of impact generated by two liquid and powder forms and for different purposes, with the comparison process (wet and dry process).
- 3) Evaluation and quantification of impact generated by several types of syrups and pomade, the comparison was made with respect to the difference in composition (presence or absence of an element), in the form and use.

For this study, it have been found that one could have an evaluation and quantification of impacts regardless of the method used, to find the weak link in every production process; it is a method that could reflect the reality of existing pollution in Algeria.

Keywords: Analysis of life cycle environmental impacts, cement industry, pharmaceutical industry, detergent industry, environment.

Remerciements

Ce n'est pas difficile de remercier tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce modeste travail de près ou du loin, mais trouver les mots et les expressions me paraît trop difficile.

Je remercie en premier lieu le bon Dieu le tout Puissant de m'avoir donné le courage pour entamer cette œuvre et la force de la mener à terme.

Je remercie mon directeur de la thèse Mr LOUHAB KRIM professeur de l'université de Boumerdes, pour ses orientations, conseils et encouragements qui ont été utiles et nécessaire pour que cette thèse voit le jour.

Je remercie vivement l'ensemble du jury d'avoir accepté cette thèse et d'être membre de jury.

Je remercie l'ensemble du personnel des industries cimenterie, détergent, pharmaceutique, pour leurs aimables collaborations ainsi que l'ensemble du personnel du laboratoire de recherche technologie alimentaire de l'université de Boumerdes.

Je remercie mes collègues de la DCW notamment la directrice, qui ont non seulement été patients avec moi, mais ont su temporeriser mon tempérament en m'apportant en plus soutien et encouragement.

En fin, toute ma gratitude pour mon mari, qui m'a été un support moral et financier exceptionnel, et pour clore mes remerciements pour les membres de ma famille et ma belle famille et mes excuses pour mes enfants qui ont été pour un moment relégué au second plan.

Dédicaces

A la mémoire de ma grande mère, grand père

A mes oncles qui nous ont quittés trop tôt.

A mes parents à qui je dois ma réussite,

A mon mari à qui je dois ma réussite

A mes frères et sœurs

A mes adorables enfants Sami et Maroua

A ma belle-mère, mon beau père

A mes beaux-frères et belles sœurs

A mes neveux et nièces.

Aux petits anges ; Sara, Linda, Abdessalam,
Abderrahim, Rahma, Younes, Faeicel, Sid Ali,
Yacine, Amina, Sounia , Ferièl, Imane, Asma,
Ikrame

A tous et toutes mes ami (es).

Bien faible témoignage d'affection et d'amour.

SALIHA – SAIDA

Sommaire

Page

<i>Introduction générale</i>	
Chapitre I : Industrie, environnement et réglementation	
<i>I. Introduction</i>	01
<i>II. Contexte société-environnement</i>	01
<i>II.1 Définition</i>	01
<i>II.2 Conception individuelle de l'environnement</i>	01
<i>II.3 Conception du couple société-environnement</i>	03
<i>II.3.1 Conception objective et biocentrique</i>	03
<i>II.3.2 Conception subjective et anthropocentrique</i>	03
<i>II.3.3 Conception technocentrique</i>	03
<i>II.4 Système société- environnement</i>	04
<i>II.4.1 Activité économique et vie sociale</i>	04
<i>II.4.2 Relation à l'environnement</i>	05
<i>II.4.2.1 Echange de flux : des facteurs d'impact sur l'environnement</i>	09
<i>III. Problèmes environnementaux</i>	09
<i>III.1 Facteurs d'impact associés aux thèmes environnementaux</i>	11
<i>III.2 Thèmes environnementaux et facteurs d'impact dus à l'activité industrielle</i>	12
<i>IV. L'industrie et l'environnement</i>	14
<i>IV.1 Relation avec les acteurs de l'environnement</i>	14
<i>IV.1.1 Parties intéressées</i>	14
<i>IV.1.1.1 Partenaires économiques</i>	15
<i>IV.1.1.2 Partenaires financiers</i>	15
<i>IV.1.1.3 Institutionnels</i>	15
<i>IV.1.1.4 Groupe de pression</i>	15
<i>IV.1.2 Enjeux environnementaux</i>	15
<i>IV.1.2.1 Classification des enjeux environnementaux</i>	16
<i>IV.2 Régulation du système société-environnement</i>	18
<i>IV.3 Régulation des relations entreprise-environnement</i>	19
<i>IV.3.1 Politiques directives</i>	20
<i>IV.3.1.1 Politique réglementaire</i>	20
<i>IV.3.2 Politique économique</i>	20
<i>IV.3.3 Politique contractuelle</i>	20
<i>IV.3.3.1 Labels écologique</i>	21
<i>IV.3.4 Politique managériale</i>	21
<i>IV.4 Synthèse des politiques de régulation</i>	22
<i>V. L'industrie et l'environnement</i>	22
<i>V.1 L'industrie du ciment et l'environnement</i>	22
<i>V.1.1 Introduction</i>	22
<i>V.1.2 Etude de cas</i>	23
<i>V.2 L'industrie détergente et l'environnement</i>	24
<i>V.2.1 Introduction</i>	24
<i>V.2.2 Etude de cas</i>	25
<i>V.3 L'industrie pharmaceutique et l'environnement</i>	27
<i>V.3.1 Introduction</i>	27
<i>V.3.2 Origine des substances médicamenteuses dans les eaux usées</i>	28
<i>V.3.2.1 Rejets des entreprises pharmaceutiques</i>	28
<i>V.3.2.1 Consommation des médicaments</i>	28
<i>V.3.2.1 Les biotransformations</i>	29
<i>V.3.2.3 Rejets des hôpitaux</i>	29

V.3.2.4 Les laboratoires d'analyses médicales.....	29
V.3.2.5 La population.....	29
V.4 Sources des rejets dans l'environnement.....	29
V.4.1 Sources municipales.....	30
V.4.2 Sources agricoles.....	30
V.5 Impacts des rejets de produits pharmaceutiques sur l'environnement.....	30
V.5.1 Nature du danger.....	30
V.5.2 Devenir dans les STEP et biodégradabilité.....	31
V.5.3 Recensement des impacts environnementaux.....	31
V.6 Exemples de cas étudiés.....	32
V.6.1 L'ibuprofène, de tetracyclines et d'hormones oestrogènes synthétiques.....	32
V.6.1.1 Cheminement dans l'environnement.....	32
V.6.2.1 Concentration et persistance des avermectines dans l'environnement.....	35
V.6.2.2 Impacts sur la faune terrestre.....	36
V.6.2.3 Impacts sur la faune aquatique.....	36
V.6.2.4 Impacts sur les organismes d'eau douce non ciblés.....	36
V.7 Devenir des résidus médicamenteux dans le système aquatique.....	36
V.7.1 Les anti-inflammatoires.....	37
V.7.2 Les antibiotiques.....	37
V.7.3 Les anti-épileptiques.....	37
V.7.4 Les β -bloquants.....	38
V.7.5 Les hypolipémiants.....	38
V.7.6 Les cytostatiques.....	38
V.7.7 Les contraceptifs oraux.....	38
V.7.8 Les produits de contraste.....	38
V. 8 Les produits de transformation.....	39
V.8.1 Effets sur les organismes aquatiques.....	39
V.8.1.1 Le problème des mélanges.....	39
V.8.1.2 Bioconcentration – Bioaccumulation.....	40
IV. L'industrie et la réglementation.....	41
IV.1 Introduction.....	41
IV.2 Textes principaux.....	41
IV.3 La réglementation algérienne dans le domaine de protection de l'environnement.....	41
Chapitre II : Outils d'intégration environnementale	
I. Introduction.....	47
II. Revue des méthodes d'évaluation environnementale des impacts.....	47
II.1 Terminologie.....	48
II.2 Classification des méthodes d'évaluation environnementale.....	49
II.2.1 Les méthodes de diagnostic.....	49
II.2.2 Les méthodes d'évaluation initiales.....	49
II.2.3 Les méthodes d'audit des SME.....	50
II.2.3.1 Phase de réalisation de l'audit SME.....	53
II.2.3.2 Méthodes et outils d'audit.....	53
II.2.3.2.1 Listes de contrôle.....	53
II.2.3.2.2 Matrices d'impacts.....	54
a)- Matrice symbolique.....	54
b)- Matrice simple.....	55
II.2.4 Méthodes multi phases.....	55
II.3 Evaluation environnementale stratégique.....	56
II.4 Méthode d'aide à la décision.....	57

Chapitre III : Analyse de cycle de vie

<i>I. Introduction</i>	59
<i>II. Historique</i>	59
<i>III. Définition de la démarche ACV</i>	60
<i>III.1 Définition des objectifs et champs d'application et frontières de système étudié</i>	61
<i>III.2 Inventaire des émissions et de l'extraction</i>	62
<i>III.3 Evaluation et analyse des impacts environnementaux</i>	62
<i>IV. Outils d'évaluation des impacts par l'ACV</i>	67
<i>IV.1 Méthodes d'évaluation des impacts du logiciel SimaPro 7.1</i>	67
<i>V. Etude critique de certains travaux réalisés</i>	70

Chapitre IV. Evaluation environnementale des industries algériennes

I. Evaluation environnementale des cimenteries

<i>I. Introduction</i>	77
<i>II. Evaluation des impacts environnementaux par les méthodes classiques</i>	77
<i>II.1 Méthodes et outils</i>	78
<i>II.1.1 Listes de contrôle</i>	78
<i>II.1.2 Matrices d'impacts</i>	80
<i>II.1.2.1 Matrice symbolique</i>	82
<i>II.1.2.2 Matrice simple</i>	84
<i>II.1.3 Méthodes d'aide à la décision</i>	85
<i>II.1.3.1 Méthode d'aide multicritère à la décision</i>	85
<i>II.2 L'audit de système management environnemental</i>	86
<i>A)- Cimenterie de Sour El Ghozlane (voie sèche)</i>	86
<i>B)- Cimenterie de Rais Hamidou (voie humide)</i>	87
<i>III. Evaluation des impacts environnementaux par la démarche ACV</i>	96
<i>III.1 Cimenterie de Sour El Ghozlane (voie sèche)</i>	96
<i>a)-Objectifs et champs d'application</i>	96
<i>b)-L'unité fonctionnelle</i>	96
<i>c)-Qualité des données et réalisation de l'inventaire</i>	96
<i>c.1 Taux de consommation des matières premières</i>	97
<i>c.2 Consommation énergétique</i>	97
<i>c.3 Emissions atmosphériques</i>	97
<i>d)-Evaluation des impacts</i>	98
<i>d.1Taux de contribution du CO₂ aux impacts liés au CO₂</i>	101
<i>d.2Taux de contribution du CO aux impacts liés au CO</i>	101
<i>d.3 Contribution du NO₂ aux impacts liés au NO₂</i>	101
<i>III.2 Cimenterie de Rais Hamidou (voie humide)</i>	102
<i>a. Inventaire des données : voie humide</i>	102
<i>a.1 Consommation des matières premières</i>	102
<i>a.2 Emission atmosphérique</i>	102
<i>b. Evaluation des impacts</i>	103
<i>b.1 Taux de contribution du CO₂ aux impacts lié à l'émission du CO₂</i>	104
<i>b.2 Contribution du CO aux impacts liés à l'émission du CO</i>	106
<i>b.3 Contribution du NO₂ aux impacts liés à l'émission du NO₂</i>	106
<i>III.3Etude comparative voie sèche et humide par la démarche ACV</i>	106
<i>a. Unité fonctionnelle</i>	106
<i>b. Analyse de l'inventaire</i>	106
<i>b.1 Comparaison des consommations de matières premières VS/VH</i>	108
<i>b.2 Comparaison des émissions atmosphériques</i>	108

<i>c)-Evaluation des impacts</i>	109
<i>V. Etude comparative méthode d'évaluation environnemental et ACV</i>	112
2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente	118
<i>I. Introduction</i>	118
<i>II. Présentation de l'industrie de détergence</i>	118
<i>III. Application de la démarche ACV</i>	118
<i>a)-Objectifs et champs d'application</i>	119
<i>b)-L'unité fonctionnelle</i>	119
<i>c)-Qualité des données et réalisation de l'inventaire</i>	119
<i>A- Forme liquide : vaisselle et multi usage</i>	125
<i>B- Détergent linge : Forme liquide et poudre</i>	125
<i>B.1. Comparaison des inventaires LL/PL</i>	127
<i>B.2. Evaluation des impacts</i>	
3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique	130
<i>I. Introduction</i>	131
<i>II. Présentation de l'industrie pharmaceutique</i>	131
<i>III. Application de la démarche ACV</i>	131
<i>a)- Objectifs et champs d'application</i>	131
<i>b)- L'unité fonctionnelle</i>	131
<i>c)- Qualité des données et réalisation et analyse de l'inventaire</i>	132
<i>III.1 Forme sirop</i>	134
<i>d)- Evaluation des impacts</i>	139
<i>III.2 Forme pommade</i>	140
<i>III.2.1 Comparaison de consommation des matières actives</i>	140
<i>III.2.2 Evaluation des impacts</i>	
<i>Conclusion générale</i>	
<i>Perspectives</i>	
<i>Annexes</i>	

Liste des tableaux

Tableau N° 1 : Les mots clefs associés à l'environnement.....	02
Tableau N° 2 : Sources et facteurs d'impacts associés aux thèmes environnementaux...	11
Tableau N° 3 : Déclinaison des thèmes environnementaux en facteurs d'impact dans l'entreprise.....	12
Tableau N° 4 : Correspondance des enjeux aux objectifs.....	18
Tableau N° 5 : Synthèse des politiques et enjeux environnementaux.....	22
Tableau N° 6 : Principales caractéristiques des différentes catégories de méthodes d'évaluation des performances environnementales.....	52
Tableau N° 7 : Critères d'évaluation qualitative des impacts.....	54
Tableau N° 8 : Plan environnement entreprise.....	57
Tableau N° 9 : La gamme des processus d'évaluation environnementale.....	58
Tableau N° 10 : Survol historique des analyses de cycle de vie.....	60
Tableau N° 11 : Normes ISO 14000 dans le domaine de l'environnement et de l'analyse de cycle de vie.....	61
Tableau N° 12 : Les logiciels utilisés par la démarche ACV.....	67
Tableau N° 13 : Liste des impacts des méthodes ACV proposés dans SimaPro7.1.....	69
Tableau N° 14 : Liste simple des sources d'impact liées au procédé de fabrication.....	79
Tableau N° 15 : Liste descriptive de la phase opérationnelle des deux cimenteries.....	80
Tableau N° 16 : Critères d'évaluation qualitative des impacts.....	81
Tableau N° 17 : Critères d'évaluation qualitative des impacts engendrés par les deux cimenteries.....	81
Tableau N° 18 : Questions socioéconomiques ; activité et impacts.....	82
Tableau N° 19 : Expression symbolique de la variation des impacts.....	83
Tableau N° 20 : Matrice symbolique d'impact des deux processus de fabrication.....	84
Tableau N° 21 : Matrice simple des deux cimenteries.....	85
Tableau N° 22 : Taux de consommation de matières de base pour la production du ciment.....	87
Tableau N° 23 : Données entrants et sortants des cimenteries –inventaire de données..	88
Tableau N° 24 : Inventaire des aspects et impacts environnementaux des deux cimenteries.....	89
Tableau N° 25 : Fiche des facteurs sensibles et maîtrise des aspects environnementaux.....	93
Tableau N° 26 : Taux de consommation de matières premières/ tonne de ciment.....	97
Tableau N° 27 : Taux d'émission atmosphérique/ tonne de matières premières/ tonne de ciment.....	98
Tableau N° 28 : Taux d'émission atmosphérique/ tonne de calcaire.....	98
Tableau N° 29 : Les catégories d'impacts de la voie sèche.....	99
Tableau N° 30 : Les éléments contribuant aux catégories d'impacts voie sèche.....	99
Tableau N° 31 : Taux de contribution du CO ₂ aux impacts liés au CO ₂ VS.....	101
Tableau N° 32 : Taux de contribution du CO aux impacts liés au CO VS.....	101
Tableau N° 33 : Taux de contribution du NO ₂ aux impacts liés au NO ₂ VS.....	102
Tableau N° 34 : Taux de consommation de matières premières voie humide.....	102
Tableau N° 35 : Taux d'émission atmosphérique/tonne de matières premières /tonne de ciment.....	102
Tableau N° 36 : Taux d'émission atmosphérique/ tonne de calcaire.....	103
Tableau N° 37 : Les catégories d'impacts de la voie humide.....	103
Tableau N° 38 : Les éléments contribuant aux catégories d'impacts VH.....	104
Tableau N° 39 : Taux de contribution de CO ₂ aux impacts liés à l'émission du CO ₂ ...	104

Liste des tableaux

Tableau N°40 : Taux de contribution de CO aux impacts liés à l'émission du CO.....	105
Tableau N°41 : Taux de contribution de NO ₂ aux impacts liés à l'émission de NO ₂	105
Tableau N°42 : Comparaison des consommations de matières premières VS/VH.....	108
Tableau N°43 : Comparaison des émissions atmosphériques VS/VH/T de matière premières.....	108
Tableau N° 44 : Impacts environnementaux générés par les deux procédés VS/VH.....	109
Tableau N°45 : Contribution des éléments aux impacts environnementaux VS/VH.....	109
Tableau N°46 : Impacts générés par un mètre cube d'eau.....	112
Tableau N° 47 : Comparaison des méthodes d'évaluation environnementale classique Et ACV.....	114
Tableau N°48 : Inventaire de données de production de la liquide vaisselle et multi usage.....	120
Tableau N°49 : Comparaison des taux de consommation des tensio-actifs- LV/MU.....	120
Tableau N° 50 : Comparaison des taux de consommation d'emballage LV/MU.....	121
Tableau N°51: Comparaison des rejets des tensio-actifs LV/MU.....	121
Tableau N°52 : Les catégories d'impacts générées multi usage et liquide vaisselle.....	122
Tableau N° 53 : Eléments contribuant aux catégories d'impacts générées LV et MU...	122
Tableau N°54 : Contribution des tensio-actifs-à la toxicité humaine par l'eau LV/MU.....	124
Tableau N°55 : Taux de contribution du rejet de 1g/L de tensio-actifs- à la toxicité humaine par l'eau LV/MU.....	125
Tableau N°56 : Taux de consommation des tensio-actifs- LL/PL.....	125
Tableau N° 57 : Inventaire des données de production liquide linge et poudre linge....	126
Tableau N°58 : Taux de consommation d'additifs LL /PL.....	127
Tableau N° 59 : les catégories d'impacts générées liquide linge et poudre linge.....	127
Tableau N°60 : Eléments contribuant aux catégories d'impacts générées LL et PL.....	127
Tableau N° 61 : Taux de contribution aux impacts globaux LL/PL.....	128
Tableau N° 62 : Inventaire du sirop DENORAL.....	133
Tableau N°63 : Inventaire du sirop Histagan et Timonal.....	134
Tableau N° 64 : Impacts générés par sirops - Méthode CML 92.....	135
Tableau N° 65 : Contribution aux impacts générés par les sirops.....	135
Tableau N°66 : Inventaire de forme pommade.....	140
Tableau N° 67 : Impacts générés par les pommades - Méthode EPD 2007.....	141

Liste des figures

Figure N°1 : Conception objective et biocentrique de l'environnement.....	03
Figure N°2 : Conception subjective et anthropocentrique de l'environnement.....	04
Figure N°3 : Conception technocentrique de l'environnement.....	04
Figure N°4 : Vie sociale et économie.....	05
Figure N°5 : Vie sociale, économie et environnement.....	06
Figure N°6 : Champs du développement durable.....	06
Figure N°7 : Les sphères ; vie sociale, économie et environnement.....	07
Figure N°8 : Les éléments physiques des trois sphères.....	07
Figure N°9 : Les éléments physiques des trois sphères.....	08
Figure N°10 : Parties intéressées en relation avec l'entreprise.....	14
Figure N°11 : Système en relation avec l'entreprise.....	17
Figure N°12 : Système société-environnement régulé.....	19
Figure N°13 : Roue de DEMING.....	51
Figure N°14 : Progression du niveau de compétence de l'industrie en fonction du niveau des objectifs environnementaux visés par les méthodes d'évaluation.....	52 55
Figure N°15 : Positionnement des méthodes multi-phases.....	63
Figure N°16 : Etape de l'analyse de cycle de vie.....	
Figure N°17 : Frontières et processus élémentaires d'un système de produits.....	63
Figure N°18 : Liste non exhaustive de catégories intermédiaires et catégories de dommage.....	65
Figure N°19 : Etapes de calcul des impacts.....	66
Figure N° 20 : Taux de consommations des matières premières/T de ciment.....	97
Figure N°21 : Etude comparative des impacts VS/ VH.....	111
Figure N°22 : Comparaison des catégories d'impacts LV/MU.....	124
Figure N°23 : Comparaison des catégories d'impacts lave-linge.....	128
Figure N°24 : Comparaison de l'impact eutrophisation –sirop.....	136
Figure N°25 : Comparaison de l'impact déchets -sirop.....	136
Figure N°26 : Comparaison de l'impacts ressources énergétiques- sirop.....	137
Figure N° 27 : Contribution du DCO à l'eutrophisation –sirop.....	138
Figure N° 28 : Comparaison des catégories d'impacts de forme sirop.....	139
Figure N° 29 : Comparaison des catégories d'impacts forme pommade.....	143

Introduction générale

Introduction générale

De multiples problèmes environnementaux d'origine anthropique affligent le monde contemporain : la désertification, la pollution et la dégradation de l'eau, de l'air et du sol, les diverses formes de micropollution (pluies acides, destruction de la couche d'ozone, effet de serre), la dégradation de l'habitat et des écosystèmes ainsi que les pertes de biodiversité sont désormais reconnues à l'échelle mondiale.

La prise en compte de l'environnement a été traditionnellement déclinée soit par impact environnemental (déchets, pollutions, consommation d'énergie...), soit par secteur d'activités (Industries, transports...), ces approches sont souvent révélées trop parcellaires pour justifier du bienfondé environnemental des efforts à réaliser. La diminution d'un tel ou tel impact modifiait les autres caractéristiques des systèmes considérés, sans que l'on puisse évaluer la pertinence globale de ces modifications : par exemple un changement de matériau permettant de diminuer les consommations d'énergie [1].

Au début des années 90 [2], des approches multicritères appelées encore écobilans (consommation de matières et d'énergies, émissions dans l'air et dans l'eau, déchets), ont été mise en œuvre, dans le but de prise en compte de l'ensemble des étapes du cycle de vie des produits, depuis leur fabrication jusqu'à leur élimination finale en passant par leur phase d'utilisation. Par la suite, le développement de la normalisation internationale (famille des normes ISO 14040) a fixé des bases méthodologiques et déontologiques et retenu le terme «Analyse de cycle de vie » (ACV) à la place d'écobilan.

L'ACV est l'outil le plus abouti. Elle peut être utilisée au sein de démarches de développement durable, notamment celles orientées sur les produits. Néanmoins, il ne traite que de la dimension environnementale (voire, dans certains cas rares, économique) et non de l'axe social ou sociétal du développement durable.

Dans le but d'identifier les problèmes dans la chaîne de production et d'aider l'industriel à trouver les meilleurs procédés et les meilleurs produits en termes d'impacts, et de développer une «optimisation environnementale» des produits et des procédés, nous avons essayé d'appliquer différentes méthodes d'évaluation environnementale : système management environnementale (SME), les matrices d'impact et l'outil d'aide à la décision (Analyse de Cycle de Vie) pour trois types d'industrie à savoir :

- l'industrie lourde (cimenterie),
- l'industrie chimique (détergent)
- l'industrie pharmaceutique.

Ces applications ont été suivies d'une étude critique de toutes les méthodes utilisées, notamment en ce qui concerne l'identification et l'évaluation des impacts potentiels générés par chaque activité productrice de façon qualitative et quantitative et ce dans le but d'optimiser l'une de ces méthodes, qui est l'ACV.

Dans le but d'optimiser la démarche ACV, nous avons essayé de déterminer les impacts environnementaux potentiels par différentes méthodes d'évaluation : IMPACT 2002+, CML92, EDIP 2003, EPD 2007, et de réaliser des études comparatives selon :

- Différence de processus de fabrication exemple ; voie humide et voie sèche pour le cas du ciment.
- Selon la différence d'utilisation ; cas de liquide vaisselle et multi usage.
- Selon la différence de composition ; cas de sirops, liquide vaisselle et multi usage.
- Selon la forme de produit pour un même usage ; cas de détergent linge ; forme liquide et poudre

Introduction générale

- Selon la forme et composition ; cas des pommades médicamenteuses à divers usage.

Pour la réalisation du présent travail, une étude bibliographique a été réalisée, elle aborde plusieurs thématiques :

- Chapitre I : L'industrie et l'environnement ; qui donne des définitions précises de l'environnement et de l'industrie dans un sens large, ainsi que la relation existante entre ces deux entités, avec quelques exemples des industries très polluantes (industrie du ciment, de détergent et pharmaceutique), celles-ci sont étudiées en détail dans la partie expérimentale. Ce chapitre traite la réglementation Algérienne qui régit les industries, notamment en termes de pollution (rejets liquide, atmosphérique et déchets solides), les obligations réglementaires pour chaque industrie surtout ; l'acquisition des autorisations d'exploitation, paiement des taxes pour les industries polluantes, les études d'impacts et des audits environnementaux...
- Chapitre II : Outils d'intégration environnementale, dans ce chapitre, on traite les différents outils d'intégration et d'évaluation environnementale des projets (en phase de réalisation) et des entités existantes (en pleine activité), des détails approfondis seront donnés pour chaque méthode d'évaluation environnementale ainsi que les différentes étapes d'application.
- Chapitre III : dans ce chapitre on a essayé de donner des notions de base sur l'approche analyse de cycle de vie (ACV), qui est l'une des méthodes d'évaluation environnementale et des approches d'aide à la décision pour les industries ayant des politiques de gestion environnementale. Cette démarche prend en considération les différentes étapes de cycle de vie de produit depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini et sa fin dans l'environnement. Dans ce chapitre des définitions et des explications du lexique utilisé dans l'analyse de cycle de vie, des différentes phases de réalisation de l'ACV, les méthodes d'évaluation utilisées, ainsi que les différentes catégories d'impacts et des dommages, les différents outils d'analyse ou les logiciels utilisés pour la détermination des impacts engendrés par chaque activité, service ou produit. Des études critiques de certains travaux réalisés, dans le domaine d'évaluation environnementale des impacts d'une activité industrielle, ces études donnent un aperçu sur les différents impacts générés par divers types d'activités, de produits et de services. Des exemples d'application de la démarche ACV sont cités dans ce chapitre touchant tous les secteurs d'exercices des activités productrices de différents types de produits finis.
- Chapitre IV : Evaluation environnementale des industries algériennes, dont cette partie a été consacrée pour l'application de diverses méthodes d'évaluation environnementale classique ; système de management environnemental, matrice d'impact, et la démarche ACV (Analyse de Cycle de Vie) pour les trois secteurs d'activité.

Une étude analytique, critique et comparative des différentes méthodes d'évaluation appliquées pour différents processus de fabrication et produits. La quantification des impacts potentiels engendrés par chaque industrie a été réalisée par l'outil ACV. Celle-ci a permis d'identifier des éléments contribuant à chaque catégorie d'impacts par utilisation des différentes méthodes d'évaluation.

Ce travail a été finalisé par une conclusion générale permettant sélectionner l'une des méthodes utilisées, lesquelles est la plus flexible, la plus simple, la plus rapide, tout en fournissant un outil de prise de décision, en adressant des recommandations aux industriels exerçant ces activités.

Chapitre I
Industrie, environnement et
réglementation

I. Introduction

Nous prenons aujourd'hui conscience des limites de notre environnement : menaces d'épuisement des ressources surexploitées, dépassement des capacités d'auto-épuration des milieux utilisés comme réceptacles de nos résidus, perturbation des équilibres de la planète.

Les entreprises, qui sont un des maillons de la chaîne de l'activité humaine, doivent ainsi intégrer de nouveaux critères de protection de l'environnement dans leur fonctionnement.

L'activité industrielle ne saurait fonctionner harmonieusement sans une administration capable de fixer des normes, d'établir des procédures à suivre pour garantir leur application afin de tenir compte des conditions locales sans compromettre la qualité de la production.

Il est admis de nos jours que les produits sont la cause majeure de la pollution de l'environnement et de l'appauvrissement des ressources. C'est pourquoi les dispositions relatives à l'environnement en ce qui concerne l'établissement des normes peuvent avoir une influence significative sur la portée de ces impacts sur l'environnement.

II. Contexte Société - Environnement

II.1 Définition

Pour comprendre ce contexte, il est très important de donner la définition de chaque terme utilisé

a)- Société : C'est l'ensemble des individus entre lesquels existent des rapports durables et organisés [1].

b)- Environnement : C'est l'ensemble des conditions naturelles (physique, chimique et biologiques) et culturelles (sociologiques) dans lesquelles les organismes vivants (et en particulier l'homme) se développent [1]. Il est défini aussi suit :

- Ce qui entoure, qui constitue le voisinage
- L'entourage habituel d'une personne, milieu dans lequel elle vit
- L'ensemble des éléments naturels et artificiels qui conditionnent la vie humaine

II.2 Conception individuelle de l'environnement

Selon une enquête menée en 1982 auprès de 400 experts, scientifiques, industriels, fonctionnaires, responsables d'associations et élus, met en évidence la dispersion des préoccupations et conceptions associées au terme "environnement", fait apparaître quatre conceptions de l'environnement. [2]

- ***Une conception des spécialistes de l'environnement :*** l'approche est basée sur des réalités physiques considérant soit les éléments de la nature, constituants des écosystèmes, soit les pollutions, flux physiques agissant sur ces éléments. Ce type de conception s'apparente à la vision des scientifiques, qui observent et étudient les mécanismes de l'environnement.
- ***Une conception de l'environnement en tant que cadre de vie :*** elle considère un environnement proche, lié à la vie quotidienne. Des notions telles que la qualité de vie ou les nuisances ressenties sont représentatives. Ce type de conception est celui des usagers de l'environnement, qui subissent l'environnement sans en avoir le contrôle.
- ***Une conception morale et éthique de l'environnement :*** on met dans ce cas en avant la responsabilité de notre société face à la préservation d'un environnement "patrimoine de l'humanité". Ce type de conception s'apparente à une prise de position d'ordre moral, personnelle, adoptée par des individus sensibilisés aux problèmes environnementaux.

- **Une conception politique et sociale de l'environnement** : on considère dans ce cas l'importance des modes de gestion des échanges avec l'environnement. Ce type de conception est celui des décideurs et implique une volonté de contrôle des rapports à l'environnement. Elle se traduit par des interventions physiques sur l'environnement ou sur les pressions que la société lui fait subir.

Le tableau suivant regroupe les mots clefs associés aux différentes conceptions.

Tableau N°01 : Les mots clefs associés à l'environnement [2]

Discours des spécialistes pollution - nature	Conception morale
pollution toxiques risques déchets air - eau nature écologie ressources faune - flore - espèces milieu naturel écosystème biosphère	équilibre limite prévention antigaspillage éthique du vivant préservation de la vie pureté retour à la nature convivialité solidarité/génération futures développement soutenable patrimoine long terme bien-être
Cadre de vie quotidien	Conception politique et sociale
Bruit nuisance cadre de vie conditions de vie vie quotidienne paysages espaces verts confort encombrement propreté hygiène sécurité salubrité qualité de vie voisinage congestion stress	Aliénation autonomie civisme priorité aux besoins collectifs bien commun contrôle social de la décision autogestion écodéveloppement modes de vie alternatifs participation responsabilité démocratie locale solidarités de voisinage

Cette enquête met en évidence le fait qu'il n'existe pas une représentation unique de l'environnement, mais au contraire plusieurs conceptions de l'environnement dépendantes de l'individu.

II.3 Conceptions du couple société – environnement

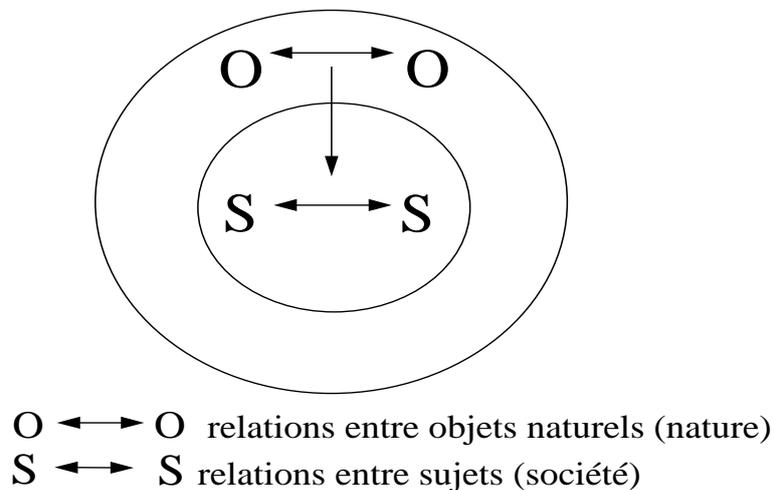
A partir de l'étude de différentes définitions et conceptions de l'environnement, J.Theys se penche plus précisément sur les positions réciproques de la société et de l'environnement, selon que ce dernier est considéré plutôt comme une ressource modelable ou une contrainte non contrôlable. La société est considérée comme le domaine regroupant l'ensemble des hommes et des structures liées à leurs activités, ou anthroposystème. J.Theys propose finalement trois conceptions irréductibles de l'environnement [3].

II.3.1 Conceptions objectives et biocentriques

L'environnement est assimilé à la nature, et peut se définir par une liste d' "objets" naturels (organismes vivants, ressources minérales, écosystèmes...) en interaction. La société, composée de sujets, n'est qu'un objet particulier de cette liste, fortement dépendant du fonctionnement de la nature.

Dans cette optique, l'environnement est considéré comme une contrainte à laquelle la société doit s'adapter.

Figure N° 01 : Conception objective et biocentrique de l'environnement [3]



II.3.2 Conception subjective et anthropocentrique

L'environnement est considéré comme un système de relations sujet/objet entre l'homme et son milieu. Dans cette conception, l'environnement n'est plus défini comme une contrainte mais comme une ressource que la société a la possibilité de gérer. L'environnement n'est pris en considération que dans la mesure où il est en relation avec la société (voir figure 2) [3].

II.3.3 Conception technocentrique

L'environnement dans est à la fois *dans* et *autour* de la société. Dans cette optique, la société et l'environnement sont des coproductions et s'imposent des contraintes mutuelles.

La conception technocentrique prend en compte l'existence d'un domaine où il est difficile de distinguer l'environnement de la société. On trouve dans ce domaine des objets à la fois naturels et artificiels, comme les espaces verts urbains ou les espaces agricoles cultivés [3].

Figure N°2 : Conception subjective et anthropocentrique de l'environnement [3]

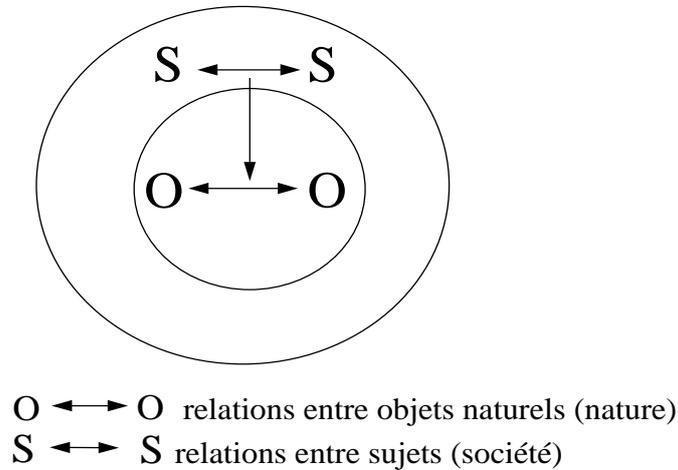
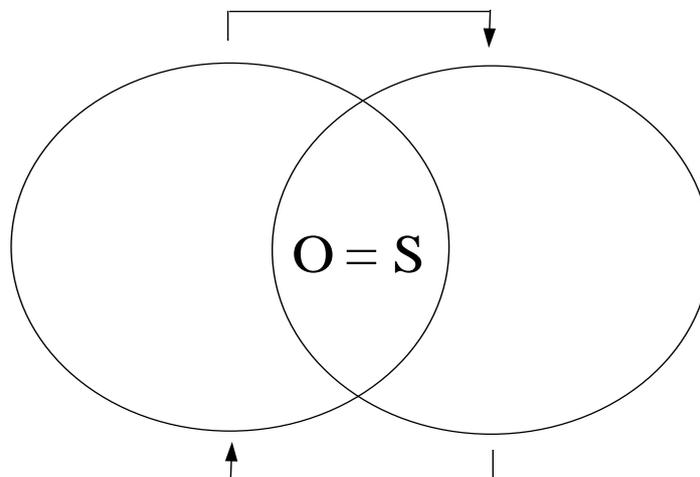


Figure N°3 : Conception "technocentrique" de l'environnement



II.4 Système société – environnement

II.4.1 Activité économique et vie sociale

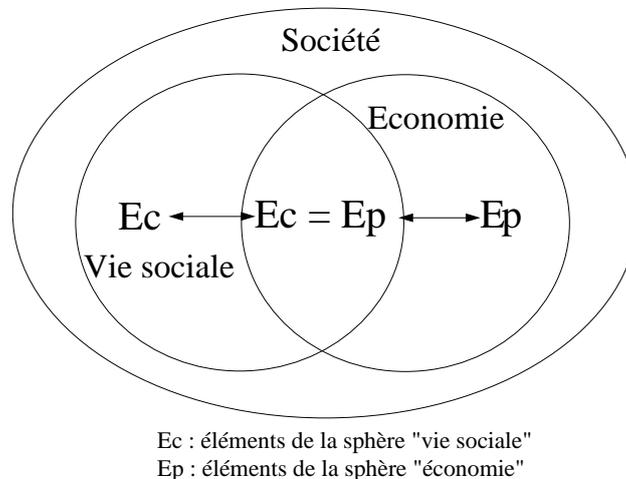
La société est considérée comme la réunion de deux sous-ensembles couvrant des champs d'activités distincts. L'un est représentatif de l'activité de production des entreprises (à travers le terme "entreprise", les organes de la société permettant la production des biens et des services monnayables). C'est la sphère "économie", dans laquelle sont présents des éléments producteurs définis à différents niveaux selon l'échelle considérée.

La sphère "vie sociale", est composée d'éléments ayant une activité non productive (au sens économique du terme).

Un domaine est commun à ces deux sphères, domaine dans lequel les éléments (sujets ou objets) des deux domaines d'activités sont confondus. C'est le cas pour la majorité des sujets : un ouvrier, producteur dans la sphère économique, est citoyen dans la sphère civile. De même,

si l'on s'intéresse aux objets physiques associés à ces deux sphères (villes, usines, routes...), on se rend compte qu'il est difficile de placer certains dans une sphère plutôt que dans l'autre. Ainsi, les infrastructures de transport sont utilisées de façon commune dans le fonctionnement de la vie sociale et de l'économie. Elles appartiennent donc au domaine intersection. La Figure N°4 représente ces sous-ensembles.

Figure N°4 : Vie sociale et économie



II.4.2 Relation à l'environnement

L'environnement peut être considéré selon plusieurs niveaux, traduisant son aspect multidimensionnel :

- niveau local (sols, nappes phréatiques)
- niveau régional ou continental (fleuves)
- niveau planétaire (atmosphère, climat)

J.F Becharies [4] a établis des relations avec l'environnement, dont il a fait apparaître :

- l'usage (utilisation sans destruction irréversible),
- le prélèvement (utilisation avec destruction),
- le rejet (pollution, nuisance),
- l'aménagement,
- l'accès,
- le voisinage,
- les relations symboliques (observation, étude...).

Cette représentation des trois sphères est utilisée pour situer le champ du développement durable. Le champ de la réflexion sur ce thème, consistant à trouver une stratégie gagnante pour chacun des domaines, - social, économique, environnement -, se trouve de fait dans la zone intersection des trois sphères (figure N°6) [5].

La représentation des sphères a l'avantage de faire apparaître les articulations entre chaque domaine, mais se révèle d'un usage assez lourd.

L'adoption d'une représentation éclatée de ces trois sphères permet de faire apparaître plus clairement les flux échangés entre elles (Figure N° 5).

Les trois éléments principaux de cette représentation (symbolisés par les sphères) se définissent par leur champ, c'est à dire les limites de l'ensemble qu'ils symbolisent et par leurs flux, intrants ou extrants, traduisant les échanges avec les autres éléments du système.

La sphère "vie sociale" adoptera plutôt une conception biocentrique car la perception de dépendance vis-à-vis de l'environnement y est plus forte. Par contre, la sphère "économie" adoptera plutôt une conception anthropocentrique, car l'environnement y est essentiellement considéré comme une ressource de matière et d'espace, et un puits d'élimination des déchets, sans contrainte directement apparente.

Figure N°5 : Vie sociale, économie et environnement [4].

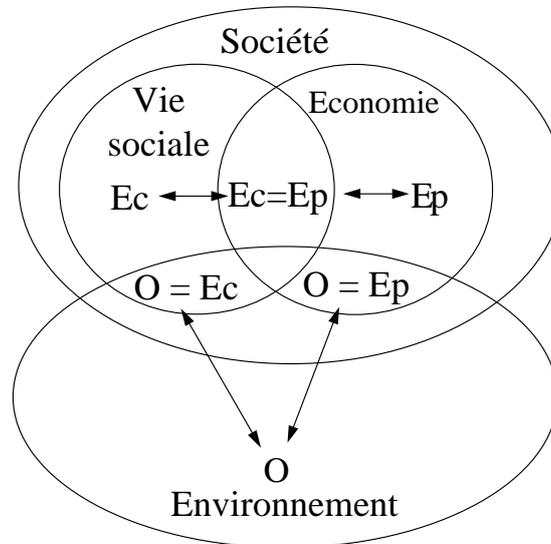
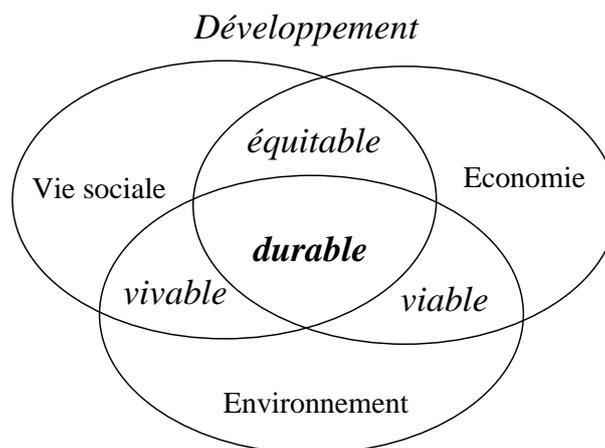


Figure N°6 : Champ du développement durable [5]



Sur la base de cette représentation globale, deux points seront détaillés : l'un porte sur les éléments physiques, ou "objets", ainsi que sur les échanges physiques entre sphères, l'autre sur les acteurs intervenant dans chaque sphère, ou "sujets", ainsi que sur les échanges d'information.

a)- Les objets

Les objets, représente les éléments physiques de chaque sphère, ainsi que la nature des flux physiques échangés (figure N°7, figure N°8).

b)- Vie sociale - Économie : la conséquence de l'activité commerciale entre la sphère "vie sociale" et l'économie est un flux de biens physiques et services, contre un flux monétaire.

c)- Vie sociale - Environnement : l'activité de la vie quotidienne conduit à un flux entre la sphère "vie sociale" et l'environnement comprenant principalement :

- * pour prélèvement ou usage,
- l'utilisation d'espace (par exemple pour le développement des villes, des infrastructures de transport),
- la "consommation" d'air,
- la consommation d'eau,
- la consommation de matières (premières ou transformées),
- la consommation d'énergie (sous différentes formes, directe pour le gaz ou les dérivés pétroliers, ou indirecte pour l'électricité),

Figure N°7 : Les sphères ; vie social, économie et environnement.

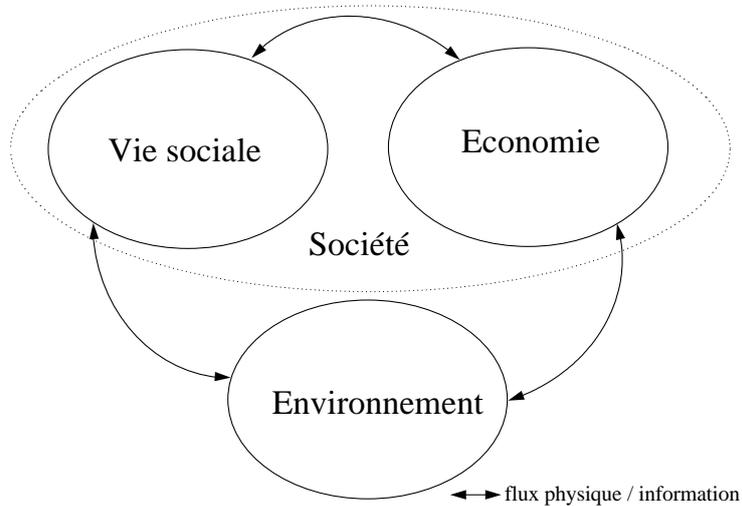
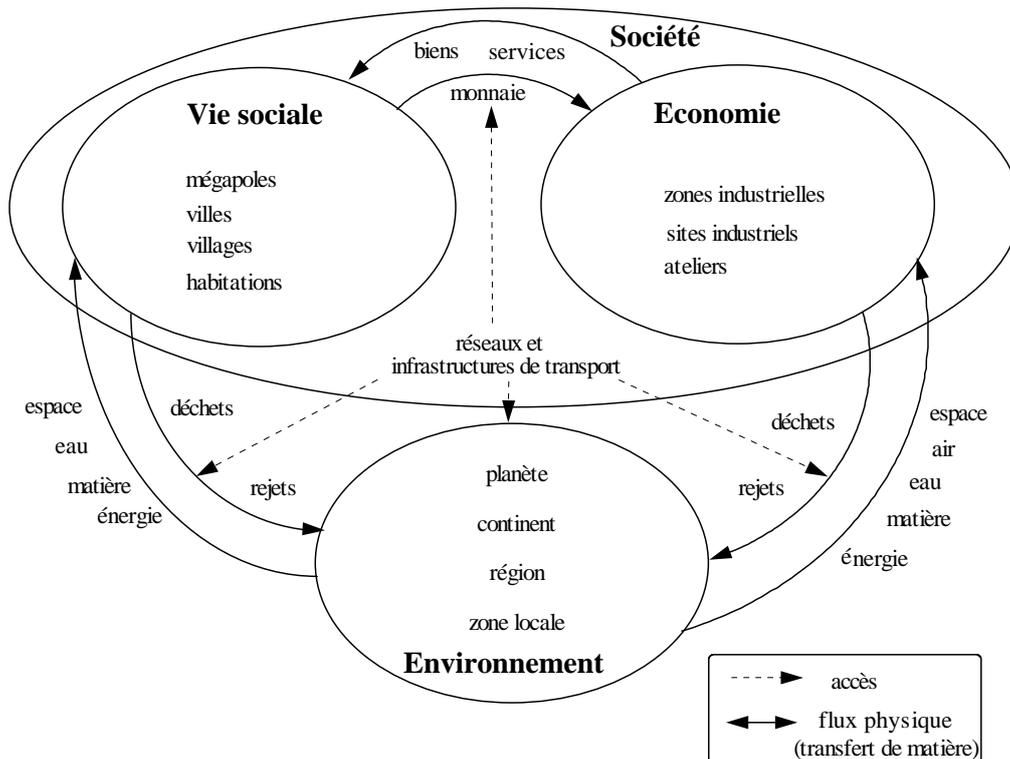


Figure N° 8 : Les éléments physiques des trois sphères



- * pour rejets,
- les rejets et émissions contrôlés ou non dans les milieux eau, air et sols,
- les déchets.

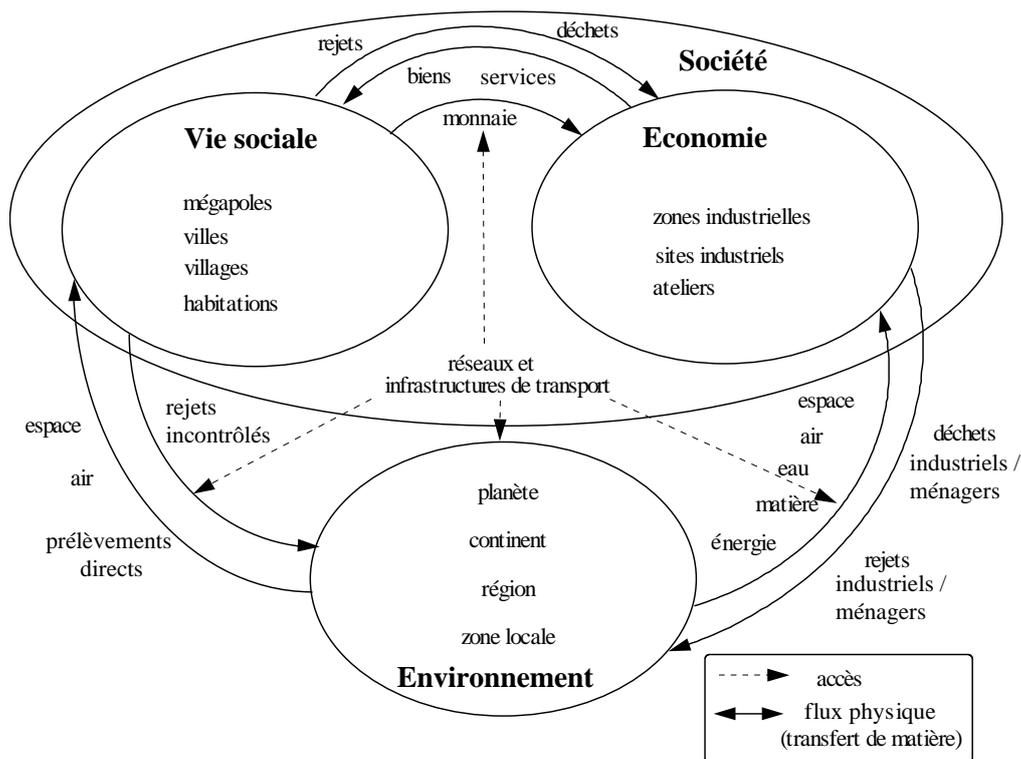
d)- *Économie - Environnement* : l'activité de production de biens et services conduit à un flux entre l'économie et l'environnement comprenant

- * pour prélèvement ou usage
- l'utilisation d'espace (pour l'implantation des entreprises, des infrastructures de transports)
- la "consommation" d'air,
- la consommation de ressources (matières premières, eau)
- la consommation d'énergie (sous différentes formes),
- * pour rejets
- les rejets contrôlés ou non dans les milieux eau, air, sols,
- les déchets générés par l'activité industrielle.

En fait, ce choix de comptabilité des flux n'est approprié que si l'on considère les sphères et leurs échanges deux à deux, mais ne paraît pas adapté à une représentation globale.

Si l'on souhaite réaliser une comptabilité globale des prélèvements et rejets, il est préférable d'adopter par la suite un autre type de représentation, qui s'attache à la réalité économique des échanges. Dans ce deuxième cas, le flux entre la vie sociale et l'environnement se limite à l'occupation d'espace, à la "consommation" d'air, aux prélèvements directs et rejets non contrôlés. Les flux sont représentés dans la figure N°9.

Figure N°9 : Les éléments physiques des trois sphères [1]



Cette représentation, si elle permet une affectation réelle des flux physiques, ne résout en rien le problème de l'affectation des responsabilités associées à ces flux physiques.

II.4.2.1 Echange de flux : des facteurs d'impact sur l'environnement

a)- Facteur d'impact, effet et impact

P. Rousseaux [6] définit un *effet* comme le résultat d'une action sur une cible : Une substance (a) a un effet potentiel sur une cible, effet qui se réalisera si (a) rencontre la cible. L'impact de (a) sur la cible correspond aux effets observés après la rencontre, en comparant l'état initial et l'état final de la cible. La substance (a) est un facteur d'impact, car elle est connue pour son implication dans l'effet potentiel considéré.

La distinction entre effet, impact, et facteur d'impact est également abordée par E. Labouze [7] :

- *L'effet* est un événement qui est la conséquence objective de l'action envisagée.
- *L'impact* est la transposition subjective de cet événement sur une échelle de valeur ; il est le résultat d'une comparaison entre deux états, un état de référence et un état qui résulte de l'action envisagée.

- Effet = Phénomène observé au niveau de l'élément causal.
- Impact = État de référence après l'effet - État de référence avant l'effet.

Le comité technique 207 de l'ISO, chargé de la normalisation environnementale, fait également la distinction entre impact et facteur d'impact, en définissant :

- *l'impact environnemental* : comme toute modification sur l'environnement, négative ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme [8].

- *l'aspect environnemental* : comme élément des activités, produits ou services d'un organisme susceptible d'interagir avec l'environnement (un aspect environnemental significatif est un aspect environnemental qui a ou peut avoir un impact environnemental significatif) [8].

Le terme "aspect environnemental" utilisé par l'ISO correspond au terme "facteur d'impact" jusqu'alors employé.

III. Problèmes environnementaux

Plusieurs listes et classifications de ces thèmes coexistent, ces thèmes environnementaux se croisent, à la fois par milieu (air, eau sol...) et par "flux" (déchets, nuisances, ressources...) [9].

- **Air :**
 - Changement climatique
 - Appauvrissement de la couche d'ozone
 - pollution acide
 - pollution de l'air par l'ozone troposphérique
 - pollution de l'air par le dioxyde de soufre et les particules en suspension
 - pollution de l'air par le plomb
 - pollution de l'air par les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone
- **Eau :**
 - pollution des eaux d'origine agricole : les nitrates
 - pollution des eaux d'origine agricole : les produits phytosanitaires
 - assainissement et épuration des collectivités locales
 - pollution industrielle des eaux
 - qualité des eaux destinées à la consommation humaine

- qualité des eaux de baignade
- qualité globale des cours d'eau
- qualité des eaux marines
- **Sol** : sites et sols pollués
- **Nature, biodiversité et paysage** :
 - biodiversité
 - protection du territoire
 - paysage et ville
- **Déchets** :
 - valorisation des déchets municipaux
 - récupération et recyclage
 - évolution de la gestion des déchets
 - gestion du combustible nucléaire irradié
- **Bruit** : bruit lié au réseau national routier et ferroviaire
- **Risque** :
 - prévention des risques naturels
 - risques technologiques
 - sûreté nucléaire
- **Ressources naturelles** :
 - ressource en eau
 - ressources liées au sol et au sous-sol
 - ressources en bois
 - énergies renouvelables
- **Épuisement** :
 - des ressources non renouvelables :
 - non recyclables (matières fossiles et fissibles)
 - recyclable (matières minérales)
 - des ressources renouvelables (biomasse)
 - de l'espace
- **Pollution** :
 - effet de serre
 - destruction de l'ozone stratosphérique
 - toxicité humaine
 - écotoxicité
 - acidification
 - formation de photooxydants
 - eutrophisation
 - mise en décharge des déchets
 - radioactivité
 - pollution thermique
 - bruit
 - odeur
- **Perturbation** :
 - Désertification
 - dégradation des paysages
 - dégradation des écosystèmes
 - sécurité

III.1 Facteurs d'impact associés aux thèmes environnementaux

Selon l'approche de l'IFEN [9], chaque source et facteurs d'impacts, sont associés à un thème environnemental. Ils sont représentés dans le tableau N°2.

Tableau N°2 : Sources et facteurs d'impacts associés aux thèmes environnementaux [9]

<i>Air</i>		
Thème	Facteur d'impact	Source
Changement climatique	vapeur d'eau, CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O + CFC, O ₃ (précurseurs NO _x , COV)	CO ₂ : déforestation, combustion de combustibles fossiles CH ₄ : fermentation, combustion N ₂ O : procédés industriels, activité agricole
Appauvrissement de la couche d'ozone	CFC, HCFC, halons	CFC : aérosols, réfrigérateurs, agents moussants/nettoyants halons : agents d'extinction
Pollution acide	SO ₂ , NO, NO ₂ , NH ₃ , HCl	SO ₂ : combustion de combustibles fossiles (41% industriel) NO _x : transport, centrales thermiques, combustion industrielle NH ₃ : activité agricole
Pollution de l'air par l'ozone troposphérique	O ₃ , (précurseurs NO _x ; COV : CH ₄ , CO... ; COVNM : phénols, benzène, CCl ₄ , CFC, PCB...)	NO _x : transport, centrales thermiques, combustion industrielle CH ₄ : fermentation, combustion COVNM : source naturelle, transport, utilisation de solvant (23,2%)
Pollution de l'air par le dioxyde de soufre et les particules en suspension	SO ₂ , particules	particules : procédés industriels (44%), transport routier SO ₂ : combustion de combustibles fossiles (41% industriel)
Pollution de l'air par le plomb	Pb	industrie des métaux non ferreux, circulation automobile
Pollution de l'air par les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone	CO, NO ₂	NO _x : transport routier (68%) CO : transport routier (60%)
<i>Eau</i>		
Thème	Facteur d'impact	Source
Pollution des eaux d'origine agricole : les nitrates	nitrates, phosphates	activités agricoles
Pollution des eaux d'origine agricole : les produits phytosanitaires	plus de 500 substances actives	activité agricole (lutte contre les parasites)
Assainissement et épuration des collectivités locales	degré d'épuration des MO, MES, MA, MP	Eaux usées domestiques, rejets industriels, eaux pluviales
Pollution industrielle des eaux	rejets industriels : MO, MES, MA, MP, polluants toxiques	activité industrielle MO : agro-alimentaire (45%) toxique : chimie (45%), traitement de surface (40%)
Qualité des eaux destinées à la consommation humaine	contamination microbiologique, toxique	plomb : canalisations en plomb nitrates : activité agricole
Qualité des eaux de baignade	contamination microbiologique	eaux usées et pluviales non traitées, activité agricole
Qualité globale des cours d'eau	-	-

Chapitre I : Industrie, environnement et réglementation

Qualité des eaux marines	contamination chimique (métaux, DDT, lindane, PCB...), microbiologique, phytotoxines	-
Sol		
Thème	Facteur d'impact	Source
Sites et sols pollués	substances polluantes	activités anthropiques
Nature, biodiversité et paysage		
Thème	Facteur d'impact	Source
Biodiversité	tous rejets, destruction des habitats, sélection des races et cultures	Activités anthropiques, élevage et agriculture
Protection du territoire	-	-
Paysage et ville	réseaux électriques, chartes pour l'environnement	-
Déchets		
Thème	Facteur d'impact	Source
Valorisation des déchets ménagers et assimilés	déchets ménagers et assimilés, boues d'épuration	collectivités, entreprises
Récupération et recyclage	papier-carton, verre, huiles usagées	ménages, entreprises
Évolution de la gestion des déchets	OM, DIB, DIS	collectivités, entreprises
Gestion du combustible nucléaire irradié	combustible nucléaire irradié	centrales nucléaires
Bruit		
Thème	Facteur d'impact	Source
Bruit lié au transport	bruit lié au transport	transport aérien et terrestre
Risque		
Thème	Facteur d'impact	Source
Prévention des risques naturels	risques naturels	-
Risques technologiques	explosion, incendie, pollution accidentelle	sites industriels
Sûreté nucléaire	accidents, incidents, pollution accidentelle	activités nucléaires
Ressources naturelles		
Thème	Facteur d'impact	Source
Ressource en eau	précipitation, prélèvement	refroidissement des centrales thermiques (60%), prélèvements industriels (12%), irrigation (12,5%)
Ressources liées aux sols et aux sous-sols	extraction granulats, métaux	exploitation des carrières, mines
Ressources en bois	prélèvement de bois	bois d'œuvre (46%), d'industrie (23%), de feu (31%)
Énergies renouvelables	Energie hydroélectrique, biomasse / déchets, solaire, éolien, géothermique	barrages, déchets urbains, biocarburants...

III.2 Thèmes environnementaux et facteurs d'impact dus à l'activité industrielle

La liste des thèmes et des facteurs d'impact pertinents vis-à-vis de l'activité industrielle, sont construits en croisant l'approche "procédé" et les thèmes environnementaux globaux, sans tenir les thèmes qui ne concernent pas directement l'activité industrielle, (marginiaux dans ce cadre).

Les différents thèmes environnementaux considérés sont représentés dans le tableau N°3, et répartis suivant trois catégories, - prélèvements, rejets et nuisances -, ainsi que leur correspondance en terme de facteurs d'impact industriels. Le thème "Risque" est pour sa part

classé séparément, dans la mesure où il concerne une probabilité d'impact et non un impact effectif.

Tableau N° 3 : Déclinaison des thèmes environnementaux en facteurs d'impact dans l'entreprise

<i>Thèmes environnementaux</i>	<i>Milieux concernés</i>	<i>Facteurs d'impact industriels</i>
PRELEVEMENTS		
Ressources en eau	Eau	Consommation en eau
Ressources liées aux sols et aux sous-sols : Épuisement des ressources non renouvelables non recyclables (matières fossiles et fissibles)	Ressources Sol	Consommation énergétique (gaz, fuel, charbon, électricité...)
Ressources liées aux sols et aux sous-sols : Épuisement des ressources non renouvelables recyclables (matières minérales)	Ressources Sol	Consommation en matières minérales
Ressources renouvelables (biomasse)	Ressources Sol	Consommation en matières premières renouvelables
Ressources renouvelables : énergies renouvelables	Ressources Sol	Consommation en énergie renouvelable
Espace	Sol	Occupation d'espace par le site
REJETS		
Rejets atmosphériques		
Changement climatique	Air	Rejets atmosphériques en gaz à effet de serre (H ₂ O _{vap} , CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CFC, O ₃ , + précurseurs NO _x , COV, PAN...)
Appauvrissement de la couche d'ozone	Air	Rejets atmosphériques en gaz réducteurs de l'ozone (CH ₄ , NO _x , CFC, HCFC, halons...)
Contamination toxique de l'air	Air	Rejets atmosphériques de polluants toxiques
Acidification	Air	Rejets atmosphériques de composés acides (SO ₂ , NO _x , NH ₃ , HCl...)
Formation de photooxydants	Air	Rejets de précurseurs de O ₃ : NO _x : COV : CH ₄ , CO... ; COVNM : phénols, benzène, CCl ₄ , CFC, PCB...)
Rejets liquides		
Contamination toxique de l'eau et du sol	Eau, Sol	Rejets liquides de polluants toxiques
Eutrophisation	Eau	Rejets liquides en composés azotés, phosphorés, et matières organiques
Pollution thermique	Eau	Température des rejets liquides
Déchets		
Filières de traitement des déchets (mise en décharge, valorisation, récupération et recyclage)	Sol, Eau	DI, DIB, DIS, DU, emballages
Nuisances		
Bruit / vibrations	Air	Émissions de bruit / vibrations
Odeurs	Air	Émission d'odeur (rejets atmosphériques ou liquides)
Dégradation des paysages	Sol	Intégration dans le paysage
Risques		
Risques naturels	-	Prise en compte du risque (installations, matières premières, produits)
Risques technologiques : explosion, incendie	-	
Risques technologiques : pollution accidentelle	-	

Le lien entre facteur d'impact et impact est nécessaire pour hiérarchiser l'importance à accorder aux différents facteurs d'impact en fonction de la gravité des impacts associés. Le lien entre facteur d'impact et impact est également indispensable pour faire le lien entre les préoccupations au niveau de la sphère économique (maîtrise des flux) et celle des pouvoirs publics (réduction des impacts).

Cependant, une relation spécifique d'observation et d'étude de l'environnement est assurée par certains sujets de la société, qui sont donc dans ce cas représentés dans la sphère environnement, en tant que vecteurs de l'information sur l'environnement. Ils estiment l'état de l'environnement, mettent en évidence les dysfonctionnements et, si possible, leurs causes, et éventuellement proposent des possibilités de réponses.

IV. L'industrie et l'environnement

Les entreprises adoptent sur les relations entre société et environnement un point de vue anthropocentrique, selon lequel elles perçoivent l'environnement comme une ressource qu'elles exploitent. Or l'attitude qui leur est aujourd'hui demandée vis-à-vis de l'environnement, c'est à dire l'intégration de contraintes de protection, va à l'encontre de cette conception.

Plusieurs enjeux environnementaux actuellement sont présents dans les entreprises, ces dernières visent à suivre des politiques visant à organiser l'intégration de ces enjeux dans leurs préoccupations environnementales.

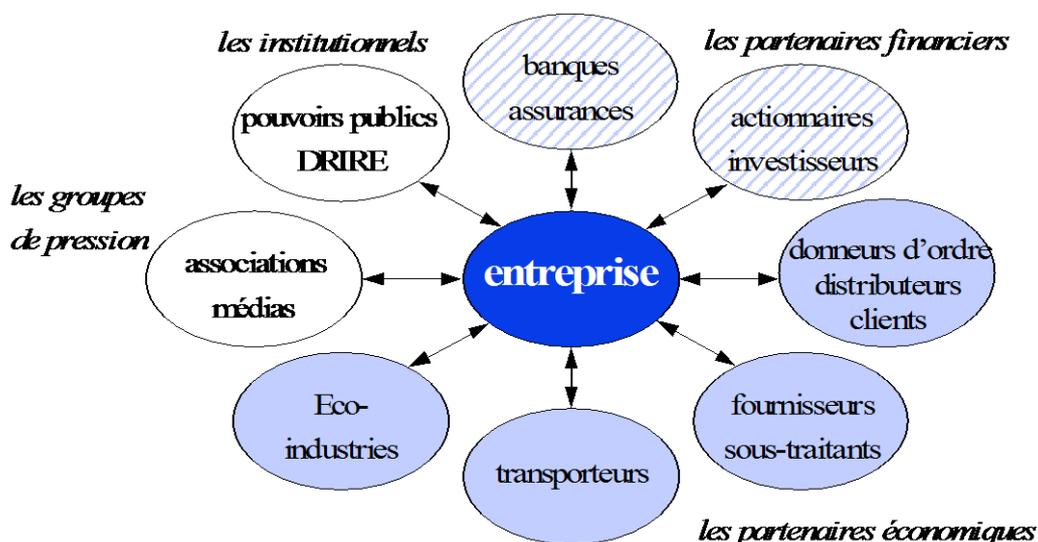
IV.1 Relation avec les "acteurs" de l'environnement

L'entreprise, acteur de la sphère économique, est en relation avec des acteurs de sa propre sphère, de la sphère vie sociale, de la sphère environnement et du système de décision. Ces différents acteurs peuvent, pour des raisons qui leur sont propres, faire intervenir l'environnement dans leurs rapports avec l'entreprise, ou se trouver en position de répondre à des attentes environnementales de l'entreprise : on les qualifie alors de "parties intéressées".

IV.1.1 Parties intéressées

Une partie intéressée est, selon la définition de l'ISO, un "individu ou groupe concerné ou affecté par la performance environnementale d'un organisme" [10].

Figure N° 10 : Parties intéressées en relation avec l'entreprise



IV.1.1.1 Partenaires économiques

Les attentes des parties intéressées du domaine économique s'inscrivent dans une chaîne de responsabilité : dans le cycle "fournisseur - producteur - client - éliminateur", la responsabilité environnementale est répartie sur chaque maillon de la chaîne.

- *Amont* : fournisseurs, sous-traitant, transporteurs...

L'entreprise peut avoir vis-à-vis de ses fournisseurs des attentes relatives à l'intégration de l'environnement dans leur fonctionnement.

- *Aval* : donneurs d'ordre, clients, distributeurs, transporteurs...

Les clients de l'entreprise peuvent avoir des attentes vis-à-vis de l'intégration de l'environnement dans son fonctionnement.

- *Spécifiques* : éco-industries

Les traiteurs de déchets jouent le rôle de d'éliminateurs des résidus de l'entreprise. Ils ont des exigences vis-à-vis de la nature des déchets qu'ils traitent, et l'entreprise a des exigences vis-à-vis des filières de traitement qu'ils mettent en œuvre.

IV.1.1.2 Partenaires financiers

- investisseurs, banques, car la non-prise en compte de l'environnement représente un risque pour la pérennité de l'entreprise
- assureurs, car l'intégration de l'environnement dans l'entreprise réduit le risque de pollution accidentelle

IV.1.1.3 Institutionnels

Pouvoirs Publics (qui édictent la réglementation), directions chargées du contrôle du respect de la réglementation, Agences de l'eau, institutions qui perçoivent des taxes sur les rejets industriels, financent des recherches et subventionnent des projets), les institutions qui interviennent sur les conditions du travail, liées à l'environnement ...

Ils imposent le respect de contraintes à l'entreprise (réglementation, taxes), et soutiennent les projets d'amélioration de prise en compte de l'environnement dans l'entreprise.

IV.1.1.4 Groupes de pression

Associations locales, associations de consommateurs, associations de protection de l'environnement, médias... En tant que consommateur des produits de l'entreprise, ou en tant que citoyens de la société, ils ont des attentes vis-à-vis du comportement environnemental de l'entreprise. C'est par l'intermédiaire des attentes vis-à-vis de l'environnement de ces parties intéressées que l'entreprise va se trouver confrontée aux préoccupations environnementales : la pression des parties intéressées, par l'intermédiaire des flux échangés avec l'entreprise, se traduit en termes d'enjeux environnementaux

IV.1.2 Enjeux environnementaux

Les objectifs de l'entreprise s'articulent autour de trois grands axes :

1. exister,
2. faire des profits,
3. se développer.

L'engagement dans une démarche d'intégration de l'environnement sera jugé à une des objectifs que se fixe l'entreprise.

L'identification des enjeux environnementaux consiste à :

- identifier les gains que peut apporter à l'entreprise une meilleure prise en compte de l'environnement,
 - identifier les risques que fait courir à l'entreprise la non-prise en compte de l'environnement.
- Dans la pratique, on généralise le terme d'"enjeu" aux facteurs impliquant des gains et risques.

Les enjeux environnementaux seront considérés comme pertinents ou non en fonction des objectifs que vise l'entreprise. En revanche, l'enjeu sera pertinent pour une entreprise se projetant sur le long-terme.

On trouve dans cette approche risque/gain une dualité entre approche réactive de l'entreprise, - prise en compte de l'environnement exclusivement sous la contrainte pour éviter un risque -, et une approche pro-active, prise en compte de l'environnement volontariste optimisant les gains.

L'approche réactive : est une approche à court-terme, n'offrant que peu de marge de manœuvre à l'entreprise (non-conformité brusque).

L'approche pro-active : se situe dans le moyen ou le long-terme, en s'appuyant sur des enjeux plus stratégiques que purement économiques pour l'entreprise : compétitivité, positionnement sur le marché, image de marque, pérennité de l'entreprise...

IV.1.2.1 Classification des enjeux environnementaux

L'entreprise échange avec les différentes parties intéressées trois types de flux principaux :

- flux de matière / produit
- flux monétaires
- flux d'information

Les parties intéressées par cet enjeu réglementaire sont de nature institutionnelle, les principales étant les directions chargées de l'inspection des installations classées. Mais d'autres acteurs sont aussi concernés par le respect de la réglementation, c'est le cas des actionnaires, des assurances, des banques, des riverains, des associations de protection de la nature...

Figure La figure N°10 reprend les différentes parties intéressées et les types de flux que l'entreprise échange avec chacune. Il est pris en considération le système "milieu naturel" sur lequel l'entreprise prélève éventuellement de la matière première (par exemple prélèvement d'eau dans un cours d'eau) et dans lequel elle rejette directement certains flux (par exemple rejets liquides dans un cours d'eau, rejets atmosphériques, nuisances...)

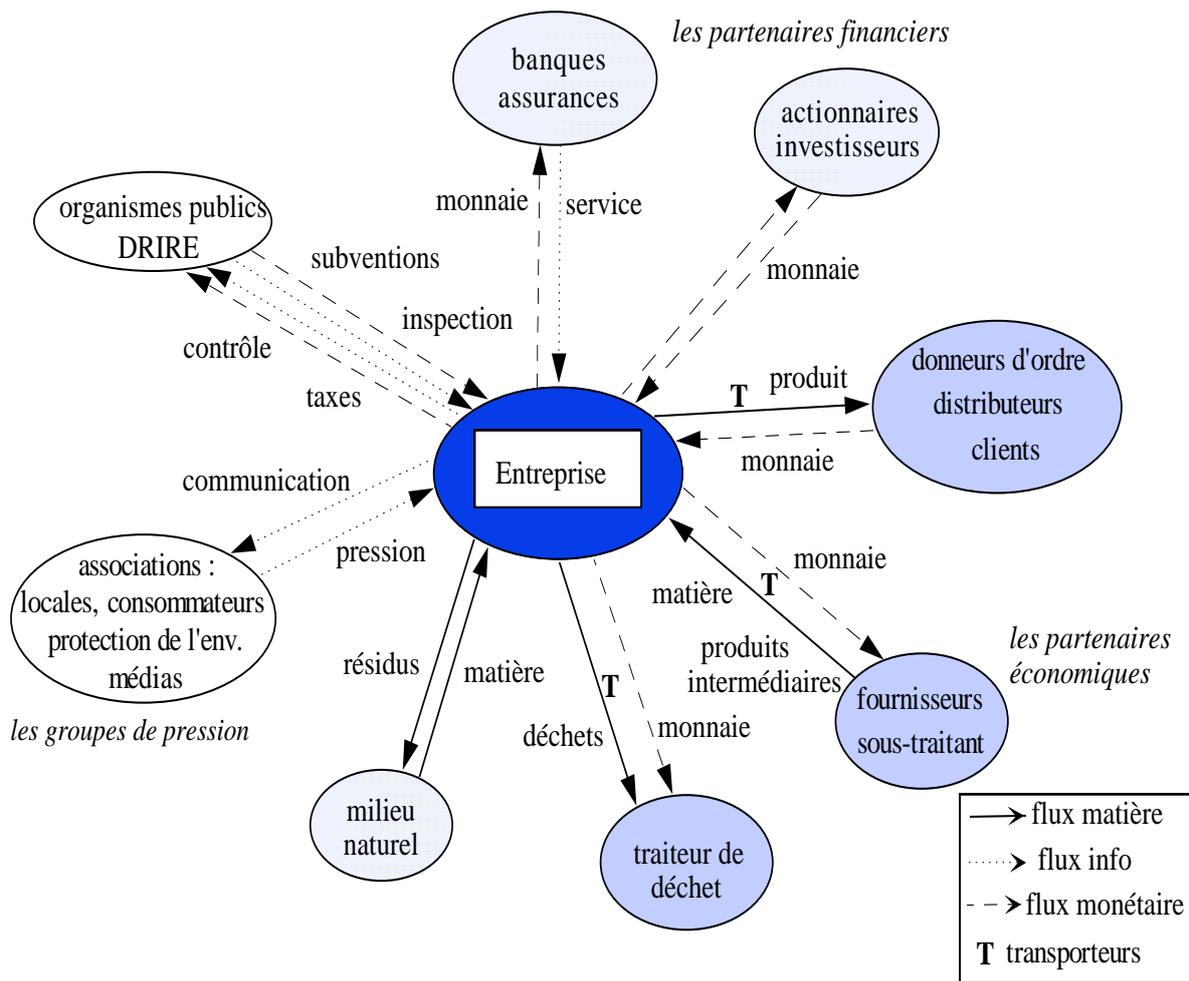
Sur la base de ces relations, on peut identifier des enjeux environnementaux généraux :

a)- Enjeux réglementaires : ils concernent la régulation des flux de matière échangés avec le milieu naturel (prélèvement, rejets) et, dans une certaine mesure, les partenaires économiques (matières dangereuses, produits dangereux, déchets spéciaux) et les groupes de pression (nuisances).

Pour réguler ces flux échangés avec le milieu, une réglementation environnementale est appliquée à l'entreprise, définissant des normes sur les rejets, les nuisances, des limites de prélèvement, des exigences quant à la maîtrise des risques dans les installations dangereuses...

Les parties intéressées par cet enjeu réglementaire sont de nature institutionnelle, les principales étant les directions chargées de l'inspection des installations classées. Mais d'autres acteurs sont aussi concernés par le respect de la réglementation, c'est le cas des actionnaires, des assurances, des banques, des riverains, des associations de protection de la nature...

Figure N°11 : Systèmes en relation avec l'entreprise



b)- Enjeux économiques : Ils concernent la régulation entre les flux de matière ou de produit et les flux monétaires. Il s'agit dans ce cas pour l'entreprise d'optimiser les coûts associés à l'intégration des préoccupations environnementales. Ces coûts se répartissent sur plusieurs postes de dépense : l'accès aux ressources (consommation de matières premières, d'énergie), le traitement des rejets (traitement des rejets, mise en décharge...), la réduction des risques (aménagement des stockages, des procédés...), la fiscalité environnementale (redevances sur l'eau, les déchets, les rejets atmosphériques...).

Les partenaires économiques et financiers sont également concernés par la maîtrise des coûts environnementaux dans l'entreprise.

Certains coûts sont quantifiables, comme la renégociation des primes d'assurances si l'entreprise montre qu'elle a réduit les risques de pollution accidentelle, d'autres sont plus difficiles à quantifier, comme les coûts potentiels d'une pollution accidentelle, en termes de dépollution que d'image de marque de l'entreprise.

c)- Enjeux stratégiques : Ils concernent la régulation entre flux de matière ou de produit, flux monétaire et flux d'information.

Il s'agit pour l'entreprise d'intégrer l'environnement de façon à différencier ses produits ainsi que son image, afin de gagner des parts de marché.

Les principales motivations pour l'intégration de l'environnement [11] :

1. Être en conformité avec la réglementation,
2. Réduire les coûts,
3. Conforter ou améliorer une image d'entreprise "responsable".

La correspondance des enjeux aux objectifs de l'entreprise, sont illustré dans le tableau suivant.

Tableau N°4 : Correspondance des enjeux aux objectifs

Enjeux	Objectifs
enjeux réglementaires	→ exister
enjeux économiques	→ faire des profits
enjeux stratégiques	→ se développer

L'intégration des enjeux environnementaux dans l'entreprise va se dérouler pour une partie par le biais d'une régulation politique, s'appuyant sur des outils formalisés et sur une organisation de contrôle, et pour une partie par le biais d'une régulation économique, par l'intermédiaire des pressions du marché.

IV.2 Régulation du système société-environnement

Dans le système société-environnement, différentes interactions existent :

- le système opérant, composé des trois sphères "Vie sociale", "Économie" et "Environnement",
- le système de décision, chargé de la régulation du système opérant, et dont les Pouvoirs Publics sont le principal acteur.
- le système d'information, assurant l'interface entre système opérant et système de décision.

Le système d'information assure la mémorisation et le traitement de l'information à destination du système de décision.

Deux systèmes d'information se cohabitent : l'un est *organisé et formel*, et assure effectivement la mémorisation et le traitement de l'information, l'autre est *diffus et informel*, représentant le bain d'information dans lequel baigne chaque élément de la société.

C'est par ce système informel que s'expriment les interactions entre Pouvoirs Publics et sujets de la société. La figure N°12 illustre les différents éléments du système et leurs relations.

Ainsi, à un problème environnemental donné, on peut fournir une réponse portant sur l'état de l'environnement ou sur les flux échangés.

Par exemple, face à un problème de pollution locale d'un cours d'eau, on pourra :

- le dépolluer, c'est à dire jouer sur son état (action curative).

- réduire la quantité de polluants rejetés, c'est à dire jouer sur les flux à l'origine de la pollution (action de régulation).
- empêcher le déversement de nouveaux flux (action préventive).

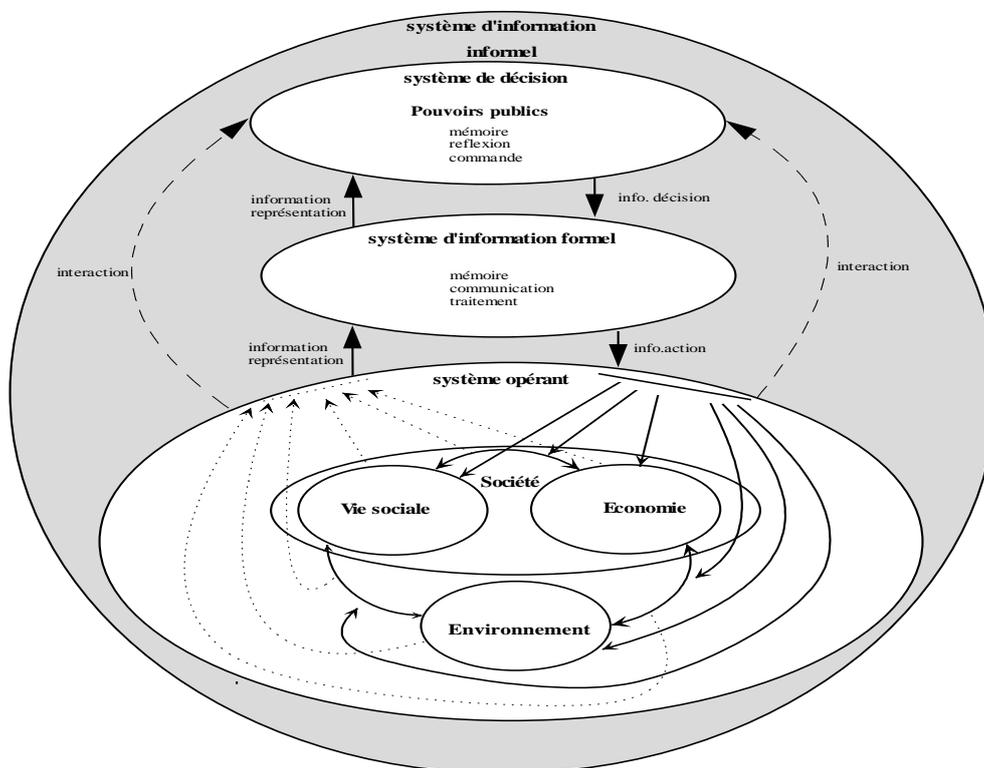
L'action sur l'état de l'environnement est en général une question de possibilités techniques et financières : pour dépolluer un sol ou un cours d'eau, il est nécessaire d'avoir une technologie performante et adaptée, ainsi que les moyens financiers de la mettre en œuvre.

IV.3 Régulation des relations entreprise-environnement

Il existe quatre principales approches de régulation [12], s'articulant autour des différents enjeux environnementaux :

- approche régaliennne (réglementation),
- approche économique (principe "pollueur-payeur"),
- approche contractuelle (labels),
- approche "citoyenne" (systèmes de gestion environnementale intégrée).

Figure N°12 : système société-environnement régulé [1]



Les deux premières approches conduisent à des politiques directives, d'application obligatoire, s'appuyant sur la contrainte, tandis que les deux dernières approches conduisent à des politiques de responsabilisation de l'entreprise, démarches d'application volontaire, s'appuyant sur la régulation du marché.

IV.3.1 Politiques directives

Les politiques de type directives, qui imposent aux entreprises des règles destinées à protéger l'environnement, correspondent à la première génération de mesures visant à faire entrer la préoccupation environnementale dans les entreprises.

IV.3.1.1 Politique réglementaire

La première de ces politiques directives est fondée sur la réglementation, qui rend obligatoire le respect de contraintes strictes pour l'entreprise. Ces contraintes concernent pour une part son fonctionnement interne, par l'édition de prescriptions de sécurité et de prévention des pollutions, mais aussi ses échanges avec l'extérieur, en imposant des normes sur les rejets en sortie des sites industriels, ainsi que parfois sur les prélèvements effectués.

IV.3.2 Politique économique

Les politiques économiques visent à internaliser les coûts environnementaux dans l'entreprise, selon le principe "pollueur-payeur". Le principe pollueur-payeur, selon lequel les frais résultant des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci doivent être supportées par le pollueur".

On distingue dans la pratique trois types d'écotaxes permettant la mise en œuvre du principe "pollueur-payeur" [13] :

- les redevances ou taxes affectées permettent de couvrir le coût des services environnementaux et des mesures de réduction de la pollution. Ces taxes sont peu élevées, peu dissuasives pour l'entreprise, mais fonctionnent sur le principe mutualiste.
- les taxes incitatives sont conçues pour modifier les comportements. Ces taxes sont élevées, et jouent un rôle dissuasif de part leur importance. Elles sont dans ce cas véritablement utilisées comme outil de régulation : en imposant une taxe sur la quantité de polluants rejetés, on donne un coût aux rejets, et il devient financièrement intéressant pour l'entreprise de réduire les quantités rejetées, et par conséquent la pollution de l'environnement.
- les écotaxes fiscales visent à augmenter les recettes fiscales, ces dernières pouvant être affectées à des projets de protection de l'environnement.

Les politiques économiques sont liées à l'enjeu économique qu'est la maîtrise des coûts dans l'entreprise et donc à sa compétitivité. Les outils des politiques économiques regroupent :

- **les taxes** portant sur les rejets de polluants dans l'eau, dans l'air ou sur les déchets (taxe parafiscale sur les émissions polluantes à l'atmosphère, redevance due au titre de la détérioration de la qualité de l'eau, redevance assise sur les prélèvements d'eau, redevance sur la mise en stockage des déchets, taxe sur le traitement et le stockage des DIS...)
- **les aides financières** liées aux investissements environnementaux dans les entreprises. (amortissements exceptionnels et accélérés, prêts préférentiels et subventions, aides au conseil...)

IV.3.3 Politique contractuelle

L'approche contractuelle consiste pour l'entreprise à s'engager sur la qualité "écologique" de ses produits. Cet engagement est utilisé comme un argument de communication externe, pesant sur le choix du consommateur lors de l'acte d'achat. Il joue sur l'image de marque de l'entreprise.

Cette approche connaît des limites, notamment quant à la crédibilité de l'argument "vert", puisque les engagements restent a priori au niveau de la déclaration d'intention, et n'ont pas de valeur légale.

Un système de certification externe, garantissant qu'un produit donné respecte mieux l'environnement que des produits classiques du même domaine, est actuellement développé. Il se traduit par l'attribution de labels environnement portés sur les produits.

L'approche contractuelle se heurte à la difficulté de définir des procédures d'évaluation : les méthodes d'analyses de cycle de vie, qui sont à la base des procédures d'attribution des "écolabels", sont encore controversées, et ne font pas pour l'instant l'objet d'un consensus international.

IV.3.3.1 Labels écologiques, dont deux types cohabitent actuellement en France :

a)- L'écolabel européen, dont l'attribution est basée sur la définition, par catégorie de produits, de critères écologiques. Il existe aujourd'hui pour les lave-linge, les lave-vaisselle, l'essuie-tout, le papier hygiénique, les amendements organiques, les détergents textiles, les ampoules électriques, les peintures et vernis, les T-shirts et linges de lit, le papier pour photocopie, les réfrigérateurs et congélateurs. Il est en préparation pour les matériaux d'isolation et les laques à cheveux. Il est délivré par l'AFNOR, organisme compétent pour la France.

b)- la marque NF-Environnement, dont l'attribution est basée sur un examen des produits candidats par l'AFNOR, selon la méthode d'Analyse de Cycle de Vie [14] : "Le cahier des charges de la certification NF-Environnement examine les produits candidats sur une base multicritère, évaluant toutes les étapes de la création à la fin de vie desdits produits, selon le principe "du berceau à la tombe", et leur impact sur l'environnement." Les règlements techniques des certificats NF-Environnement des peintures et vernis et des sacs poubelle en plastique, des aspirateurs, des auxiliaires mécaniques de lavage, des colles pour revêtement de sols et des composteurs individuels de jardin ont été approuvés.

IV.3.4 Politique managériale

Cette approche est une approche émergente et adopte une optique assez différente de celle des politiques précédentes, dans la mesure où elle se fonde sur une approche globale de l'entreprise. Elle est liée aux concepts d'éthique d'entreprise et d'entreprise citoyenne. Le principe est d'intégrer la préoccupation environnementale à tous les niveaux dans l'entreprise. L'objectif de l'entreprise ne se limite plus à la production et aux bénéfices, mais considère les devoirs de l'entreprise vis-à-vis de la société et de l'environnement qui la font vivre.

Cette politique se traduit par :

- des chartes d'engagement,
- la mise en place de systèmes de management de l'environnement dans l'entreprise.

La politique managériale n'est pas axée autour d'un enjeu particulier, mais son approche globale entraîne en fait une implication de tous les enjeux liés à l'environnement : réglementaires, économiques et stratégiques

Les outils managériaux sont [1] :

- les **chartes**, contrats d'engagement vis-à-vis de la protection de l'environnement. Elles peuvent être à l'initiative d'une entreprise isolée, d'une association d'entreprises ou de groupement par secteur d'activité. Leur respect n'est pas contrôlé.
- les **référentiels certifiables** de systèmes de management de l'environnement, ou SME. Les deux principaux référentiels sont aujourd'hui :

- le "règlement européen permettant la participation volontaire des entreprises du secteur industriel à un Système communautaire de Management Environnemental et d'Audit (SMEA)", ou plus communément **règlement Eco-audit**.
- La **norme ISO14001** "Systèmes de management environnemental" (voir détails dans le chapitre II).

IV.4 Synthèse des politiques de régulation

Les quatre types de politiques de régulation employés sont différents moyens d'atteindre un même objectif : faire entrer la préoccupation environnementale dans l'entreprise. Les politiques obligatoires et les acteurs institutionnels sont aujourd'hui les plus présents pour les entreprises, mais l'élargissement grandissant des parties intéressées aux partenaires financiers et économiques entraîne l'émergence des politiques d'application volontaires. Le tableau suivant synthétise les outils, enjeux et acteurs associés à chaque politique.

Tableau N°5 : Synthèse des politiques de régulation et enjeux environnementaux

	Politiques de régulation	Outils d'application	Enjeux	Acteurs
Obligatoire	politique réglementaire	réglementation	réglementaire : amendes, peines, autorisation d'exploiter	Ministère de l'environnement, DRIRE
	politique économique	taxes, fiscalité	économique : maîtrise des coûts, compétitivité	ADEME, Agences de l'Eau, administration fiscale, CRAM
Volontaire	politique contractuelle	labels produits (ACV)	stratégique : parts de marché, image de marque, pérennité de l'entreprise	Entreprises et leurs parties intéressées, AFNOR, CEN, ISO
	politique managériale	certification des sites : ISO 14001, SMEA		

V. L'industrie et l'environnement

V.1 L'industrie du ciment et l'environnement

V.1.1 Introduction

Le ciment dont le besoin augmente sans cesse, et fait de sa fabrication une industrie qui occupe une place prépondérante dans les économies de toutes les nations, sa production est un indicateur économique lié d'une part au nombre d'habitants mais également au potentiel de croissance de chaque pays sur une période donnée [15]. En Algérie la production de ciment est une industrie de base, l'état a consenti de très importants investissements pour le développement de la filière, l'industrie cimentière elle aussi a décidé d'augmenter la capacité de production.

Cependant le processus de fabrication du ciment engendre des incidences environnementales diverses tels que les émissions de gaz (CO₂, NO_x, SO₂), et des poussières. Ces dernières contribuent aux maladies respiratoires des employés et des habitants du voisinage. Donc divers impacts peuvent être engendrés sur les compartiments de l'environnement ; des espèces végétales peuvent disparaître, suite à la déposition de ses poussières ainsi qu'à l'occupation des terres agricoles ou encore la surconsommation des ressources naturelles tels l'extraction de certaines matières premières (les argiles, sable,

calcaire...). Des nuisances sonores peuvent aussi influencer sur la santé des citoyens habitants au voisinage, et ce suite au bruit généré par les différentes étapes : extraction, concassage, broyage, transport... toutes ces perturbations conduisent à la surdité des avoisinants et des employés.

V.1.2 Etude de cas

Plusieurs études ont été réalisées dans le domaine de production du ciment, dont plusieurs chercheurs se sont intéressés par la pollution générées par cette industrie, nous illustrons quelques cas étudiés.

- Deux études ont été menées dans le but d'étudier les impacts des poussières émises sur l'environnement, la première a été réalisée par l'université de Constantine sur la cimenterie d'Ain Touta a démontré que les poussières proviennent des gaz dégagés par la cimenterie, elle recommande l'utilisation des dépoussiéreurs appropriés. La seconde étude a été réalisée par l'agence internationale pour le développement de la qualité de l'environnement (AIDEQ) sur la cimenterie de Chlef, a montré qu'en utilisation d'un neplélomètre, les concentrations en PM10 obtenues pour l'ensemble des points dépassent largement le seuil d'acceptabilité, elle a suggéré la rénovation de tous les filtres par d'autres obéissant aux normes ($15\text{mg}/\text{Nm}^3$) et la surveillance en continu des émissions de poussières par opacimètre et des jauges Owen.

Les niveaux d'empoussiérage affiché par l'opacimètre placé au niveau de chaque source d'émission sont en dessous de seuil fixé par la norme algérienne ($30\text{mg}/\text{Nm}^3$), cependant les retombées de poussières sur les plaquettes demeurent très élevées selon la norme AFNOR [16] Pour les oxydes d'azote tel que les NO, les NO₂, connus par les NO_x, joue un rôle important dans les réactions chimique de l'atmosphère, ils sont émis naturellement dans l'atmosphère suite aux activités microbiennes dans le sol et les décharges. Ils sont émis aussi suite aux réactions de combustion des fossiles (carburant, gaz...), incinération des biomasses et l'utilisation des fertilisants. Les émissions de ce type de gaz, ont un effet direct sur la santé humaine et animale et les plantes. Ils contribuent grandement aux effets menaçant notre planète tel que : le réchauffement global, appauvrissement d'ozone, les pluies acides [17].

Ces derniers ont pour origine l'industrie du ciment, en son étape de combustion du gaz naturel pour la clinckérisation du mélange des matières premières qui inclue aussi en plus des NO_x, SO₂, CO₂ et CO même aussi des composés organique tels les PCDD/Fs et autres polluants sous forme de trace et d'autre déchets [18]. L'exposition au déchet du ciment portland est à l'origine des maladies respiratoires des populations vivant aux alentours des entreprises exerçants cette activité [19]. Le gaz carbonique, dont il occupe environ 0.033% du volume de l'atmosphère, il est estimé à environ 357 ppm. Cette concentration augmente graduellement sans cesse depuis le 19^{ème} siècle. Selon les scientifiques le dioxyde de carbone est responsable à environ 60% de l'augmentation des effets de serre qui est due à la forte consommation des ressources fossiles. [20].

- Une étude a été menée en Egypte en vue de réduction de l'impact réchauffement globale en utilisant la démarche ACV, elle portée sur le remplacement de l'énergie utilisée (gaz) par un charbon au lieu des autres fuels utilisés. Ils ont constaté qu'en utilisant le charbon à la place des autres a conduit à la réduction des impacts réchauffement global et respiration inorganique respectivement à 20% et 25% [21].

V.2 L'industrie détergente et l'environnement

V.2.1 Introduction

Parmi les différents composants d'un détergent, les tensioactifs qui représentent une part importante. Ils sont devenus des composés omniprésents dans l'industrie comme dans la vie domestique : on les retrouve autant dans les préparations nettoyantes, qu'elles soient destinées à un usage industriel, à notre machine à laver ou encore à notre salle de bain, que dans les médicaments, l'alimentation, et en synthèse chimique [22].

En effet, la production mondiale des linéaires alkylbenzène sulfonates (**LAS**) avoisinait $2,8 \cdot 10^6$ tonnes en 1995. Ils forment avec le savon classique la plus grande masse de détergents anioniques utilisés. Ces derniers représentent 80 à 90 % de la totalité des détergents mis sur le marché et se sont de bons traceurs de la pollution d'origine urbaine.

Outre que les tensioactifs, les détergents comprennent des adjuvants (phosphates, zéolites), des agents de blanchiment (perborate, enzymes...), et divers produits de charge et additifs (sulfate, parfum...) [23].

Les tensioactifs entrant dans la formulation de tous types de détergents, ils représentent en moyenne 20 % de leur composition [38].

Le tensioactif est adapté à l'usage et à l'aspect souhaité pour le détergent, et il peut se présenter sous forme de poudre ou de liquide. Il faut distinguer la détergence ménagère et la détergence professionnelle [28,39]. Cette dernière concerne spécifiquement les industries et les institutions (écoles, hôpitaux, etc.). La détergence ménagère, quant à elle, regroupe plusieurs grandes classes de produits : les lessives, les adoucissants, les produits vaisselle et les produits d'entretien.

- Le secteur cosmétique

Il faut distinguer deux grands domaines d'application : la cosmétique rincée et la cosmétique blanche. La cosmétique rincée englobe les produits d'hygiène lavant tels que les shampooings, gels douches et dentifrices. Dans ce domaine la propriété détergente du tensioactif est recherchée [25].

La cosmétique blanche concerne les produits de beauté en général, c'est-à-dire, les crèmes, les laits, les maquillages et autres produits de soins. Les tensioactifs sont principalement utilisés pour générer des émulsions, leur pouvoir adoucissant est également sollicité [28].

- Le secteur des usages industriels et agricoles

Les tensioactifs sont aussi utilisés comme matière première auxiliaire dans plusieurs industries [31] :

- ✓ L'industrie pétrolière : les tensioactifs sont utilisés au cours des forages et pendant les phases de récupération, ils sont aussi utilisés comme des inhibiteurs de corrosion dans le traitement des eaux. [33]
- ✓ L'industrie agroalimentaire et additive alimentaire : Les tensioactifs sont utilisés pour leurs propriétés détergentes et éventuellement bactéricides. Ils entrent également dans de nombreuses préparations alimentaires industrielles pour améliorer la stabilité des émulsions.
- ✓ L'industrie des produits phytosanitaires et des engrais : Ce sont de gros consommateurs de tensioactifs. L'utilisation des tensioactifs est importante dans le conditionnement des engrais sous forme de granulés. Ils sont également utilisés pour mettre en suspension les principes actifs phytosanitaires en faisant appel à leurs propriétés mouillantes et dispersantes.
- ✓ L'industrie de peintures : les tensioactifs permettent la mise en émulsion ou en suspension de divers constituants des peintures.

- ✓ L'industrie des textiles : C'est le secteur qui a été à l'origine des progrès de la détergences. En plus de la détergence, les tensioactifs sont présents à tous les stades, de la filature à la confection.
- ✓ L'industrie pharmaceutique : [40, 41].

Les tensioactifs sont souvent utilisés dans ce domaine, en faisant appel à leurs propriétés antimicrobiennes, antioxydants et solubilités.

D'autres domaine sont aussi concernés telles que l'industrie des céramiques, du cuir, des matières plastiques, métallurgique, du papier, routière... .

V.2.2 Etude de cas

Les propriétés biologiques des tensioactifs sont reliées à leurs interactions avec les structures biologiques fondamentales : les protéines, les enzymes, et les membranes, structures avec lesquelles leur nature amphiphile leur permet de former des complexes d'adsorption et qu'ils peuvent aller jusqu'à les solubiliser [42].

- Bartnik rapporte que les tensioactifs anioniques forment facilement avec les protéines peu hydrosolubles des complexes protéines / tensioactif mettant en jeu des interactions de type polaire et apolaire. Ce phénomène, qui est optimal pour une longueur de chaîne hydrophobe en C12-C14 dans une série homologue (les alkylsulfates par exemple), entraîne une solubilisation de la protéine et, si le ratio de concentration tensioactif libre / protéine est suffisant, provoque sa dénaturation. Plusieurs études ont démontré une forte corrélation entre l'action de solubilisation des protéines par les anioniques et leur potentiel d'irritation cutanée. L'auteur souligne que cet effet est indépendant de la formation des micelles [43].

- Cserhati a démontré que les liaisons tensioactif / protéines s'effectuent par interaction de la partie hydrophobe des tensioactifs non ioniques avec les acides aminés non polaires de la protéine, et de leur partie hydrophile avec la liaison peptidique et les résidus aminés polaires [44].

- Bartnick souligne que, par opposition aux tensioactifs anioniques, les non ioniques semblent se lier sur des sites particuliers des protéines, de façon non coopérative, sans provoquer, à faible dose, de changement de conformation. Les tensioactifs non ioniques possédant également une concentration micellaire critique plus faible que celle des anioniques, le nombre de molécules libres susceptibles d'interagir avec les protéines est plus faible considérant une même dose globale et que les tensioactifs cationiques et amphotères possèdent également une activité de dénaturation des protéines. Les tensioactifs amphotères, contrairement aux cationiques, exercent cette activité à des concentrations plus élevées que les composés anioniques [34].

Le même auteur démontré qu'il y a une relation générale entre l'inhibition enzymatique par les tensioactifs anioniques et leur toxicité cutanée. En revanche une dose plus faible ou une molécule moins active ne provoqueront qu'un changement de conformation de la protéine, entraînant pour l'enzyme une modification de l'activité dans un sens ou dans l'autre [43]. Les tensioactifs non ioniques possèdent un potentiel de dénaturation plus faible, leur effet sur l'activité enzymatique est moins prévisible.

- Cserhati rapporte que plusieurs études ont montré des effets d'inhibition ou d'activation dépendant des molécules et des concentrations, sans fournir d'élément mécaniste quant à ces influences [44]. Les tensioactifs anioniques et cationiques sont faiblement absorbés par voie cutanée [42].

- Black et Howes rapportent que des études *in vitro* et *in vivo* chez les mammifères ont montré pour les tensioactifs anioniques une faible absorption, qui peut être augmentée suite à une exposition chronique, un pH alcalin, ou encore une concentration élevée. Les auteurs soulignent que la barrière cutanée humaine étant plus efficace que celle des animaux testés, le potentiel d'absorption des tensioactifs anioniques par cette voie est très faible [45]. L'absorption cutanée des tensioactifs non ioniques est en général légèrement supérieure à celle des anioniques et augmente avec la taille relative de la partie hydrophobe de la molécule.

- Talmage rapporte une étude chez l'humain avec application cutanée et occlusion d'un tensioactif non ionique de type alcool éthoxylé pour laquelle entre 10 et 15 % de la dose était absorbée après 144 heures [27].
- Karlberg et coll. rapportent que des tensioactifs non ioniques éthoxylés, purs et stockés à température ambiante, se sont dégradés par auto-oxydation en six mois dans une proportion de 30 à 50 %. Les produits d'oxydation comprenaient le formaldéhyde, des peroxydes, des cétones, et des aldéhydes partiellement éthoxylés, certains de ces composés possédant des propriétés allergènes. Aux bout des six mois, la teneur en formaldéhyde avait atteint 0,2 %, concentration à partir de laquelle un produit est considéré allergène selon les normes de la commission européenne concernant la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances dangereuses [37,41].
Les auteurs ont détecté les mêmes produits de dégradation que dans l'étude précédente et, au bout d'un stockage de 11 mois à l'air atmosphérique, la teneur en formaldéhyde avait atteint une concentration susceptible de déclencher une réaction allergique chez des personnes déjà sensibilisées. Certaines des impuretés allergènes détectées étaient présentes avant le début de l'exposition à l'air. Les auteurs ont également montré une activité allergénique des solutions de tensioactif chez le cochon d'Inde, activité présente avant et après le traitement, sans qu'une relation dose-réponse soit discernable [47].
- Talmage rapporte que l'administration orale concomitante d'alkylphénol éthoxylé et de nitrosamine, lors d'une étude sur un nombre limité d'animaux, a mis en évidence un effet synergique entre les deux composés, probablement dû à l'amélioration de l'accès des nitrosamines aux tissus par le tensioactif [27].
- Les experts du Programme international sur la sécurité chimique rapportent que l'application cutanée de composés LAS en concentration supérieure à 0,3 % a provoqué chez le rat des effets foetotoxiques et sur la reproduction ainsi que des effets toxiques chez la mère [13]. L'administration par voie orale durant la gestation de 300 mg/kg/jour de composés AOS à des rats a mis en évidence des effets foetotoxiques, cette dose étant également toxique pour la mère. La dose orale de 200 mg/kg/jour de L'AS s'est également révélé foetotoxique et toxique pour la mère chez le rat [28].
- MacKenzie et coll. ont effectué une étude sur trois générations chez le rat des effets sur la reproduction d'un composé sulfosuccinate. L'exposition quotidienne des animaux par la nourriture contenant jusqu'à 1 % de tensioactif (correspondant à une dose d'environ 500 mg/kg) n'a mis en évidence aucun effet foetotoxique, tératogène, ou sur le système reproducteur [32].
- Les tensioactifs étant principalement présents dans l'environnement dans les cours d'eau, les études sur l'écotoxicité de ces composés concernent pour la plupart la vie aquatique. De plus, les alkylbenzènesulfonates linéaires et, plus récemment, les alcools éthoxylés, ont reçu l'essentiel de l'attention de la communauté scientifique en raison de leur utilisation majoritaire. Peu de données sont donc disponibles sur les effets des autres familles de tensioactifs, particulièrement en ce qui concerne les études chroniques ou en milieu naturel [49].
- Dans une revue de littérature sur les effets des tensioactifs, Lewis a cherché à identifier des facteurs environnementaux susceptibles de modifier leur toxicité et donc d'expliquer la variabilité observée dans les résultats. L'auteur indique que des tendances significatives se dégagent mais que les données sont trop limitées pour tirer des conclusions définitives. Ainsi, la dureté de l'eau semble augmenter la toxicité des tensioactifs anioniques, alors que celle des tensioactifs non ioniques subirait une influence inverse. L'augmentation de la température serait également un facteur aggravant de la toxicité des tensioactifs. L'auteur rapporte finalement quelques études ayant montré une augmentation des effets toxiques des composés testés lorsque la quantité d'oxygène dissout diminue ou lorsque la salinité du milieu augmente [50].

- En ce qui concerne leurs effets aigus et chroniques mais aussi sublétaux et comportementaux. Les proportions de dégradation des agents testés durant les études sont fournies lorsque disponibles. À titre de repère, l'OCDE, dans un document visant à l'harmonisation des systèmes de classification des substances toxiques quant à leur potentiel toxique pour l'humain et l'environnement, fournit les seuils suivants en ce qui concerne la toxicité aiguë pour le milieu aquatique [51].

- Classe 1 : < 1 mg/L.
- Classe 2 : 1-10 mg/L.
- Classe 3 : 10-100 mg/L.

Ces classes ne permettent pas de juger de la toxicité d'un composé pour l'environnement (de nombreux paramètres doivent être intégrés pour effectuer ce jugement) mais peuvent servir à comparer de façon approximative la toxicité aquatique de plusieurs substances.

- L'écotoxicité des alkylbenzènesulfonates linéaires a été largement étudiée en laboratoire et en milieu naturel. Selon les experts du Programme international sur la sécurité chimique, les études sur le terrain en eaux douces correspondent de façon satisfaisante aux résultats observés en laboratoire [29]. De plus il semble que la toxicité des LAS diminue lorsque la chaîne carbonée hydrophobe est plus courte.

Ainsi, chez le poisson et la daphnie, une diminution de la toxicité de 50 % a été observée lorsque la longueur de la chaîne hydrophobe était réduite de 1 carbone [29].

La toxicité rapportée des LAS pour les micro-organismes est extrêmement variable, notamment en raison de l'utilisation, suivant les études, de boues activées, de mélanges de différentes souches ou encore de souches particulières de bactéries. Les CE50 mesurées varient entre 0,5 et > 1000 mg/L.

- Lors de l'étude de l'écotoxicité des alkylphénols éthoxylés, il est important de considérer également les effets potentiels de leurs produits de biodégradation, les alkylphénols et leurs homologues mono-et di-éthoxylés, qui persistent plus longtemps dans l'environnement, peuvent s'accumuler dans les sédiments et être bioaccumulés par les organismes aquatiques.

- Miles Richardson et coll. soulignent que ces métabolites sont, dans le cas des nonylphénols éthoxylés, entre 25 et 50 fois plus toxiques de façon aiguë que les substances mères et jusqu'à 250 fois plus pour la toxicité chronique, bien que le facteur multiplicatif soit dans ce cas plus variable selon les espèces [52]. De plus, le nonylphénol ainsi que ses dérivés mono- et di-éthoxylés sont considérés comme des perturbateurs endocriniens en raison de leur activité vis-à-vis des œstrogènes. De la même façon que pour les alcools éthoxylés, la toxicité des APE diminue avec l'augmentation du degré d'éthoxylation. La température possède également une influence puisqu'une étude a montré une augmentation significative de la toxicité lorsque la température d'exposition passait de 15 °C à 9 °C [27].

V.3 L'industrie pharmaceutique et l'environnement

V.3.1 Introduction

L'industrie pharmaceutique est, dans le monde entier, un élément important des systèmes de santé. Elle comprend de nombreux services et entreprises (privés ou publics) qui découvrent, mettent au point, fabriquent et commercialisent des médicaments au service de la santé humaine et animale et qui ont joué un rôle prépondérant dans la hausse de la qualité et l'espérance de vie des populations au cours des derniers siècles.

Bien que ces dernières soient retrouvées dans les milieux hydriques à des concentrations très faibles, elles apparaissent néanmoins suffisantes pour pouvoir engendrer des effets adverses globaux ou spécifiques à un niveau cellulaire ou moléculaire (Perturbation des mécanismes biochimiques, altération du patrimoine génétique) [53].

Du fait de la diversité et de la complexité de ces substances actives, les données sur leurs effets dans l'environnement, leur degré d'occurrence dans les ressources ou leurs

traitabilités dans une station d'épuration ou dans une usine d'eau potable restent encore très limitées et au-delà de préoccupations toxicologiques ou environnementales, il semble certain que l'apparition potentielle, ou dans certains cas, déjà effective de résidus de médicaments dans l'eau de distribution peut avoir un impact sociétal fort.

La présence des molécules pharmaceutiques dans les effluents et les milieux aquatiques a été détectée dès les années 80. L'intérêt pour le développement des recherches sur le comportement et les impacts sur l'environnement et la santé humaine de ces molécules s'est ainsi récemment accru [54]. Il est désormais avéré que des molécules pharmaceutiques de classe thérapeutiques variées, sont présentes dans les milieux terrestres et aquatiques, en même temps que les autres substances chimiques (adjuvant de préparation pharmaceutiques, produits d'hygiène personnelles, produits phytosanitaires ...) [55].

Par ailleurs, des travaux sont actuellement en cours en Europe en vue de trouver des procédures adéquates d'évaluation des risques des nouvelles molécules de médicament à usage humain et vétérinaire cohérentes avec les procédures d'évaluation des risques des substances chimiques ainsi que les risques pour l'environnement [56].

V.3.2 Origine des substances médicamenteuses dans les eaux usées

Les substances médicamenteuses ne se résument pas au simple médicament sous forme pharmaceutique que nous connaissons. On retrouve aussi sous ce terme les déchets de fabrication ainsi que les métabolites, identifiables ou non, produits au cours de la digestion dans notre organisme. C'est pourquoi les substances médicamenteuses ont des origines très diverses que nous allons présenter successivement.

V.3.2.1 Rejet des entreprises pharmaceutiques

Les entreprises pharmaceutiques constituent le premier maillon du circuit du médicament. Dès cette étape, il existe des rejets de substances médicamenteuses dans les eaux usées urbaines. Cette industrie se divise en deux secteurs qui sont souvent isolés géographiquement l'un par rapport à l'autre :

- L'industrie de phase primaire, chargée de l'obtention des principes actifs qui composent le médicament.
- L'industrie de phase secondaire ou façonnage, chargée plus spécifiquement de la mise en forme du médicament.

La nature et l'origine de la pollution sont différentes selon l'activité de l'entreprise. Pour une industrie de phase primaire, la charge polluante en substances médicamenteuses est essentiellement issue des eaux de procédés. Elles sont constituées des eaux provenant des opérations d'extraction de l'antibiotique des milieux de culture. Le rejet est quasi continu du fait des nombreux réacteurs utilisés. Pour une industrie de façonnage, la pollution provient des eaux de lavage des cuves de mélange. Les premières eaux de lavage peuvent être très concentrées. Les rejets sont variables au cours de l'année en fonction de la demande [57].

Globalement, dans une entreprise pharmaceutique, les rejets de substances médicamenteuses dans les eaux usées sont très faibles du fait du coût très élevé du principe actif (en moyenne, 1,5 milliard de francs rien qu'en coût de recherche) [58].

Une attention toute particulière est alors accordée pour utiliser au maximum ces molécules et ne pas les gaspiller. Une étude américaine estime que 1 à 5% du produit fini est rejeté par l'industrie pharmaceutique pendant le processus de fabrication [59] ce qui pourrait tout de même avoir un impact non négligeable, compte tenu du tonnage produit et rejeté en un endroit réduit.

V.3.2.2 Consommation des médicaments

Au Danemark, les médicaments les plus utilisés en médecine humaine sont essentiellement des antibiotiques (37,7 tonnes/an) et des analgésiques (28,3 tonnes/an). On trouve aussi

une forte proportion de produits oestrogéniques [60].

Les différentes sources de pollution par la consommation domestique sont décrites ci-dessous.

V.3.2.2.1 Les biotransformations

Une fois ingérés, la plupart des médicaments subissent des modifications chimiques, les bios réactions, qui donnent naissance aux métabolites. Ceux-ci peuvent être plus ou moins actifs, plus ou moins toxiques que le médicament initial. Ils peuvent même avoir des propriétés différentes, voire antagonistes. D'une manière générale, on distingue deux types de biotransformations classées en phase I et phase II

- Phase I : Le mécanisme réactionnel implique une oxydation [61]. Les produits sont souvent plus réactifs et parfois plus toxiques que le produit initial.
- Phase II : La phase II comporte les réactions de conjugaison. D'une manière générale, elle conduit à des produits moins actifs que le médicament initial.

Ces réactions sont essentiellement effectuées grâce aux enzymes à des conditions de Ph particulières.

Les médicaments s'éliminent ensuite, essentiellement dans l'urine et dans les fèces selon les processus physiologiques classiques.

V.3.2.3 Rejets des hôpitaux

Ces établissements sont très intéressants du fait de la concentration de malades, d'où l'utilisation massive de médicaments. Ils constituent un pôle d'étude très instructif où les médicaments utilisés sont très variés. On distingue en particulier les anticancéreux radioactifs, seuls considérés comme déchets à risque et dont l'impact sur l'environnement pourrait être notable si aucune précaution n'était prise. Parmi ces anticancéreux, nous pouvons citer notamment le radio-isotope 131 de l'iode (I131), très utilisé en thérapie pour l'hyperthyroïdie, la carcinomie thyroïdienne et la tumeur surrenalienne maligne [62]. Les autres médicaments comme les antibiotiques, les analgésiques, les hormones ou les médicaments cardio-vasculaires ne sont, pour le moment, pas considérés comme des déchets à risque. La détection et l'évaluation des résidus en sortie d'établissement sont très complexes et ne sont généralement pas réalisées. Par conséquent, les centres de lutte contre le cancer traitent une partie de leurs effluents radioactifs, les hôpitaux "classiques" n'ont recours à aucune épuration [63].

V.3.2.4 Les laboratoires d'analyses médicales

Les laboratoires d'analyses médicales sont concernés du fait de leur activité d'analyse d'urine et de selles. Selon une étude réalisée auprès de 63 laboratoires de Gironde, seuls 18 traitent ces excréta [64]. Ils constituent cependant une source de pollution faible comparée à la population et aux hôpitaux.

V.3.2.5 La population

La pollution de l'eau par les médicaments liée à leur utilisation concerne la grande part des médicaments utilisés. Mais cette part est très difficile à évaluer. En effet, aucune donnée statistique concernant les ventes de médicaments par molécule ou par spécialité n'est disponible. Cette pollution est très diffuse et discontinue au cours du temps. Les concentrations dans le réseau d'eaux usées sont généralement faibles, sauf lors d'épidémies (de grippe par exemple) [65].

Au niveau de la population totale, il faut rajouter les médicaments non utilisés (MNU) comme source potentielle de pollution. Une étude réalisée en 1976 par la DDASS d'Aquitaine montre que le rejet de ces MNU dans les eaux usées est important. .

Cependant, l'impact des médicaments et de leurs métabolites rejetés dans les eaux usées est généralement considéré comme négligeable du fait de la forte dilution dans le réseau [57].

V.4 Sources des rejets dans l'environnement

La présence d'ibuprofène, de tétracyclines et d'hormones oestrogènes synthétiques dans l'environnement est occasionnée par les rejets de nombreuses sources diffuses ponctuelles. Les principales sources environnementales de produits pharmaceutiques sont les effluents d'eaux usées municipales, le lessivage et le ruissellement des terres agricole ainsi que les activités aquacoles

V.4.1 Sources municipales

Les produits médicaux consommés sont évacués avec les eaux usées résidentielles et hospitalières sous forme de métabolites et/ou de produits intacts. Ces eaux usées sont généralement acheminées vers les stations d'épuration municipales ; dépendamment de l'efficacité du traitement, une quantité variable de médicaments est rejetée dans le milieu aquatique via les effluents municipaux. Lors de sur verses ou lorsque la municipalité ne dispose d'aucune installation de traitement, les eaux usées chargées en produits pharmaceutiques sont directement rejetées dans un cours d'eau récepteur. Le rejet des eaux usées urbaines traitées ou non dans l'environnement constitue donc une source ponctuelle majeure de médicaments dans l'environnement [66].

Une disposition inadéquate des médicaments périmés occasionne également le rejet de ces derniers dans l'environnement. De façon générale, 40 % de ces produits sont éliminés dans les toilettes et lavabos et 70 % sont inclus dans des déchets conventionnels. Ils se retrouvent donc dans les eaux usées urbaines ou aux sites d'enfouissement sanitaires et pénètrent dans l'environnement via les effluents municipaux ou les eaux de lixiviation de ces sites.

Des fuites des réseaux d'égouts, des fosses septiques débordantes, des effluents de manufactures de produits pharmaceutiques, le ruissellement, l'épandage et la lixiviation de boues municipales épandues ainsi que l'enfouissement de cadavres animaux constituent d'autres sources diffuses et ponctuelles de rejet de médicaments dans des milieux aquatiques et terrestres [62].

V.4.2 Sources agricoles

En médecine vétérinaire, les antibiotiques tétracyclines et les hormones oestrogènes synthétiques sont administrés aux animaux d'élevage agricole sous forme de vaccins ou de nourriture. Tout comme chez l'humain, les animaux excrètent une partie de ces médicaments métabolisés ou non via leurs urines et fèces.

Ces excréments sont directement rejetés au sol lorsque les bêtes sont au champ ou sont conservées comme fertilisants agricoles (fumiers et lisiers) pour être épandus ultérieurement. L'excrétion au sol et l'épandage des déjections animales ou de boues municipales sur les terres agricoles constituent d'importantes sources diffuses de médicaments dans l'environnement [66]. L'érosion, le lessivage, le ruissellement et la lixiviation de ces terres, à la suite d'une pluie contaminent les sols, les eaux souterraines et les eaux de surface.

V.5 Impacts du rejet de produits pharmaceutiques sur l'environnement

V.5.1 Nature du danger

Le danger éventuel des substances médicamenteuses sur l'environnement réside dans le fait que nombreuses d'entre elles ont le même comportement physico-chimique que des substances sécrétées par l'organisme hôte. Ainsi, 30% des médicaments produits entre 1992 et 1995 sont lipidiques et persistants [67]. Ces propriétés leur permettent respectivement de passer les membranes cellulaires et de garder leur efficacité durant un intervalle de temps relativement long.

Ils peuvent avoir différentes actions au sein de l'organisme hôte. Ainsi, ils peuvent se substituer à des molécules, comme les enzymes, sur des récepteurs spécifiques. Ils ne permettent pas la réaction normalement induite par le complexe récepteur-molécule. Le site est alors caché pour la molécule active. Nous pouvons citer le cas de la quinolone (antibiotique), qui cache les sites des topo-isomérases sur les branches de l'ADN, empêchant la copie de l'ADN, nécessaire à la multiplication des cellules [68]. De plus, les connaissances sur la nature chimique des médicaments et de leurs métabolites sont très insuffisantes pour pouvoir connaître l'étendue réelle de la présence de ces substances dans l'environnement. En effet, il existe une grande diversité de médicaments : 3000 principes actifs utilisés en allo-thérapie.

En France, il existe 4200 spécialités médicamenteuses et 850 présentations [69]. La situation est d'autant plus complexe que les principes actifs subissent de nombreuses biotransformations donnant des métabolites, parfois encore inconnus.

V.5.2 Devenir dans les STEP et biodégradabilité

Les destinées des substances médicamenteuses lors des traitements en station d'épuration sont de trois ordres :

- La substance est totalement minéralisée en dioxyde de carbone et en eau (cas de l'aspirine).
- La substance est lipophile et n'est pas dégradable, une partie sera donc retenue dans les boues. Si celles-ci sont épandues, les micro-organismes du sol risquent d'être affectés, notamment par les antibiotiques qui réduisent l'activité bénéfique de ces bactéries du sol.
- La substance est métabolisée en une forme plus hydrophile, mais reste persistante et pourra traverser la station. Le produit est rendu plus soluble et pourra affecter l'environnement aquatique si les métabolites sont encore biologiquement actifs [70].

Des chercheurs ont examiné la biodégradabilité d'une cinquantaine de substances pharmaceutiques pendant le traitement des eaux usées. Il s'avère que, sur les 46 composés étudiés, seuls 10 sont rapidement biodégradables, alors que 22 ne le sont pas du tout et 13 le sont avec des demi-vies parfois très élevées [71].

On peut citer l'exemple de l'acide clofibrique (le plus grand métabolite de trois régulateurs lipidiques : l'étofibrate, l'étofyllinclofibrate et le clofibrate) qui n'est pas biodégradable. Ce composé a été le premier élément pharmaceutique détecté dans les eaux usées. On le retrouve actuellement partout dans le milieu aquatique, que ce soit dans les eaux résiduaires traitées, dans les eaux souterraines, dans les eaux de surface voire même dans l'eau potable (station de pompage près de Berlin), à des concentrations non négligeables puisque des valeurs de 0,27 µg/l ont été atteintes dans l'eau exploitée à Berlin [72].

V.5.3 Recensement des impacts environnementaux

Des études ont été réalisées pour rechercher les effets possibles de ces produits sur l'environnement. Mais, cela ne relève encore que de la recherche. Il n'existe encore aucune certitude.

La présence des médicaments dans les eaux peut présenter des dangers de toxicité pour les animaux et les hommes. Ainsi, une étude réalisée sur les effluents du CHU de Limoges montre que les effluents hospitaliers ont une forte génotoxicité, toxicité altérant les gènes.

Le test MICROTOX révèle une toxicité globale 5 à 15 fois supérieure à celle d'un effluent urbain classique. Parmi ces échantillons à fort pouvoir toxique, environ 20% sont capables de générer une activité génotoxique en particulier pour les rejets du matin, plus concentrés [73].

Cependant, cette notion de toxicité potentielle des médicaments est très controversée. En effet, les médicaments et leurs métabolites sont, la plupart du temps, à de très faibles concentrations, très inférieures à celles rencontrées en thérapeutique [72].

Des chercheurs anglais ont mené une étude sur une liste de médicaments considérés comme en excès dans les eaux. Ils ont calculé, pour une personne, la quantité de médicaments ingérés lors de la consommation d'eau du réseau d'eau potable pendant toute une vie (70 ans). Les résultats indiquent que les doses ingérées prévues sont si minimes que cette quantité absorbée pendant toute une vie serait inférieure à une dose thérapeutique d'une journée [74].

On peut aussi citer le développement de la résistance des bactéries aux antibiotiques, rendue possible par :

- La mutation sur des gènes communs, qui étendrait le spectre de résistance,
- Le transfert de gènes de résistance entre divers micro-organismes,

La croissance de la pression sélective qui entraîne le développement d'organismes résistants. [71].

Il pourrait aussi se produire une bioaccumulation, dans le cas où les substances persisteraient dans le sol, les sédiments ou l'eau. On pourrait assister à des phénomènes de concentration chez différents organismes, qui accentuerait l'effet de toxicité [72]. Enfin, les médicaments hormonaux auraient une influence significative sur le système reproducteur des animaux et notamment des poissons. Ainsi, selon le docteur JEGOU, les résidus de pilules contraceptives seraient responsables de la féminisation des poissons. L'éthinylestradiol, principe actif de la pilule est peu biodégradable. Il serait la cause de la transformation des testicules de flétans mâles en ovaires en baie de Seine [54].

Des études aussi ont montré que le frai annuel des carpes, qui a normalement lieu en mai, s'est alors prolongé jusqu'à mi-juillet. De plus, les poissons mâles sont devenus agressifs après la période de ponte [75].

V.6 Exemples de cas étudiés

V.6.1 L'ibuprofène, de tétracyclines et d'hormones oestrogènes synthétique.

V.6.1.1 Cheminement dans l'environnement

En considérant l'ensemble des sources ponctuelles est diffuse, il est possible de constater que les rejets environnementaux d'ibuprofène, de tétracyclines et d'hormones oestrogènes synthétiques s'effectuent principalement vers les milieux aquatiques et terrestres.

Le devenir et le comportement (dispersions, destins et cycles de vie) des médicaments concernés dans ces milieux demeurent peu connus mais peuvent être estimés à partir de leurs caractéristiques physico-chimiques. La solubilité dans l'eau, la constante de dissociation acide-base (pKa), la tension de vapeur, la constante de la loi de Henry ainsi que les coefficients de partage octanol-eau (logK_{ow}), de partage carbone organique-eau (log K_{oc}) et d'adsorption (K_d) constituent les principales caractéristiques permettant d'estimer le comportement des produits pharmaceutiques à l'étude dans l'environnement.

a) - Devenir dans l'atmosphère

Les médicaments à l'étude sont principalement rejetés vers les milieux aquatiques et terrestres et très peu vers l'atmosphère. Les tensions de vapeur de l'ibuprofène, des tétracyclines, de l'oestradiol et de l'éthinyl oestradiol varient entre 2,48.10⁻² et 6,96.10⁻²²Pa, ce qui indique qu'ils sont très peu volatils. Les faibles tensions de vapeur et les faibles constants de la loi de Henry indiquent que les médicaments à l'étude sont peu propices à se diffuser vers l'air à partir des milieux terrestres et aquatiques.

Le cheminement des médicaments à l'étude dans l'atmosphère est principalement contrôlé par les réactions avec les radicaux hydroxyles (OH[·]). Ces radicaux jouent un rôle prépondérant dans le temps de résidence de ces derniers dans la troposphère. De plus, la photolyse directe, les réactions avec les radicaux nitrates (NO₃⁻) et avec l'ozone (O₃) contribuent à leur

élimination dans l'atmosphère [66].

b) - Devenir dans l'eau

Dans les milieux aquatiques, le devenir des médicaments étudiés est fonction de leurs propriétés physico-chimiques et des conditions du milieu. Les facteurs physiques et chimiques locaux tels que le pH, la température, la dureté, la concentration en matières en suspension et le potentiel d'oxydoréduction expliquent en grande partie le comportement environnemental des médicaments dans l'eau.

b.1. Ibuprofène

L'ibuprofène se caractérise par une faible solubilité dans l'eau (21 mg/l) et un coefficient de partage octanol-eau élevé ($\log K_{ow} = 3,94$), ce qui indique que cette substance est lipophile. Les substances hydrophobes ont généralement une affinité pour les matières en suspension (MES) présentes dans la colonne d'eau (Beausse, 2004). L'ibuprofène fait partie de la famille des acides carboxyliques et possède une constante pK_a de 4,91, ce qui explique sa présence sous forme d'ions négativement chargés dans les eaux au pH supérieur à 5 [51].

Malgré son potentiel d'adsorption aux particules solides (K_d de 453,79), la propriété acide de l'ibuprofène limite grandement son adsorption aux MES dans les eaux naturelles. Par contre, l'efficacité de ce mécanisme augmente avec l'acidité du milieu.

Plusieurs études ont montré que la biodégradation aérobie et anaérobie par des microorganismes constitue le principal processus d'élimination de cette substance dans le milieu aquatique [55].

b.2. Tétracyclines

Les antibiotiques de la famille des tétracyclines sont des produits hydrophiles du fait qu'ils sont facilement solubilisés dans l'eau (230 à 630 mg/l) et qu'ils ont de faibles coefficients de partage octanol-eau ($\log K_{ow}$ entre -0,62 et -1,22). Ces produits sont présents dans les eaux naturelles sous forme dissoute tant en milieu aérobie qu'anaérobie.

En milieu neutre ou basique, les tétracyclines sont principalement présentes sous forme anionique (pK_a de 3,3, 7,7 et 9,1). Malgré leur caractère lipophile, les antibiotiques tétracyclines ont des coefficients d'adsorption plutôt élevés (K_d variant de 420 à 3020) : ceci suggère qu'ils ont tendance à s'adsorber aux matières en suspension dans l'eau. De plus, les tétracyclines forment facilement des complexes avec les cations métalliques calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), zinc (Zn^{2+}), fer (Fe^{3+}) et aluminium (Al^{3+}) présents dans le milieu. Ces antibiotiques ont donc tendance à précipiter et s'incorporer aux sédiments.

L'adsorption aux sédiments, l'hydrolyse, la biodégradation par les microorganismes, la photodégradation et la photolyse constituent les principaux mécanismes d'élimination des tétracyclines dans le milieu aquatique.

Les demi-vies, estimées ou mesurées, des tétracyclines dans l'eau sont inférieures ou égales à 160 jours [66].

b.3. Oestradiol et éthinyloestradiol

L'oestradiol et l'éthinyloestradiol sont des substances lipophiles caractérisées par une faible solubilité dans l'eau (3,6 et 11,3 mg/l) et des coefficients de partage octanol-eau élevés respectivement 3,94 et 4,15. Ces substances basiques et non polaires ont une affinité avec les matières en suspension et ont tendance à s'y adsorber. Les coefficients d'adsorption de l'oestradiol (K_d entre 4 et 123 l/kg) et l'éthinyloestradiol (K_d entre 4 et 1468 l/kg) indiquent qu'ils s'adsorbent aux particules solides en suspension dans les eaux naturelles. Ces deux hormones ont tendance à former des liens covalents avec les acides humiques et fulviques ainsi qu'avec les particules minérales présentes dans l'eau. Ces hormones sont ainsi susceptibles d'être transportées sur de longues distances avant de sédimenter vers le fond des cours d'eau,

ce qui contribue significativement à leur élimination du milieu aquatique [76].

La photolyse et la biodégradation aérobie sont les autres principaux processus d'élimination de ces hormones dans l'eau. Ces processus sont très efficaces lorsque les hormones sont adsorbées aux acides humiques et fulviques. Il est reconnu que ces phénomènes biotiques et abiotiques oxydent et transforment chimiquement l'oestradiol en oestrone, un produit facilement dégradé par les microorganismes. L'éthinyl oestradiol est beaucoup moins biodégradable que l'oestradiol ; l'hydrolyse, la photolyse et la photodégradation sont principalement à l'origine de l'élimination de cette substance dans la colonne d'eau. Les demi-vies de ces hormones dans les milieux aquatiques varient en fonction des conditions du milieu (pH, potentiel d'oxydoréduction, matières en suspension, etc.). Ces dernières ont été estimées entre 46 et 81 jours pour l'éthinyl oestradiol et entre 0,2 et 107 jours pour l'oestradiol.

c) - Devenir dans les sols et les sédiments

Le comportement des médicaments à l'étude dans les sols et les sédiments est fonction des conditions du milieu et des propriétés physico-chimiques spécifiques à chaque médicament.

Les facteurs influençant le devenir des médicaments dans ces milieux sont le pH, la température, la capacité d'échange cationique (CEC), l'humidité ainsi que les concentrations de nutriments, d'argiles, de matières organiques et de matières humiques.

c.1. Ibuprofène

Dans les sols et les sédiments, l'ibuprofène est caractérisé par une faible mobilité puisque sa valeur $\log K_{oc}$ est de 2,6. Une telle valeur implique que cette substance est adsorbée aux particules solides (colloïdes argileux, et matières organiques) et qu'elle est peu sujette à migrer dans le sol. Les mécanismes généraux de migration des substances dans les sols sont la percolation, le ruissellement et le lessivage. Dans les sédiments, l'ibuprofène a tendance à être adsorbé aux particules et à être peu mobile.

L'ibuprofène est beaucoup plus propice à migrer dans les sols acides (pH inférieur à 4) que dans les sols neutres ou basiques. Une étude a démontré qu'à un pH de 5,8, l'ibuprofène est adsorbé aux particules de sol et aucunement présent dans les eaux de lixiviation. Les concentrations en matières organiques et en argiles influencent aussi le degré d'adsorption de l'ibuprofène aux particules de sol.

Le principal mécanisme d'élimination de l'ibuprofène dans les sols et les sédiments est la biodégradation par les microorganismes [66].

c.2. Tétracyclines

Dans les sols et les sédiments, les antibiotiques tétracyclines sont considérés comme très mobiles du fait qu'ils sont très solubles (230 à 630 mg/l) et que leurs valeurs $\log K_{oc}$ varient entre 1,76 et 1,99. En théorie, ces produits devraient être adsorbés aux particules solides mais sont sujets à migrer dans la matrice du sol, dépendamment des caractéristiques physico-chimiques prévalant dans cette dernière. Les tétracyclines sont présentes sous forme anionique dans les solutions de sol neutres ou basiques.

Plusieurs études ont montré que les tétracyclines sont peu mobiles dans les sols et les sédiments et qu'elles ont tendance à être adsorbées aux particules argileuses et organiques.

Cette adsorption s'explique par la particularité des tétracyclines à former des complexes avec les cations métalliques calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), zinc (Zn^{2+}), fer (Fe^{3+}) et aluminium (Al^{3+}) présents dans les sols. La sorption des tétracyclines est moins élevée dans les sols composés de particules grossières (sable) que dans les sols composés de particules fines (argile) du fait que ces derniers ont une plus grande capacité d'échange cationique.

L'hydrolyse, la biodégradation par les microorganismes ainsi que la photodégradation et la photolyse dans les premiers centimètres du sol constituent les principaux mécanismes d'élimination des tétracyclines dans ce milieu. La biodégradation anaérobie constitue le

principal processus d'élimination de ces substances dans les sédiments.

Les tétracyclines sont reconnues comme persistantes dans les sols et les sédiments et les temps de résidence de ces substances varient en fonction des conditions physico-chimiques locales des milieux. De manière générale, les demi-vies estimées ou mesurées des tétracyclines dans les sols sont inférieures à 360 jours dans les sols et varient entre 9 et 1620 jours dans les sédiments [66].

c.3. Oestradiol et éthinyloestradiol

Les hormones synthétiques oestradiol et éthinyloestradiol ont des coefficients de partage carbone organique-eau élevés (log K_{oc} de 4,20 et de 4,68), ce qui indique qu'elles sont peu mobiles dans les sols et les sédiments. Ces substances sont fortement adsorbées aux sédiments et particules solides des sols (colloïdes argileux, matières organiques) et ont peu tendance à migrer par percolation, ruissellement et lessivage dans les sols au pH neutre ou basique. Le degré d'adsorption de l'oestradiol et de l'éthinyloestradiol est étroitement relié à la concentration de matières organiques dans le sol. La migration de ces hormones est probablement plus importante dans les sols acides.

La photolyse, l'hydrolyse et la biodégradation en conditions aérobies et anaérobies sont les principaux processus d'élimination de ces hormones dans les sols et les sédiments. En milieu anaérobie, ces hormones synthétiques sont plus persistantes. De façon générale, l'éthinyloestradiol est plus difficilement biodégradable que l'oestradiol.

La température, le potentiel d'oxydoréduction et le Ph constituent les facteurs influençant le degré de dégradation de ces produits par les microorganismes.

Les demi-vies de ces hormones dans les sols et les sédiments varient en fonction des conditions du milieu. Ces dernières ont été estimées entre 3 et 120 jours dans les sols et entre 240 et 540 jours dans les sédiments [66, 69].

V.6.2 Les avermectines

Les avermectines sont un groupe de composés produits à partir d'un bouillon de fermentation de la bactérie *Streptomyces avermitilis* [76].

Les avermectines servent en général à contrôler les ecto et endoparasites (mites et nématodes) chez les humains, le bétail et les animaux domestiques.

V.6.2.1 Concentration et persistance des Avermectines dans l'environnement

Pour comprendre le devenir potentiel des avermectines dans l'environnement, il est nécessaire d'évaluer en premier lieu leur concentration probable dans divers milieux naturels. Les concentrations dans ces milieux dépendront initialement de la méthode d'application, de la dose employée et de la fréquence du dosage. Les propriétés chimiques et physiques des avermectines indiquent que dès qu'elles ont pénétré dans l'environnement, elles peuvent persister durant de longues périodes à des concentrations suffisamment élevées pour avoir des impacts toxiques.

Jusqu'à maintenant, les préoccupations portaient surtout sur les écosystèmes des pâturages. Dans les systèmes terrestres, la pénétration de l'ivermectine dans l'environnement se fait par les excréments du bétail sur le sol des pâturages. Dans les systèmes marins, cette pénétration s'effectue par les excréments des saumons d'élevage ainsi que par la nourriture non mangée qui se dépose dans les sédiments.

La recherche sur la persistance des avermectines dans l'environnement a produit des résultats inconsistants. Les premières évaluations environnementales de l'ivermectine indiquaient que dans un mélange sol-excréments en conditions naturelles estivales, la photodégradation et le métabolisme aérobie entraîneraient une demi-vie de dégradation de deux à huit semaines.

Toutefois, des chercheurs ont rapporté que l'ivermectine présente dans des bouses déposées sur des champs à la fin du printemps en Espagne ne pouvait plus être mesurée après six jours, alors que d'autres rapportaient des demi-vies de 2,5 à 3 jours (traitement du bétail par voie transcutanée et par injection). Par contre, d'autres signalent que l'ivermectine demeurait active (mesurée par les impacts toxiques sur les insectes du fumier) dans des bouses durant deux mois, et les concentrations d'ivermectine demeuraient mesurables jusqu'à 50 jours suivant le traitement[76].

V.6.2.2 Impact sur la faune terrestre

Un grand éventail d'invertébrés terrestres, comme les Diptères, les Coléoptères, les Hyménoptères, les Lépidoptères, les Annélides et les Acariens, ont été testés pour étudier leur réaction aux ivermectines. Les résultats de ces études montrent que même à de faibles expositions, les ivermectines peuvent être létales.

Des essais sur le terrain avec du fumier traité et non traité montrent des effets létaux similaires. Des bouses de bétail traité aux ivermectines ont entraîné une forte réduction du nombre de larves, pupes et adultes vivants, en majeure partie celui des larves de Diptères et de Coléoptères.

Des chercheurs ont étudié l'effet à long terme de l'exposition à l'ivermectine sur la diversité des communautés dans le fumier et ont trouvé que ce produit pouvait réduire la diversité des espèces d'insectes et augmenter la dominance de certaines espèces pendant trois mois. Toutefois, ces réactions étaient modifiées par les conditions climatiques ; durant une sécheresse, les impacts sur la diversité étaient importants, alors que durant une année pluvieuse, il n'y avait pas de différence notable dans les mesures des communautés.

V.6.2.3 Impacts sur la faune aquatique

L'industrie aquacole a commencé à utiliser l'ivermectine comme alternative au traitement chimiothérapeutique contre les Copépodes ectoparasites, connus aussi sous le nom de Poux du poisson.

Les effets écotoxiques et la persistance de l'ivermectine dans les écosystèmes terrestres ont soulevé de nombreuses préoccupations chez les chercheurs et le public relativement à son utilisation dans des milieux marins. Subséquemment, des études ont été faites pour mesurer les impacts potentiels sur la faune ciblée et non ciblée dans les systèmes marins.

Une seule étude a mesuré sur le terrain les concentrations d'ivermectine dans les sédiments à proximité d'une ferme, et une seule étude a examiné sur le terrain les impacts sur les organismes vivant en dessous de piscicultures. La majeure partie de l'information sur les impacts provient de bioessais et d'expositions d'une ou de plusieurs espèces à de l'ivermectine dissoute, à l'exception d'un petit nombre d'études qui ont comparé directement l'exposition par la nourriture et par l'eau [76]. L'élevage du Saumon atlantique (*Salmo salar*) est une des plus grandes piscicultures au monde, et par conséquent beaucoup de recherches ont porté sur les moyens de conserver la santé des poissons en captivité.

Les symptômes d'une intoxication à l'ivermectine chez le Saumon atlantique incluent la perte d'appétit, une coloration foncée de la peau, la léthargie et un comportement natatoire erratique [76].

On connaît très peu les impacts létaux et sublétaux de l'exposition aux ivermectines sur les organismes aquatiques non ciblés. Les données existantes sur la toxicité de l'ivermectine révèlent un grand éventail de sensibilités des espèces à ce produit, ainsi qu'une sensibilité des Crustacés en apparence plus grande que chez d'autres organismes.

V.6.2.4 Impacts sur des organismes d'eau douce non ciblés

Peu d'études ont tenté de quantifier les concentrations réelles d'ivermectines qui pénètrent

dans les sédiments aquatiques. Cependant, d'autres montrent que 31 % de l'ivermectine administrée à des Saumons atlantiques d'élevage durant un cycle de traitement s'étaient accumulés dans les neuf premiers centimètres des sédiments de surface dans les environs immédiats des cages des poissons. La concentration la plus élevée mesurée atteignait 6,8 ng/g directement sous les cages, mais les teneurs des sédiments dépassaient la limite de détection jusqu'à 30 m des cages.

Des chercheurs ont observé que des sédiments vieux de 100 jours avaient encore des effets toxiques sur les invertébrés benthiques. Leurs résultats indiquent que seulement 30 % de l'ivermectine s'étaient dégradés durant cette période et que par conséquent la demi-vie de l'ivermectine dans les sédiments marins dépassait 100 jours. On ne sait pas si les ivermectines pourraient persister durant des périodes similaires dans les systèmes d'eau douce.

V.7 Devenir des résidus médicamenteux dans les systèmes aquatiques

La stabilité des médicaments mesurée en conditions de laboratoire est variable. Des chercheurs rapportent des valeurs variant de quelques heures à plusieurs mois selon les substances et les conditions expérimentales. Alors que d'autres [55] indiquent quelques durées de demi-vie pour la carbamazépine et l'acide clofibrique à plus de 100 jours, et variables de quelques heures à une vingtaine de jours pour le diclofénac, le sul faméthoxazole, l'ofloxacine, le propranolol, ou l'ibuprofène, après biodégradation ou photodégradation en conditions expérimentales, en eau de surface naturelle ou reconstituée [70].

Les données sur les processus de dégradation dans les eaux de surface continentales sont très limitées, voire inexistantes pour ce qui concerne les milieux côtiers et estuariens, et l'adsorption sur les particules en suspension et les sédiments. D'autant plus que si le comportement de sorption des molécules non ioniques peut en grande partie être expliqué par des phénomènes de liaisons hydrophobes, d'autres facteurs doivent être considérés pour évaluer le comportement des médicaments hydrophiles et ionisables [55]. L'influence de facteurs comme la température, le Ph, la salinité et le carbone organique dissous, la densité microbienne n'a pas fait l'objet de travaux approfondis [70].

V.7.1 Les anti-inflammatoires

L'acide acétylsalicylique (AAS) est rapidement dégradé en métabolites, en particulier dans sa forme active l'acide salicylique, détecté dans des influents de stations d'épuration (STEP) jusqu'à 54 pg/L [54]. Ce composé est bien dégradé en STEP et n'est détecté qu'en très faibles concentrations dans les effluents et les eaux de surface. De la même façon, le paracétamol est rarement détecté dans les effluents de STEP dont sur 142 échantillons, il ne se retrouve que dans 17 % des échantillons (concentration maximale 10 pg/l). Inversement le diclofénac est plus faiblement éliminé dans les STEP (entre 17 % et 70 % d'élimination selon les auteurs) et est fréquemment détecté à des concentrations supérieures au pg/l dans les effluents et les eaux de surface où il peut être photodégradé. L'ibuprofène est également significativement détecté dans les effluents et les eaux de surface, en général à des concentrations plus faibles que le diclofénac. Néanmoins, il atteint jusqu'à 85 pg/l et 2,7 pg/l dans des effluents de STEP et rivières espagnoles. L'ibuprofène ainsi que ses métabolites semblent significativement éliminés par les STEP jusqu'à 99 % [66]. Lors d'une étude in situ en lac, il a été constaté que l'ibuprofène, peu photodégradable, était susceptible d'être significativement éliminé par sédimentation du fait d'un coefficient de sorption élevé, et compte tenu des conditions locales (carbone organique et vitesse de sédimentation)[69].

V.7.2 Les antibiotiques

La présence et le comportement des différentes familles d'antibiotiques et leurs métabolites ont été particulièrement étudiés dans les effluents et les eaux naturelles en Suisse. Les macrolides (clarithromycine, érythromycine), sulfonamides (sulfaméthoxazole), pénicillines, céphalosporines, tétracyclines et fluoroquinolones (ciprofloxacine, norfloxacine)

sont détectés avec des concentrations jusqu'au pg/l [55].

Certaines de ces substances (quinolones, nitroimidazoles ou sulfonamides) sont pour la plupart faiblement biodégradables à partir du suivi des quantités de ciprofloxacine et norfloxacine transitant dans les différents compartiments d'une STEP et de mesures en différents points du milieu récepteur, mettent en évidence d'une part l'élimination de 90% environ des fluoroquinolones en STEP, principalement via une adsorption sur les boues, et d'autre part la disparition des fluoroquinolones dans l'eau, jusqu'à des concentrations très faibles, inférieures à 20 ng/l. Néanmoins, du fait de leur propriété d'adsorption importante sur les particules, le devenir dans les boues et la contamination des sédiments restent à évaluer. Des recherches montrent des concentrations relativement élevées d'érythromycine et d'un produit de dégradation (roxithromicine) dans les effluents et les eaux de surface (jusqu'à 1,7 pg/l), alors qu'ils ne détectent ni pénicillines, qui s'hydrolysent rapidement, ni tétracyclines, qui précipitent avec les cations et s'accumulent dans les boues et sédiments, au-delà de 20 et 50 ng/l respectivement.

Le sulfaméthoxazole et le triméthoprime sont également détectés en effluents et eaux de surface avec des concentrations maximales de 2 et 0,66 pg/l, et 0,48 et 0,20 pg/l respectivement. Certains de ces antibiotiques sont détectés dans les eaux souterraines [75].

V.7.3 Les anti-épileptiques

Les études disponibles concernent surtout la carbamazépine et la primidone, réquement détectées dans les effluents et les eaux de surface. La carbamazépine n'est pas significativement éliminée par les traitements en STEP (moins de 10%), et a été mesurée jusqu'à des concentrations de 1 pg/L dans des effluents de STEP mais également des eaux de surface à Berlin [77]. La carbamazépine n'est pas retenue par des massifs filtrants et est retrouvée, avec la primidone, dans les eaux souterraines, jusqu'à 1,21 pg/l, et les eaux de boisson 30 ng/l [78].

V.7.4 Les β -bloquants

Ces molécules inhibent les récepteurs béta-adrénergiques ((31) et (32)) en particulier au niveau du cœur, et sont des antagonistes des catécholamines endogènes (adrénaline, noradrénaline). Ils sont prescrits dans diverses affections en particulier du système cardiovasculaire (hypertension...).

Selon la molécule, le composé sera plus ou moins métabolisé, jusqu'à 90 % pour le propranolol, ou excrété sous sa forme initiale (aténolol). La plupart des β -bloquants prescrits sont retrouvés dans tous les effluents de STEP en Europe et aux États-Unis [55].

Comme pour les antibiotiques, l'occurrence de détection varie suivant l'origine des effluents et les habitudes locales de prescription. Certains de ces médicaments sont également mesurés dans les eaux de surface.

V.7.5 Les hypolipémiantes

L'acide clofibrrique, métabolite actif du clofibrate a été mesuré dans des effluents de STEP dès les années 1970. Des recherches indiquent que sa présence apparaît systématiquement dans tous les effluents étudiés, et qu'il est également détecté dans des eaux de surface, des eaux souterraines et des eaux de boisson, et ne présente pas d'adsorption sur les particules, il est détecté même dans la mer du Nord à environ de (1-2 ng/l). Par ailleurs, les études de biodégradation en pilote ont montré que cette molécule n'était pas biodégradée quelles que soient les conditions (anoxiques ou oxiques). D'autres molécules de cette classe (bézafibrate, gemfibrozil, acide fénofibrrique) sont également retrouvées à des concentrations de l'ordre du pg/L dans les effluents de STEP ou les eaux souterraines [55].

V.7.6 Les cytostatiques

Ces molécules très actives, telles que l'ifosfamide ou le cyclophosphamide, sont retrouvées essentiellement dans les effluents hospitaliers. Elles sont généralement mesurées à des

concentrations de l'ordre de la dizaine de ng/l dans les effluents de STEP, où elles ne semblent pas être éliminées durant le traitement. Elles ne sont pas jusqu'ici détectées dans les eaux de surface. Les cytostatiques, s'ils ne représentent pas des quantités importantes, sont néanmoins particulièrement dangereux du fait de leurs caractéristiques toxicologiques, avec des propriétés cancérigènes, mutagènes, tératogènes et cetotoxiques bien démontrées [55].

V.7.7 Les contraceptifs oraux

Comme les antibiotiques et les cytostatiques, les hormones stéroïdiennes présentent une activité biologique à très faibles concentrations, même sur des organismes non cible, comme l'ont désormais mis en évidence de très nombreux travaux. Une étude menée sur des influents et effluents de plusieurs STEP (Allemagne, Brésil, Canada), confirme la présence, avec les oestrogènes naturels (oestrone, 17 β -oestradiol, 16-hydroxy oestrone), d'hormones stéroïdiennes synthétiques utilisées comme contraceptifs oraux, le 17-éthynylcestradiol (EE2), plus rarement le mestranol, à des concentrations inférieures à la dizaine de ng/l dans les effluents de STEP. Aucune de ces hormones synthétiques n'a été mesurée dans le milieu récepteur lors de cette même étude, alors que l'oestrone était détectée jusqu'à 1,6 ng/l dans 3 des 15 sites échantillonnés. L'EE2 n'est que rarement détecté dans les eaux de surface (concentration maximale 4,3 ng/l) du fait de leurs propriétés d'adsorption les oestrogènes stéroïdiens peuvent être efficacement éliminés à plus de 80 % lors du traitement en STEP par boues activées (par ordre décroissant, 17 β - oestradiol, 16-hydroxycestrone, EE2, oestrone). Cependant, pour l'EE2, certains travaux montrent que le taux moyen d'élimination n'excède pas 40 %. Ils sont également susceptibles de se fixer sur les sédiments, et ne sont de ce fait que peu attendus dans les eaux souterraines.

Bien que les résultats ne soient pas toujours concordants, les études réalisées sur le comportement des oestrogènes lors des traitements d'épuration [55] s'accordent sur les transformations de certaines de ces molécules au cours du traitement aérobie, dont des phénomènes de dé-conjugaison et d'oxydation des métabolites, susceptibles d'expliquer la présence significative d'oestrogènes libres dans les effluents de STEP [66].

V.7.8 Les produits de contraste

Une dernière catégorie de substances pour laquelle on dispose de données quant à leur présence dans les milieux concerne les produits de contraste utilisés à des fins de diagnostic en radiologie. Des concentrations jusqu'à 130 pg/L d'iode organique ont été mesurées dans des effluents municipaux : les produits de contraste iodés pouvant représenter une proportion importante des composés iodés mesurés dans les effluents.

Les produits de contraste (diatrizoate, iohexol, iopamidol, iopromide et iomeprol) sont détectés à des concentrations de l'ordre du pg/L dans les effluents et les eaux de surface. Ces produits apparaissent très persistants dans l'environnement et peuvent contaminer les eaux souterraines, voire les eaux de boisson.

V.8 Les produits de transformation

Un problème connexe concerne les métabolites formés au cours du cycle des médicaments dans l'organisme, pour lesquels les informations disponibles sont encore moins nombreuses. Suite à leur absorption, les médicaments sont en partie ou en totalité métabolisés, et c'est un mélange de composés parents et de métabolites (esters ou dérivés glucuronés) qui sera rejeté dans le milieu. C'est également ce mélange qui subira les processus de transformations biotiques et abiotiques dans l'environnement.

Le devenir et les effets de ces métabolites et produits de dégradation peuvent différer de ceux des composés parents. Les connaissances sur ces processus concernent essentiellement les médicaments vétérinaires et leur impact sur les sols. Ces processus sont loin d'être en totalité élucidés. Dans certains cas au moins, les dérivés conjugués peuvent apparemment être hydrolysés dans les stations d'épuration, ce qui permet d'expliquer la présence de dérivés

hormonaux actifs dans les milieux récepteurs. De la même manière, on peut retrouver des antibiotiques actifs dans l'environnement après hydrolyse des dérivés conjugués [55].

V.8.1 Effets sur les organismes aquatiques

La majorité des médicaments n'est pas censée exercer des effets toxiques aigus, du moins chez les mammifères. Mais ces substances sont néanmoins conçues pour agir sur des processus métaboliques, dont certains peuvent avoir des conséquences à terme sur l'homéostasie et les fonctions physiologiques des organismes. Aussi, on peut s'attendre à ce que les effets des médicaments ne s'exercent qu'à long terme, avec des effets sublétaux, plutôt que létaux.

Au regard des concentrations généralement détectées dans les écosystèmes aquatiques (< 1 pg/l), les substances pharmaceutiques présentent un risque de toxicité aiguë relativement négligeable [75].

Des informations récentes sur les effets toxiques létaux et sublétaux, sont obtenues à partir d'expérience de laboratoire sur des algues, des invertébrés et des poissons, qui ont servi à mettre en évidence que les rapports (Acute Chronic Ratio, ACR) entre les concentrations induisant des effets toxiques létaux (CL50 aigues obtenues lors des essais d'écotoxicité à court terme). Les concentrations provoquant des effets sublétaux (No Effect Concentration, mesurées lors d'essais de toxicité à long terme) peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur, selon le composé et l'espèce considérée.

Les ACR considérés correspondent respectivement à 23 et 3000 pour le micro-crustacé *Ceriodaphnia dubia* exposé au diclofénac et à la carbamazépine, et peuvent aller jusqu'à 48 000 pour le médaka (*Oryzias latipes*) exposé au propranolol, un β -bloquant non sélectif et actif sur les récepteurs adrénergiques. De la même façon, les médicaments agissant comme agonistes des récepteurs des androgènes ou oestrogènes, conduisent à des ACR variant de 1000 à plus de 300 000 lorsque l'on mesure les effets sur la reproduction du poisson.

Ces résultats illustrent l'importance d'étendre l'évaluation des dangers des effets biologiques des médicaments rejetés dans l'environnement vis-à-vis des organismes non cibles, aux effets sublétaux à long terme.

Il ne peut ainsi être exclu, sur la base des connaissances actuelles, qu'à long terme la présence continue de molécules pharmaceutiques dans les écosystèmes aquatiques et terrestres ne soit source de danger. Néanmoins, dans le milieu aquatique, sauf pour les hormones stéroïdiennes, aucune étude in situ permettant d'évaluer objectivement le rôle de la présence des médicaments sur des perturbations d'organismes ou de communautés n'est actuellement disponible.

Cependant, concernant les médicaments « biocides », des études ont montré des effets des antibiotiques sur la croissance bactérienne, la réduction des sulfates dans les sols et le développement de résistance ou encore l'effet d'antiparasitaires sur la croissance, la mue et la reproduction d'invertébrés coprophages [55].

V.8.1.1 Le problème des mélanges

On retrouve dans les effluents et le milieu des mélanges de composés de la même famille thérapeutique et de mode d'action semblable, des substances de modes d'action très différents, mais tous susceptibles d'interaction. Par ailleurs certains médicaments, à l'origine, sont des mélanges de substances actives [72].

Différents médicaments de la famille des β -bloquants par exemple sont régulièrement mesurés dans les effluents de STEP. Ces molécules présentent des modes d'action similaires bien décrits, du moins chez l'homme. Ainsi, une fois dans l'environnement, ils peuvent avoir un effet conjoint (additif, voire synergique sur les organismes aquatiques, et notamment les poissons) qu'il sera nécessaire de mesurer pour réaliser une évaluation de risque pertinente, compte tenu des faibles concentrations auxquelles ce type de produit peut agir : le propranolol induit des effets chez le poisson à des concentrations de l'ordre du pg/l. Un modèle additif a ainsi été récemment proposé pour évaluer les dangers toxiques de mélanges de β -bloquants. Une autre famille de

molécules pour laquelle ce type de questions doit être traité, concerne les perturbateurs endocriniens, dont les hormones stéroïdiennes (17(3)- oestradiol, oestrone, éthinylcestradiol) détectées simultanément dans les effluents et les milieux récepteurs. Ces molécules sont susceptibles de contribuer chacune à des effets oestrogénique chez le poisson, et de s'ajouter aux effets d'autres molécules « xéno-oestrogènes » même lorsqu'elles sont présentes en deçà de concentrations dites sans effet (NOEC).

Enfin d'autres mélanges de médicaments ont fait l'objet d'étude de toxicité conjointe en laboratoire, dont des anti-inflammatoires non stéroïdiens, également largement retrouvés dans les milieux (diclofénac, ibuprofène, acide acétyle salicylique, naproxène) et qui laissent suspecter un effet additif de ces médicaments sur les organismes non cibles.

V.8.1.2 Bioconcentration – Bioaccumulation

Un dernier aspect des effets possibles des médicaments concerne leur bioaccumulation dans les organismes. Peu d'informations, à notre connaissance sont actuellement disponibles sur ce point. Même si la plupart de ces molécules sont métabolisées au moins en partie chez les mammifères, on ne dispose pas d'information pour les organismes non cibles, les invertébrés en particulier, chez lesquels les activités de détoxification sont moins efficaces que chez les vertébrés.

Une étude récente mesure un facteur de bioconcentration de 228 pour l'oestrone chez *Daphnia magna* après 16 h d'exposition. Même si ce facteur reste modeste comparativement à celui d'autres xéno-estrogènes (nonylphénols), compte tenu de l'activité oestrogénique puissante des hormones, il apparaît nécessaire dans l'évaluation du danger de ces molécules, de tenir compte de la bioconcentration, voire de la bioaccumulation, susceptible de conduire à des effets toxiques [72].

IV. L'industrie et la réglementation

IV.1. Introduction

Les politiques de type directives, qui imposent aux entreprises des règles destinées à protéger l'environnement, correspondent à la première génération de mesures visant à faire entrer la préoccupation environnementale dans les entreprises.

La première de ces politiques directives est fondée sur la réglementation, qui rend obligatoire le respect de contraintes strictes pour l'entreprise. Ces contraintes concernent pour une part son fonctionnement interne, par l'édition de prescriptions de sécurité et de prévention des pollutions, mais aussi ses échanges avec l'extérieur, en imposant des normes sur les rejets en sortie des sites industriels, ainsi que parfois sur les prélèvements effectués. Ces contraintes doivent être respectées sous peine de sanctions, allant du simple avertissement, de l'amende ou de l'obligation de travaux, jusqu'à la fermeture du site.

La politique de régulation réglementaire fonctionne essentiellement sur le principe de la menace de sanction : pour l'entreprise, l'enjeu réglementaire majeur est de conserver l'autorisation de poursuivre son activité.

Les outils réglementaires regroupent les textes de la réglementation environnementale : on y trouve les textes généraux, dont certaines parties vont concerner les entreprises (textes sur l'eau, l'air, les déchets...) et les textes s'adressant spécifiquement aux entreprises, telle la réglementation des installations classées.

Une hiérarchie existe entre les textes : le droit international l'emporte sur le droit communautaire, qui lui-même l'emporte sur le droit interne (national).

Le droit communautaire comporte des textes à caractère obligatoire (règlement, directive et décision) et des textes à caractère facultatif (avis, résolution, recommandation, proposition).

IV.2 Textes principaux

Plusieurs textes réglementaires sont apparus en Algérie, dans le domaine de protection de l'environnement, en touchant toutes ces composantes, notamment dans les domaines suivants :

- *Domaine de l'eau* : réglementant leur exploitation et leurs rejets notamment en définissant leurs caractéristiques physico-chimiques, elles s'appliquent aux activités ou installations "susceptibles de présenter des dangers pour la santé et la sécurité publique, de nuire au libre écoulement des eaux, de réduire la ressource en eau, d'accroître notablement les risques d'inondation, de porter atteinte gravement à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique
- *Domaine de l'air* : elles réglementent les pollutions de l'atmosphère et les odeurs qui incommode la population, compromettent la santé ou la sécurité publique ou nuisent à la production agricole, fixe des objectifs de qualité de l'air, des seuils d'alerte et des valeurs limites, et met en place des plans de protection de l'atmosphère et des mesures d'urgence en cas d'alerte (par exemple, réduction de l'activité industrielle).
- *Domaine des déchets* : elles réglementent les déchets générateurs de nuisances, toxiques et dangereux, ou dangereux. Les principales catégories de répartition des déchets industriels sont :
 - * Les déchets inertes (DI) : déchets dont l'effet sur l'environnement est négligeable
 - * Les déchets industriels banals (DIB) : déchets assimilables aux ordures ménagères
 - * Les déchets industriels spéciaux (DIS) : déchets contenant des substances toxiques, qui peuvent présenter un danger direct ou indirect pour l'homme ou l'environnement.
- *Domaine du bruit* : fixe les normes d'émissions sonores que doivent respecter les installations classées.
- *Réglementation des établissements classés* : elles réglementent toute installation exploitée ou détenue par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients, soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité et la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature et de l'environnement, soit pour la conservation des sites .

IV.3 La réglementation Algérienne dans le domaine de protection de l'environnement

Plusieurs lois et décrets sont apparus en Algérie dans le contexte de la préservation de l'environnement et ces composantes, par exemple une loi relative à la protection de l'environnement est apparue le **05.février1983**, elle concerne la planification de l'usage de la terre, les installations classées, les décharges à l'eau, l'extraction de l'eau, la protection de l'aquifère, les émissions atmosphériques, le bruit, l'élimination des déchets et des substances dangereuses.

Le but principal de cette loi est de fournir le cadre législatif pour la protection et l'évaluation des ressources naturelles, de prévenir contre la pollution et le désagrément et cherche à augmenter la qualité de la vie. Elle s'occupe surtout des aspects de la protection de l'environnement.

Cette loi est abrogée par **La loi 2003-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre de développement durable**. Elle a pour objectif de protéger l'environnement dans la cadre de développement durable tout en fixant les principes

fondamentaux et les règles de gestion de l'environnement, promenant un développement durable. Parmi lesquels on cite :

- L'amélioration des conditions de vie, en garantissant un cadre de vie sain, avec la sauvegarde des composantes de l'environnement.
- L'assurant de l'utilisation écologique des ressources naturelles disponibles en ayant recours à des technologies propres, prévenir toutes formes de pollution causés à l'environnement, en sauvegardant toutes ses composantes. Cette loi défini le contenu de l'étude d'impact déterminée par voie réglementaire contenant :
 - Un exposé de l'activité envisagée
 - Une description de l'état initial du site et de son environnement risquant d'être affecté par l'activité envisagée
 - Une description de l'impact potentiel sur l'environnement et sur la santé humaine de l'activité envisagée avec proposition des solutions
 - Un exposé des effets sur le patrimoine culturel de l'activité et de ses incidences sur les conditions socio-économiques
 - Un exposé des mesures d'atténuation permettant de réduire, supprimer et de compenser les effets nocifs sur l'environnement et la santé.

Dans son article 18, sont soumis à cette loi :

- Les usines, les ateliers, chantiers, carrières, et mines, ou proprement dis toutes les installations exploitées par des personnes physiques ou morales pouvant présenter :
- Des dangers pour la santé publique, l'hygiène, l'agriculture, les écosystèmes, les ressources naturelles, les sites et les zones touristiques et au voisinage.

Cette loi dans son article 19 classe les établissements selon leur importance, leur danger généré suite à leur exploitation ainsi que selon les autorisations obtenues auprès de :

- **Du ministre** chargé de l'environnement
- **Du wali ou du président de l'assemblée populaire communal**

Quelques installations ne nécessitent ni étude d'impact, ni notice d'impact, sont soumises à une déclaration auprès du PAPC concerné.

Dans sin article 15, il est soumis au préalable, à une étude d'impact ou à une notice d'impact sur l'environnement notamment sur : les espèces, les ressources, les milieux et espèces naturels, les équilibres écologiques, le cadre et la qualité de vie.

Pour pouvoir protéger l'environnement dans le cadre de développement durable, il a fallu classer tous les établissements polluants, dans des catégories citées par des textes réglementaires définissant leur nomenclature.

Le décret exécutif N° 98-339 du 03 Novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature, et le **décret exécutif N° 99-253** du 07 Novembre 1999 portant la composition, organisation et fonctionnement de la commission de surveillance et de contrôle des installations classées. Ces deux décrets sont abrogés par **le décret exécutif N° 06-198** du 31 mai 2006, définissant la réglementation appliquée aux installations classées pour la protection de l'environnement. Ce décret dans son deuxième article donne la définition de l'établissement et l'installation classés comme suit :

a)- Installation classée : toute unité technique fixe dans laquelle interviennent une ou plusieurs activités figurant dans la nomenclature des installations classées.

b)- Etablissement classé : l'ensemble de la zone d'implantation comportant une ou plusieurs installations classées et qui relève de la responsabilité d'une personne physique ou morale, publique ou privé qui détient, exploite ou fait exploiter l'établissement et installation classées qui en relèvent.

Ce décret dans son article donne les catégories des établissements classés qui sont :

a)- *Etablissement classé de première catégorie* : elle comporte au moins une installation soumise à une autorisation ministérielle

b)- *Etablissement classé de deuxième catégorie* : elle comporte au moins une installation soumise à une autorisation du wali territorialement compétent

c)- *Etablissement classé de troisième catégorie* : elle comporte au moins une installation soumise à une autorisation du PAPC territorialement compétent

d)- *Etablissement classé de quatrième catégorie* : elle comporte au moins une installation soumise à une déclaration auprès du PAPC territorialement compétent

Dans son article 08, l'emplacement de l'établissement classé projeté sera indiqué sur une carte à l'échelle comprise entre 1/25000^{ème} et 50000^{ème}

Un plan de situation à l'échelle de 1/ 2500^{ème} au minimum du voisinage de l'établissement jusqu'à une distance qui sera au moins égale au dixième du rayon d'affichage fixé dans la nomenclature des installations classés sans pouvoir être inférieur à 100 mètres

Sur ce plan seront indiqués tous les bâtiments avec leur affectation, les voies de chemin de fer, les voies publiques, les ponts d'eau, canaux et cours d'eau

Un plan d'ensemble, à l'échelle de 1/200^{ème} au minimum, indiquant les dispositions projetées de l'établissement classé jusqu'à 35 mètres au moins de celui-ci, l'affectation des constructions et terrains avoisinants ainsi que le tracé des voiries réseaux divers (VRD) existant.

Selon la réglementation Algérienne une nomenclature a été donnée pour chaque type d'établissement classés et ce selon le **décret exécutif N° 07-144 du 19 mai 2007**, fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, dans son deuxième article cette nomenclature comporte :

A- L'attribution d'un numéro de rubrique à quatre chiffres, structurés comme suit :

- Le premier chiffre représente le produit ou l'activité (1 : produit, 2 : activité)
- Le second chiffre représente la catégorie de danger (1 : très toxique, 2 : toxique, 3 : comburante, 4 : explosible, 5 : inflammable, 6 : combustible, 7 : corrosif) ou la branche d'activité.
- Le dernier chiffre représente le type de l'activité

B- Désignation de l'activité de l'établissement classé

C- Identification du type d'autorisation (AM : autorisation ministérielle, AW : autorisation wilaya, APAC : autorisation communale)

D- Le rayon d'affichage de l'établissement

E- Les documents à joindre avec la demande de l'autorisation d'exploitation, qui sont soit :

- L'étude d'impact, étude de danger
- Notice d'impact ou rapport sur les produits dangereux

Dans son article 5, toute demande d'autorisation d'exploitation est précédée selon le cas de :

- D'une étude ou d'une notice d'impact sur l'environnement établie et approuvée selon les conditions exigées par la réglementation en vigueur
- D'une étude de danger établie et approuvée selon les conditions exigées par la réglementation en vigueur
- D'une enquête publique effectuée conformément aux modalités fixées par la réglementation en vigueur

En 2007 est apparu le **décret exécutifs N°07-145** du 19 mai 2007, déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement, dans son article 06, ces études doivent comporter :

1- la présentation du promoteur du projet, le nom ou la raison sociale ainsi que, le cas échéant, sa société, son expérience éventuelle dans le domaine du projet envisagé et dans d'autres domaines

- 2- la présentation du bureau d'études
- 3- l'analyse des alternatives éventuelles des différentes options du projet en expliquant et en fondant des choix retenus au plan économique, technologiques et environnemental
- 4- la délimitation de la zone de l'étude
- 5- la description détaillée de l'état initial du site et de son environnement portant notamment sur ses ressources naturelles, sa biodiversité, ainsi que sur les espèces terrestres, maritimes ou hydrauliques, susceptibles d'être affectés par le projet
- 6- la description détaillée des différentes phases du projet, notamment la phase de construction, la phase d'exploitation et post-exploitation (démontement des installations et remise en état des lieux)
- 7- l'estimation des catégories et des quantités de résidus, d'émissions et de nuisances susceptibles d'être générés lors des différentes phases de réalisation et d'exploitation du projet (déchets, chaleur, bruits, radiation, vibration, fumées, odeurs)
- 8- l'évaluation des impacts prévisibles directs et indirects, à court, moyen et long terme du projet sur l'environnement (air, eau, sol, milieu biologique, santé)
- 9- les effets cumulatifs pouvant être engendrés au cours des différentes phases du projet
- 10- la description des mesures envisagées par le promoteur pour supprimer, réduire et/ou compenser les conséquences dommageables des différentes phases du projet
- 11- un plan de gestion de l'environnement qui est un programme de suivi des mesures d'atténuation et /ou de compensation mises en œuvre par le promoteur
- 12- les incidences financières allouées aux mesures préconisées
- 13- tout autre fait, information, document ou étude soumis par les bureaux d'études pour étayer ou fonder le contenu de l'étude ou de la notice d'impact concerné.

Le **décret exécutif 06-141 du 19 avril 2006**, est venu pour définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, dont les permis de décharge sont accordés par le ministère de l'environnement conjointement avec le ministère de l'équipement selon les spécifications suivantes :

- L'effluent à la source ne doit pas excéder les spécifications de décharge.
- La décharge doit atteindre les spécifications techniques des autorités compétentes.

L'autorisation de décharge est accordée à la condition expresse que le propriétaire de la décharge paie les frais de contrôle de qualité des eaux de puits et des nappes phréatiques afin que les inspecteurs environnementaux puissent y faire des essais. Si les résultats des essais ne sont pas conformes aux spécifications alors l'autorisation peut être retirée jusqu'à ce que des corrections soient faites.

Le contrôle des rejets comporte un examen des lieux, des mesures et analyses opérées sur place et des prélèvements des échantillons aux fins des analyses.

Les opérations de contrôle, donne lieu à la rédaction d'un procès-verbal établi à cet effet, il comporte :

- Nom, prénom de la personne ayant effectuée les analyses
- La désignation du ou des générateurs du rejet d'effluents liquides industriels et de la nature de leur activité
- La date, l'heure, l'emplacement et les circonstances de l'examen des lieux et des mesures faites sur place
- Les constatations relatives à l'aspect, la couleur, l'odeur de rejet, l'état de la faune et de la flore à proximité de lieu de rejet et les résultats et des analyses opérés sur place
- L'identification de chaque échantillon prélevé, accompagné de l'indication de l'emplacement, de l'heure et des circonstances de prélèvement
- Le nom du ou des laboratoires destinataires de l'échantillon prélevé

Le **décret exécutif 06-138 du 15 avril 2006**, est venu aussi pour réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solide, ainsi que les conditions

dans lesquelles s'exerce leur contrôle. Pour cela les installations fixes doivent être conçues et construites pour que les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussière, et particules n'excèdent pas les spécifications actuelles. La conformité sera assurée par vérification par un échantillonnage effectué par des inspecteurs de l'environnement, et toute infraction peut entraîner la suspension de l'activité jusqu'à ce que des améliorations soient réalisées.

Le présent décret a pour objet de réglementer l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.

-Les rejets atmosphériques traités sont évacués par l'intermédiaire de cheminées ou par une conduite d'évacuation conçue de façon à permettre une bonne diffusion des émissions

-Quiconque exploite ou rejette de réaliser une installation générant des rejets atmosphériques ne relevant pas de la réglementation des installations classés doit fournir à l'autorité compétente toutes les informations portant sur :

- La nature et la quantité des émissions
- Le lieu de rejet, la hauteur à partir du sol à laquelle il apparait et ses variations dans le temps
- Toute autre caractéristique du rejet, nécessaire pour évaluer les émissions
- Les mesures de réduction des émissions

Le **décret exécutif N° 06-02 du 7 Février 2006**, a pour but de définir les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique, mentionnons qu'il n'existe pas de normes d'air ambiant algériennes pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les composés organiques totaux (COT).

Le **décret exécutif N°93- 184 du 27 juillet 199**, est venu pour réglementer l'émission de bruit, dont les actions menées dans le cadre du suivi médical des travailleurs conformément aux textes régissant la médecine du travail et la protection des travailleurs en milieu industriel prennent en charge le volet nuisances sonores.

- Cote d'alerte (A) à 85 dB (référence national)
- Cote de danger (D) à 90 dB (référence International)

Chapitre II

Outils d'intégration environnementale

I. Introduction

Les questions d'impact environnemental prennent une place croissante dans les prises de décision politiques, économiques ou encore industrielles. Force est de constater que les effets de l'activité humaine liés au développement de la société ne sont pas sans conséquence sur notre planète. Ainsi, pour l'avenir de la société, il est indispensable d'effectuer des actions contribuant à réduire efficacement les impacts environnementaux.

Afin de minimiser les impacts environnementaux de leurs actions, les principaux donateurs de l'aide publique au développement ont instauré des processus d'évaluation d'impacts environnementaux applicables à leurs activités de développement et de coopération afin de mieux encadrer leurs actions à l'international et d'apporter une amélioration des conditions de vie des populations, tant sur l'environnement biophysique que sur l'environnement socio-économique. Des processus standards d'évaluation d'impacts environnementaux ont été adoptés pour analyser les impacts et leurs réponses, ainsi que de nouveaux outils ont été aussi développés pour mener des évaluations environnementales d'une manière très rapide.

Actuellement, environ vingt-huit outils et méthodes d'évaluation des impacts ont été recensés, ces dernières ont été mises en œuvre en France et éventuellement dans les pays limitrophes (Suisse, Belgique). Les outils et méthodes ont été regroupés selon les dimensions de durabilité intégrées à l'évaluation (environnement, économie, social) c'est-à-dire évaluation :

- De la durabilité : conjointement des dimensions environnementales, sociales et économiques)
- Environnementale et technico-économique
- Environnementale seule
- Technico-économique

Les principaux objectifs de l'évaluation environnementale sont :

- Vérifier que l'ensemble des facteurs environnementaux ont été bien pris en charge à chaque moment de préparation du plan ou du programme
 - Analyser tout au long du processus d'élaboration du plan ou du programme, les effets potentiels des objectifs et orientations d'aménagement et de développement sur toutes les composantes de l'environnement
 - Permettre les inflexions nécessaires pour garantir la compatibilité des orientations avec les objectifs environnementaux
 - Dresser un bilan factuel, à terme, des effets du plan ou de programme sur l'environnement
- L'évaluation environnementale doit être perçue comme une démarche au service d'un projet de territoire cohérent et durable. Elle doit s'appuyer sur l'ensemble des procédés permettant de vérifier la prise en compte :

- Des objectifs de la politique de protection de l'environnement qui doivent se traduire par des engagements aussi bien précis que ceux relatifs à l'aménagement et au développement
- De mesurer pour limiter les incidences négatives et renforcer les effets positifs des orientations reconnues
- Des études relatives aux impacts sur l'environnement
- Des résultats des débats de la concertation sur la comptabilité des différents enjeux territoriaux (économiques, sociaux, environnementaux)

II. Revue des méthodes d'évaluation environnementale des impacts

Les études d'évaluation environnementale des impacts d'une entité donnée, se fait en phase de réalisation du projet ou en phase d'exploitation. Cette évaluation se réalise dans le but d'envisager des solutions fiables pour les entités en phase d'exploitation et d'éviter l'apparition des problèmes environnementaux pour les entités en phase de réalisation des projets.

Pour répondre aux besoins des entreprises, il existe aujourd'hui de nombreuses méthodes d'évaluation environnementale. L'inventaire de ces méthodes n'est pas exhaustif : un tel inventaire aurait été laborieux, car les méthodes aujourd'hui sur le marché sont très nombreuses, et finalement peu instructif, car on retrouve fréquemment des structures méthodologiques identiques.

II.1 Terminologie : Évaluation, diagnostic ou audit

Il est avant tout nécessaire d'apporter quelques précisions sur les termes employés : en effet, les termes "diagnostic", "audit" et "évaluation" sont employés de façon assez aléatoire dans les intitulés des différentes méthodes. Si l'on se reporte au Petit Robert, on trouve pour ces termes les définitions suivantes [1] :

- **Diagnostic** : "Détermination d'un état d'après ses symptômes"
- **Évaluation** : "Action d'évaluer, de déterminer la valeur ou l'importance d'une chose"
- **Audit** : "Mission d'examen et de vérification de la conformité (aux règles de droit, de gestion) d'une activité particulière ou de la situation générale d'une entreprise"

Si l'on se place dans le contexte de l'environnement industriel, le diagnostic correspondrait alors à la recherche de l'origine ou des causes d'un problème ponctuel, l'audit à la stricte comparaison à une référence, l'évaluation conservant une définition ouverte, plus globale.

Dans la pratique de l'environnement industriel actuel, les sens donnés à ces termes sont assez différents :

- *les méthodes de diagnostic* sont des méthodes permettant de dresser un état des lieux, qualitatif, et d'établir un premier contact entre l'entreprise et l'environnement.
- *les méthodes d'audit* ont une définition qui a évolué dans le temps :
La définition initiale du terme "*audit*" était très large : "*l'audit environnement* a pour objet d'apprécier, à un moment donné du temps, *l'impact* que tout ou partie de la production ou de l'existence d'une entreprise est *susceptible*, directement ou indirectement de générer un incident sur l'environnement." [76].

On appelait ainsi "*audit*" les méthodes d'évaluation à portée générale : audit de cession / acquisition, pour l'évaluation des impacts environnementaux d'une activité, ou d'une éventuelle pollution des sols, audit de risque, pour l'évaluation du risque environnemental d'une activité... L'évolution actuelle est de n'appeler "*audit*" que ce qui est en fait un *audit de conformité*, c'est à dire une évaluation de la conformité d'une entreprise relativement à des règles. Si l'on consulte le dictionnaire des termes normalisés [77], seul l'audit des SME est mentionné.

- **Evaluation des impacts sur l'environnement EIE (ou étude d'impact sur l'environnement)** : Est « une procédure qui permet d'examiner les conséquences bénéfiques ou néfastes qu'un projet ou un programme de développement envisagé aura sur l'environnement et de s'assurer que ces conséquences sont dûment prises en compte dans la conception du projet ou programme » [79]

L'EIE inclut toute une gamme d'évaluations spécialisées portant sur les impacts sociaux, les impacts économiques, les impacts sur la santé et l'analyse de risque. Elle examine tant les impacts des projets pris individuellement que les effets cumulatifs générés par l'addition de plusieurs projets ou activités. Ce processus s'applique sur tous les secteurs d'activité humaine.

- **Evaluation environnementale** : Elle se compose, d'un ensemble de processus qui visent la prise en compte de l'environnement dans la planification des opérations ou de développement des projets, de plan, de programme ou de politiques.

C'est aussi un processus systématique qui consiste à évaluer et à documenter les possibilités, les capacités et les fonctions des ressources, des systèmes naturels et des systèmes humains afin de faciliter la planification du développement durable et la prise de décision en général, ainsi qu'à prévoir et à gérer les impacts négatifs et les conséquences des propositions d'aménagement en particulier [80]

II.2 Classification des méthodes d'évaluation environnementale

Pour la classification de ces méthodes, on recherche les objectifs suivants :

- Observer et classer les structures, selon lesquelles sont organisées les méthodes d'évaluation. Ces structures peuvent se révéler très différentes, en fonction du degré de sensibilisation des entreprises auxquelles s'adresse la méthode.
- Recenser les domaines d'évaluation abordés par chaque méthode, ainsi que l'importance respective qui leur est accordé. Cet inventaire systématique permettra d'identifier le champ couvert par chaque méthode d'évaluation.
- Cerner les avantages et inconvénients principaux de chaque type de méthode, relativement à une mise en œuvre dans une PME-PMI.
- Identifier le type d'utilisateur auquel la méthode est destinée, ainsi que le besoin de l'entreprise auquel elle répond. Précisons que l'utilisateur est ici la personne chargée de mettre en œuvre la méthode sur le terrain, tandis que le destinataire, généralement le chef d'entreprise, est la personne à l'origine de l'évaluation et qui en exploitera les résultats.

Selon ces caractéristiques, il existe donc quatre grandes catégories de méthodes présentant des structures différentes :

II.2.1 Les méthodes de diagnostic, qui se présentent généralement sous forme de questionnaires à choix multiples et s'adressent à des entreprises peu avancées dans la prise en compte de la protection de l'environnement. Exclusivement qualitatives, elles permettent la sensibilisation de l'utilisateur et la détection des domaines (eau, énergie, déchets, rejets liquides...) présentant des points faibles.

Les méthodes de diagnostic sont les plus simples à utiliser. Elles visent en général des personnes non-expertes et peuvent ainsi être utilisées par un responsable de l'entreprise seul, en autodiagnostic. Elles sont parfois employées par les consultants chargés d'une évaluation complète, pour effectuer un premier contact avec l'entreprise.

Ces méthodes s'adressent à des entreprises peu avancées dans la prise en compte de la protection de l'environnement. Les méthodes de diagnostic visent deux objectifs principaux :

- * la sensibilisation, c'est à dire la **prise de conscience** des interactions entre l'activité de l'entreprise et l'environnement.
- * la **détection approximative des problèmes environnementaux** dans l'entreprise, par un balayage rapide de ses interactions avec l'environnement et de ses pratiques de management.

L'avantage des méthodes de diagnostic tient essentiellement à leur simplicité d'usage car elle vise la cible des PME-PMI, qui disposent généralement de peu de compétences environnementales au sein de leur personnel. En revanche, la limitation systématique aux résultats qualitatifs pénalise les méthodes de diagnostic. Cette restriction aux considérations qualitatives limite la portée de ces méthodes aux entreprises s'initiant aux préoccupations environnementales.

L'utilisation des méthodes de diagnostic correspond donc à un premier pas de l'entreprise vers la prise en compte de la préoccupation environnementale. Cette évaluation générale ne se suffit pas à elle-même, mais doit faire prendre conscience à l'entreprise du bienfondé de l'engagement dans une démarche plus approfondie : si des points faibles sont détectés, le traitement précis des problèmes, débouchant sur des mesures concrètes sur le terrain, demande une évaluation quantitative plus complète que le simple auto-diagnostic [1].

II.2.2 Les méthodes d'évaluation initiale, qui proposent un bilan matière/énergie exhaustif permettant d'aboutir à la construction d'un premier plan d'action de correction. Elles s'adressent à des entreprises disposant de compétences environnementales internes.

Les méthodes d'évaluation initiale répondent à un besoin de mise en place de plans d'action visant à améliorer les facteurs d'impact d'une entreprise.

Les méthodes d'évaluation initiale s'adressent à des entreprises déjà sensibilisées à l'environnement, et qui souhaitent franchir le pas de la mise en œuvre de mesures pratiques.

Elles ne se présentent pas sous forme de questionnaires, mais proposent une organisation d'évaluation permettant d'aboutir à la construction d'un plan d'action.

L'objectif visé est l'**amélioration des facteurs d'impact de l'entreprise** à travers :

- la recherche des dysfonctionnements du système de production.
- l'élaboration de solutions viables au niveau technique, environnemental et financier.

L'évaluation s'appuie sur les données brutes prélevées sur le terrain. Le référentiel utilisé n'est pas clairement identifié. Il est en fait laissé au jugé de l'équipe d'évaluation, qui pourra par exemple dans un premier temps rechercher la conformité réglementaire, puis, une fois cet objectif minimum atteint, choisir un référentiel plus ambitieux (objectifs internes ou norme).

L'avantage principal des méthodes d'évaluation initiale tient dans leur souplesse d'emploi. Ce ne sont pas des méthodes directives ; elles laissent une large place à l'initiative de chaque entreprise qui peut ainsi adapter précisément la méthode à son cas particulier.

Le principal inconvénient de ces méthodes est le pendant de cette souplesse : l'organisation de l'évaluation est peu guidée, et demande des compétences environnementales de la part des utilisateurs. Ces méthodes font donc appel soit à des compétences internes, soit à des interventions extérieures à l'entreprise si de telles compétences n'existent pas en son sein. Les compétences internes étant improbables dans une PME, il est alors nécessaire de faire appel à une aide extérieure, généralement un consultant [1].

II.2.3 Les méthodes d'audit des SME, qui visent à vérifier la conformité du système d'une entreprise aux exigences du référentiel qu'elle a choisi. Cet audit est effectué par un tiers, "auditeur" dans le cadre de la norme ISO 14001, "vérificateur" dans le cadre du règlement européen.

Les audits de SME visent à **vérifier le bon fonctionnement du système de management environnemental** : ils s'adressent donc à des entreprises engagées dans la mise en place d'un SME.

On distingue deux types d'audits : audit interne et audit de certification :

- *l'audit interne*, que l'entreprise conduit de son propre fait (et qui peut être réalisé soit par l'entreprise, soit par des intervenants externes), vise à vérifier le bon fonctionnement de son système de gestion.
- *l'audit de certification*, lui, est conduit par un tiers, dans l'optique de la délivrance de la certification de l'entreprise. Cet audit est dit externe ; il est perçu comme un examen, avec les biais que cela implique : l'objectif de l'entreprise est d'avoir cet examen, c'est à dire d'obtenir le certificat (quitte à cacher les points sensibles), et non pas d'améliorer le fonctionnement du système.

L'audit interne sera donc vraisemblablement plus fructueux en termes de résultats et d'amélioration que l'audit de certification, qui reste cependant indispensable en tant que garantie externe de la valeur des systèmes de management environnemental.

On peut remarquer que, l'audit du SME vérifiant les résultats, il doit finalement s'appuyer sur les données fournies par un outil de gestion de l'information construit dans le cadre du SME, et ne substitue pas à cet outil.

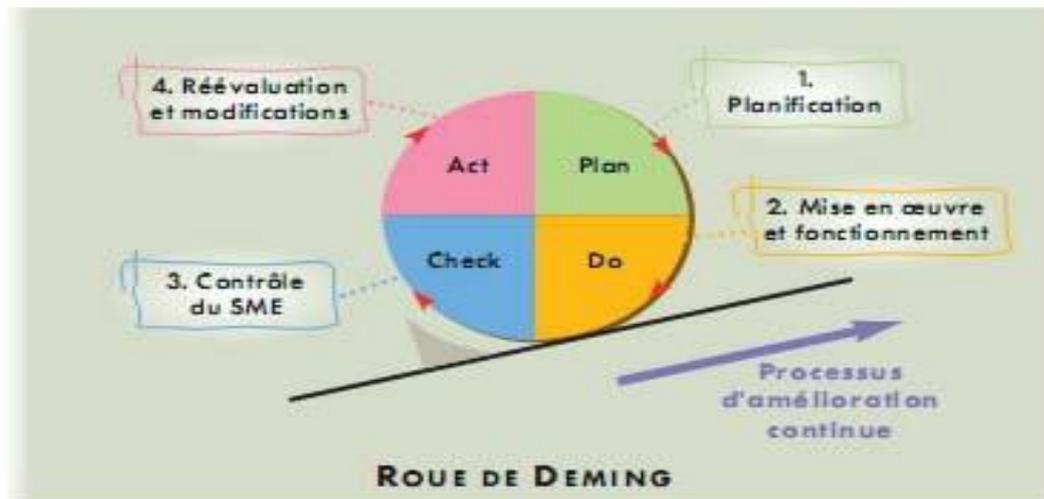
Les avantages et inconvénients des méthodes d'audit des SME sont relativement proches de ceux observés pour les méthodes d'évaluation initiale.

Les méthodes d'audit des SME précisent essentiellement l'organisation générale de l'audit, le contenu étant largement dépendant de la politique de l'entreprise en matière d'environnement. Cependant, si le principe d'organisation est le même, les objectifs diffèrent : l'évaluation initiale vise à réaliser un état des lieux permettant l'élaboration d'un programme de mesures, tandis que l'audit périodique vise plutôt à assurer le retour d'expérience après la mise en place d'un tel programme dans le cadre d'un SME. On retrouve dans les deux cas l'avantage d'adaptabilité de la méthode, contrecarré par l'inconvénient du besoin de compétences spécifiques de l'utilisateur. Ce dernier trait est encore plus prononcé pour les méthodes d'audit des SME, car les compétences doivent alors de surcroît être accréditées par un organisme agréé [1].

Le système de management environnemental, qui par définition propose une approche systémique est une réponse rigoureuse et concrète à des attentes parfois très immatérielles. Celui-ci peut se parcourir avec deux grilles de lecture ; l'une centrée autour de l'entreprise *approche site*, et l'autre qui s'attache à la chaîne de production d'un produit ou d'un service particulier *approche produit* [89].

Le fonctionnement du SME est basé sur l'amélioration continue, caractérisée par la **Roue de Deming** nommée aussi **PDCA** (Plan-Do-Check-Act) [90].

Figure N°13 : La roue de DEMING



Le système de management environnemental est un outil qui permet d'atteindre les objectifs fixés [91]. Il présente les avantages définis ci-dessous :

a)- Avantages économiques

En effet le principal avantage économique est l'amélioration du contrôle des dépenses. En effet le système de management environnemental recherchera toujours l'économie des ressources (matières premières), et la maîtrise des rejets (déchets). Il peut permettre ainsi de réduire les consommations d'eau, d'énergie, et de valoriser les déchets [92].

b)- Avantages commerciaux

L'avantage commercial immédiat est l'amélioration de l'image de marque. Une entreprise qui met en avant sa politique environnementale est une entreprise qui se distingue favorablement de ses concurrents aux yeux des clients. Le système de management environnemental rend décisive cette bonne impression, en mettant en valeur le sérieux et la rigueur de la démarche.

Le management environnemental comporte les étapes suivantes [93] :

- Volonté politique du manager
- Bilan des éléments décisifs
- Analyse environnementale
- Rédaction du programme environnemental
- Réalisation du programme
- Audit

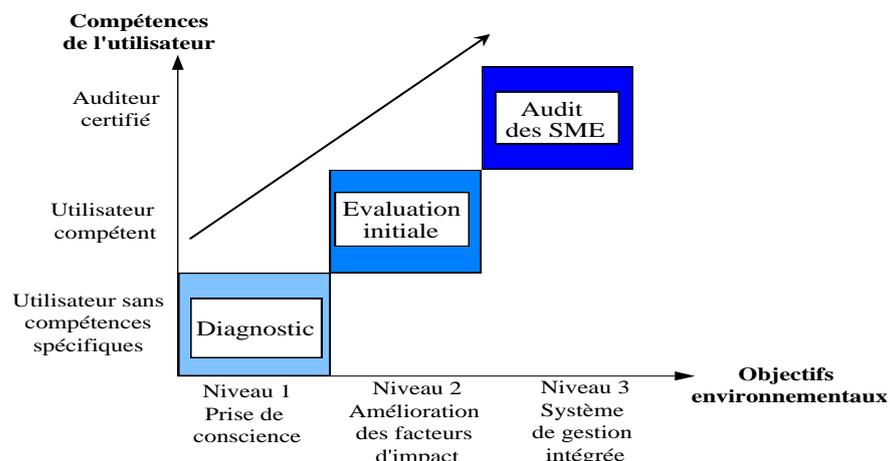
Les différents types de méthodes d'évaluation des performances présentées diffèrent par leurs objectifs et leur structure. Le Tableau suivant reprend succinctement les principales caractéristiques de chaque catégorie de méthode.

Tableau N° 6 : Principales caractéristiques des différentes catégories de méthodes d'évaluation des performances environnementales.

Méthode	Diagnostic	Évaluation initiale	Audit SME
Présentation	Questionnaire	Guide	Norme
Objectifs	Prise de conscience Identification des lacunes	Amélioration des facteurs d'impact	Certification des SME Progrès continuels
Exploitation des résultats	Diagnostic qualitatif	Plan d'action	Certification du SME Plan d'actions correctives

Ce tableau de synthèse permet de se rendre compte que, pour ces trois types de méthodes, le "niveau environnemental" des objectifs va croissant des méthodes de diagnostic, qui se contentent de sensibiliser et d'identifier peu précisément les zones à problèmes (niveau 1), jusqu'aux méthodes d'évaluation des SME, qui visent à l'amélioration continue de l'efficacité du système de gestion (niveau 3).

Figure N° 14 : Progression du niveau de compétence de l'utilisateur en fonction du niveau des objectifs environnementaux visés par les méthodes d'évaluation



C'est aussi un outil de vérification environnementale, appliqué au sein d'une entreprise existante. C'est un outil de gestion qui comprend une évaluation systématique, documentée, périodique et objective de la manière dont fonctionnent l'organisation, la gestion et le matériel en matière d'environnement, dans le but de contribuer à la sauvegarde de l'environnement en :

- Facilitant le contrôle par la direction de façon dont les questions d'environnement sont traitées

- Evaluant la conformité avec la politique de la société, y compris celles qui consistent à satisfaire aux exigences réglementaires [80]

Il existe deux types d'audits principaux à savoir :

- les audits de transaction qui surviennent lorsqu'une entreprise réalise de nouvelles acquisitions
- les audits de gestion qui constituent un outil de surveillance permettant d'évaluer l'entreprise.

II.2.3.1 Phase de réalisation de l'audit SME

Il existe trois phases distinctes à savoir :

Phase 1 : Recensement des données de base découlant de l'examen écologique notamment des Conditions-cadre naturelles

- Impact existant/sensibilité
- Exploitation/intensité/impact

Phase 2 : Définition des objectifs du projet, et notamment

- Mise en relief des effets sur l'environnement résultant de l'activité de la société.

Phase 3 : Examen préliminaire, résultats, définition de la politique de l'environnement, examen écologique, notamment :

- Evaluation de l'état des lieux en recensant des données géographiques (limitations de la zone d'activité, travaux entreprises, impacts et dommages).
- Collecte des données du site, toutes les informations relatives à l'environnement se réfèrent au sol, eau, climat/air, végétation, faune, paysage, recensement hydrologique (zone d'influence, espaces protégés), recensement paysager (proximité de la nature, effets perturbants)
- Définition des critères d'évaluation
- Elaboration des critères de base en vue de l'évaluation comparative
- Vérification des outils à mettre en œuvre pour analyser et évaluer l'impact de l'entreprise sur l'environnement

Phase 4 : Elaboration du programme environnemental, notamment :

- Documentation des résultats et propositions d'un programme découlant des résultats
- Rédaction d'objectifs concrets valables pour le site en question
- Définition des mesures nécessaires pour appliquer le programme
- Définition des priorités

Phase 5 : Rapport comprenant

- Le résumé des résultats obtenus

Phase 6 : Système d'information environnemental et documentation, avec notamment :

- Préparation de propositions visant à instaurer un système de management environnemental
- Mise au point des paramètres appropriés, espaces de référence, chiffres caractéristiques ou valeurs sur la base de l'évaluation de la situation existante, préparation d'un modèle en fonction du temps pour les paramètres relatifs à l'espace

Contrairement aux EIE, les audits d'environnement sont et devraient être effectués sur une base volontaire et demeure un processus interne à l'entreprise. [84]

II.2.3.2. Méthodes et outils d'audit

II.2.3.2.1 Listes de contrôle

Les listes de contrôles, conviennent à des phases particulières du processus, dans le cas des cimenteries, elles s'appliquent à la phase d'exploitation du fait que le procédé est opérationnel [81].

a)- *Liste simple* : Dans ce cas les énumérations à l'énumération des composantes de l'environnement, d'impacts potentiels ou de caractéristiques d'activités [85] ; elles servent à attirer l'attention du professionnel sur les options essentielles [81].

b)- *Liste descriptive* : Elle sert d'aide à l'évaluation en guidant le professionnel en lui donnant les modes de mesures et les techniques de prédiction privilégiés [81].

II.2.3.2 Matrices d'impacts

Les matrices d'impacts intègrent les composantes de l'environnement et les activités d'un projet en un tableau d'interaction de façon à déterminer les causes à effets [81].

Avant de passer à l'évaluation qualitative des impacts par la matrice d'impact, ces derniers peuvent être classés selon leurs notes et leurs critères illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau N°7 : Critères d'évaluation qualitative des impacts [81]

<i>Note de l'impact</i>		<i>Critères</i>		
<i>Nature de l'impact</i>	<i>Bénéfique</i>	<i>Positif</i>		
	<i>Nuisible</i>	<i>Négatif</i>		
<i>Durée de l'impact</i>	<i>Court terme</i>	<i>Les impacts seront limités dans le temps</i>		
	<i>Long terme</i>	<i>Les impacts se poursuivront durant toute la durée de vie de l'usine</i>		
<i>Probabilité de se produire</i>	<i>Très faible</i>	<i>< 10%</i>	<i>Faible</i>	<i>10 - 40%</i>
	<i>Moyen</i>	<i>40 60 %</i>	<i>Elevé</i>	<i>60 - 80%</i>
	<i>Très élevé</i>	<i>80- 100 %</i>		
<i>Importance de l'impact</i>	<i>Très faible</i>	<i>Impacts perceptibles uniquement</i>		
	<i>Localisé</i>	<i>Ressentis par les localités avoisinantes et susceptibles de les affecter directement</i>		
	<i>Majeur</i>	<i>Impact direct durable</i>		
	<i>Grande échelle</i>	<i>Capable de modifier le système</i>		
<i>Niveau potentiel de l'impact</i>	<i>Faible</i>	<i>Quasi pas d'impacts</i>		
	<i>Moyen</i>	<i>Impacts confinés à la zone</i>		
	<i>Elevé</i>	<i>Impacts de portée régionale</i>		

a)- Matrice symbolique

En 1971 Leopold et al [86] ont élaboré la première matrice pour l'évaluation de projet de construction. Celle-ci sert à reconnaître les composantes des milieux, et de ressentir les effets dont les interactions produisent une matrice réduite. Ces interactions sont quantifiées en fonction de la grandeur et de l'importance d'impact.

La matrice proposée par Leopold et al, a sur un axe les actions causant un impact environnemental et sur l'autre, les conditions environnementales qui peuvent être affectées.

La matrice de Leopold a été le précurseur du développement d'un ensemble des matrices adaptées à des besoins spécifiques. Ces derniers proposent plusieurs types de matrice à savoir : matrice simple, matrice numérique, et matrice symbolique.

Afin d'exploiter ces matrices notamment les interactions entre les composantes de l'environnement et les activités, les impacts environnementaux sont exprimés sous forme symbolique dont les symboles expriment la valeur d'impact selon qu'il s'agit d'un impact très significatif, majeur, mineur, ou négligeable.

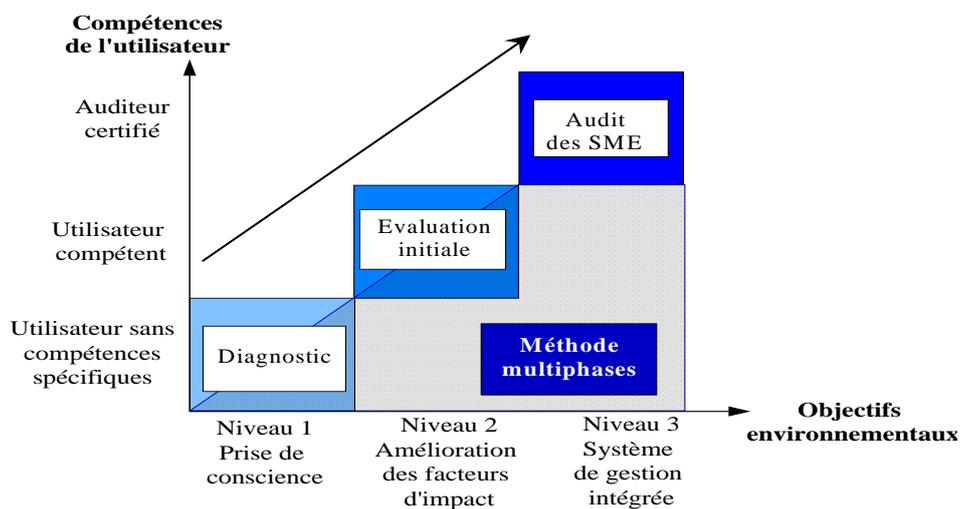
b)- Matrice simple

Elle présente les impacts dans un tableau résumant la liste des activités et des composantes de l'environnement qui peuvent s'interagir. Il suffit de cocher simplement les cellules représentant des impacts potentiels [87]

II.2.4 Les méthodes "multi phases", qui sont construites de façon à aborder progressivement les problèmes environnementaux, accompagnant l'entreprise à travers plusieurs phases d'évaluation, du diagnostic qualitatif au bilan quantitatif complet.

Les méthodes multi phases sont construites de façon à aborder progressivement les problèmes environnementaux, accompagnant l'entreprise à travers plusieurs phases d'évaluation. Elles combinent plusieurs des caractéristiques des catégories précédemment présentées : les premières phases effectuent un premier diagnostic, les suivantes une évaluation de plus en plus détaillée, et les phases finales vont éventuellement jusqu'au suivi d'un système de gestion environnementale

Figure N°15 : Positionnement des méthodes multi-phases



Les méthodes d'évaluation multi phases permettent à l'entreprise de franchir progressivement les étapes suivantes :

- sensibilisation, identification des contraintes et enjeux environnementaux pour l'entreprise,
- identification des impacts sur l'environnement dus à l'activité de l'entreprise,
- évaluation des impacts sur l'environnement,
- éventuelle proposition de solutions d'amélioration (techniques ou organisationnelles) et mise en œuvre,
- suivi des performances environnementales pour une amélioration continue.

- Dans le cadre du PEE, l'acquisition des connaissances se fait par le remplissage de fiches thématiques. Les données recueillies sont stockées, réactualisées annuellement et constituent une véritable base de données environnementale pour l'entreprise.

Les méthodes multi-phases présentent de nombreux avantages :

- Elles sont accessibles aux non-spécialistes : dans l'exemple exploité, l'utilisateur de la méthode est guidé très précisément. Il n'est donc pas nécessaire de disposer de compétences environnementales particulières pour la mettre en œuvre. On peut même considérer que son emploi constitue une véritable "auto-formation", l'utilisateur acquérant progressivement des compétences lors de l'utilisation.
- Elles offrent des résultats environnementaux concrets dans l'entreprise. La méthode PEE peut ainsi déboucher sur la programmation d'actions d'amélioration sur le terrain, et éventuellement
- amener à l'implantation d'un système complet de gestion de l'environnement, avec définition d'une politique et d'un programme environnementaux

Les méthodes multi-phases ont également des inconvénients, liés à l'utilisation autonome qui en est faite et au public particulier des PME auquel elles s'adressent : pour obtenir des résultats satisfaisants, et dans la mesure où l'utilisation de la méthode se fait en interne, il est indispensable qu'une personne de l'entreprise au moins soit disponible pour la mise en œuvre de la méthode.

Dans le cas du plan PEE, le lancement de l'évaluation est une phase assez lourde. La rançon de l'exhaustivité est la lourdeur de la méthode (les deux parties du PEE représentent 450 pages) qui la rend a priori difficilement utilisable de façon autonome dans une petite PME.

II.3 Evaluation environnementale stratégique

C'est des méthodes d'analyses multi-sectorielles globale de l'environnement et des problèmes soulevés dans un pays ou toute autre juridiction. Elles supposent l'examen de l'évolution dans le domaine de la qualité de l'environnement et l'utilisation des ressources naturelles, ainsi que l'analyse des problèmes d'ordre juridique, économique, social et institutionnels que pose la gestion de ces ressources [82].

Elle est définie comme un processus d'évaluation et d'examen des plans, des programmes et des politiques ou d'autres initiatives en amont des projets [80]. Ce processus tire son origine de la difficulté de remettre en question les propositions et de débattre des différences possibles dans le cadre même d'EIE en ce qui concerne les projets. Il vise à améliorer la planification en faisant porter l'analyse des plans, les programmes et des politiques sur la justification des choix de développement et sur l'analyse comparative des différentes options [80].

Cette approche a pour but de concilier les enjeux économiques, environnementaux et sociaux associés aux décisions de nature stratégique et d'intégrer ces enjeux dans la formulation même des PPP ; plans, programmes et politiques.

Le recours à l'EES (évaluation environnementale stratégique) par les organisations internationales et les administrations publiques nationales a permis d'atteindre les objectifs suivants :

- intégrer plus systématiquement les considérations de développement durables dans les PPP
- encourager la consultation et la participation du public à la prise de décision stratégiques afin de contribuer à une plus grande transparence des processus de décision, d'améliorer la qualité et la crédibilité des PPP et de réduire le risque controversé ou de confrontation à la suite de l'adoption de ces documents.

Chapitre II : Outils d'intégration environnementale

- fournir un cadre de travail pour améliorer la collaboration et la communication entre les différents acteurs engagés dans le processus de planification et pour favoriser la coopération transfrontière [83]

Tableau N° 8 : Plan Environnement Entreprise [1]

Plan Environnement Entreprise	
Type de méthode	Multi phases
Utilisateur	<ul style="list-style-type: none"> dirigeant de l'entreprise pour le suivi responsable ou animateur environnement de l'entreprise pour la mise en œuvre
Présentation	<ul style="list-style-type: none"> un guide méthodologique destiné au chef d'entreprise. un guide opérationnel, ouvrage pratique de mise en œuvre de la méthode, en trois phases (1) : Prendre conscience, Connaître pour progresser, Se faire reconnaître. Il se présente sous forme de classeur contenant des fiches méthodes, et est destiné au responsable opérationnel environnement de l'entreprise
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> guide méthodologique : sensibilisation du dirigeant, présentation de la méthode et fiches d'informations guide opérationnel : "intégrer progressivement la dimension environnement dans l'activité quotidienne, et mettre en place un système global de management qui permette d'améliorer, de manière continue, les performances environnementales". <p>Le guide opérationnel permet de : "- rechercher et recueillir les données environnementales pertinentes pour l'entreprise, - analyser ces données, - identifier les améliorations possibles, - mettre en place les procédures d'organisation adaptées à l'entreprise, - suivre et contrôler la mise en œuvre opérationnelle du plan."</p>
Principaux domaines abordés (nombre de fiches)	<p>Politique environnementale et Objectifs environnementaux (4 fiches)</p> <p>Programme environnemental (1)</p> <p>Recueil réglementaire (7)</p> <p>Recueil des impacts (20)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Établissement (4) - Rejets et émissions (10) - Utilisation des ressources (2) - Divers (3) - Cartographie des nuisances potentielles (1) <p>Amélioration des performances (6)</p> <p>Manuel d'organisation (3)</p> <p>Gains et coût environnementaux (5)</p> <p>Contrôle opérationnel (7)</p> <p>Suivi des performances, audit et revues de direction (3)</p>
Exploitation des résultats	Constitution d'un "classeur environnemental" regroupant les différentes fiches, qui contiennent l'ensemble des informations recueillies, doivent être régulièrement mises à jour, et permettent de suivre les variations de performances, d'identifier les priorités environnementales, et de suivre l'efficacité des actions d'améliorations programmées
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> Cette méthode est la seule à faire la distinction entre le chef d'entreprise, qui doit soutenir et suivre l'évaluation, et le responsable environnement qui met la méthode en œuvre sur le terrain. La démarche suivie est une première approche du règlement européen de Système de Management de l'Environnement et d'Audit, ainsi que de la norme ISO14001.

II.4 Méthodes d'aide à la décision

Tous au long du processus d'évaluation, il est nécessaire de prendre des décisions qui peuvent porter sur des choix :

- De localisation

- D'aménagement, de conception technique et technologique
- D'envergure du projet
- Des mesures d'atténuation ou de compensation

Cette démarche s'inscrit dans la démarche de prise de décision dans la politique de gestion environnementale, l'information peut être de nature qualitative (un commentaire ou une description) ou de nature quantitative (valeurs d'indicateurs), de nature ordinale (des rangs de performance, des échelles...), pondérée (chaque critère est pondéré par rapport aux autres).

Tableau N°9 : La gamme des processus d'évaluation environnementale

Processus	Contexte d'application
Etudes et stratégies	Etat de l'environnement et de sa gestion à l'échelle nationale Action environnementale à l'échelle nationale Gestion d'entreprise
Evaluation environnementale stratégique	Plans, programmes et politiques
	Secteurs (énergie, mines, tourisme...) Investissements régionaux
Evaluation du cycle de vie	Energie et matériaux utilisés et émis dans l'environnement depuis la conception d'un produit jusqu'à son élimination
Evaluation des impacts sur l'environnement	Projets et parfois plans et programme d'activités
Evaluation environnementale interne	Activités de planification, de construction ou de modernisation au sein de l'entreprise et délégués au gestionnaire de projet
Audit environnementale ou vérification environnementale	Conformité des opérations avec les lois, réglementations, programmes ou politiques de l'entreprise ou de l'état

Plusieurs méthodes d'aide à la décision sont utilisées ; présentation de l'information en tableau, comparaison par critères, méthodes ordinales, aide multicritère à la décision.

La méthode d'aide multicritère à la décision par exemple, selon Simos, J [88] comporte quatre procédures à savoir :

- A choisir la meilleure action (procédure de sélection)
- A trier les actions d'après leur valeur intrinsèque (procédure de segmentation)
- A ranger les actions selon un ordre de préférence décroissante (procédure de classement)
- A décrire les actions ou leurs conséquences de façon systématique et formalisée (procédure cognitive),

Cette méthode comporte huit étapes :

- Reconnaissance des acteurs
- Définition des actions et élaboration des scénarios
- Définition des critères et de leur pondération
- Elaboration de la matrice des évaluations
- Application de la procédure de comparaison
- Pondération des critères et agrégation des performances
- Analyse et établissement du classement final
- Analyse de robustesse et de sensibilité

Chapitre III
Analyse de Cycle de Vie (ACV)

I. Introduction

L'Analyse du Cycle de Vie est un processus à plusieurs fonctions voir :

- évaluer les pressions environnementales associées à un produit, à un processus ou une activité en établissant et en quantifiant l'énergie et les matériaux utilisés et relâchés dans l'environnement
- procéder à l'évaluation des impacts sur l'environnement des énergies et des matériaux utilisés
- déterminer et évaluer les possibilités d'apporter des améliorations environnementales [94].

L'ACV est un outil d'aide à la décision qui répond spécifiquement à ce besoin. Plus précisément, elle vise à définir les actions prioritaires en tenant compte de leurs impacts environnementaux, leurs coûts et des contraintes qu'elles impliquent.

II. Historique

Le concept de l'environnement de l'analyse de cycle de vie(LCA) a été développé à partir de l'idée de compréhension de l'analyse environnementale du produit, qui est conçue en Europe et en USA respectivement en fin d'année1960 et début de l'année1970 L'ACV a été utilisé par les consultants comme un excellent outil d'évaluation environnementale, dont elle révèle une différence importante des résultats obtenus vue les différentes méthodes d'évaluation utilisées, qui sont par la suite harmonisées et standardisées [95].

Un nombre important de journaux portés sur l'ACV a été publié notamment dans les journaux :

- journal of cleaner production, dont le premier issu spécial de l'ACV est imprimé en 1993 sous le numéro 3- 4 Volume1.
- International journal of life cycle assessment dédié pour les recherches sur LCA en 1996.
- Environmental science and technology and resources, conservation and recycling dédié pour les sciences environnementales.

Au cours de vingt dernières années, l'ISO a publié plus de 350 normes traitant au système de management environnementale cette série permet au entreprise de bien ou de service de gérer l'impact de leur activité sur l'environnement et de mesurer leurs performances environnementales.

Les normes ISO14000 sont développées dans six secteurs, dans celui de l'analyse du cycle de vie (tab10.11) ; une première norme ISO14040 établis les lignes directrices pour la pratiques des ACV, les normes complémentaires (ISO14041, ISO14042, ISO14043) détaillent les étapes d'inventaires, d'évaluation de l'impact de l'interprétation .les normes ISO14047 et ISO14049 fournissent des exemples d'application tandis que la norme ISO14048 documente le format de transfert de données.

Sur le plan scientifique la SETAC offre dès le début des années 1990 une plateforme d'échange scientifique dans le domaine de l'ACV .elle préside aux principaux développements méthodologiques par le biais de différents groupes de travail.

Le volume des recherches sur l'ACV a augmenté rapidement depuis les années 1990, dont parmi les problèmes classiques des méthodologies utilisées en ACV est le problème d'allocation et d'agrégation, qui apparait quand une activité technologique possède différentes fonctions pour différents produits [96].

Tableau N° 10 : Survol historique des analyses du cycle de vie [97].

1972	Fondation du club de Rome pour la première fois ont trouvé que les ressources sont limitées et le développement s'étudie sur la base de simulations (principe de base : « penser globalement, agir localement »).
1973	Crise de l'énergie : l'approche bilan énergétique.
1975	Bilans et systèmes énergétiques.
1977	Première approche éco facteurs.
1984	Bilan écologique de matériaux d'emballage Volumes critiques .approche du berceau à la tombe pour émissions polluantes.
1990	Méthodologie des écobilans, éco facteurs
1991	Bilan écologique de matériaux d'emballage. Volume critique .on se rend alors compte que les matériaux d'emballage ne jouent pas un rôle principal sur les résultats finaux de l'analyse du cycle de vie d'un produit
1992	20 ans du club de Rome : la première limite rencontrée n'est pas le manque de ressources, mais l'environnement.
1992	Guide CML .université de Leiden (Hollande)
1993	SETAC « code de pratique » [SETAC ,1993] le SETAC (société de toxicologie et de chimie de l'environnement représente l'une des plus interprétantes organisations internationales scientifiques traitant des questions structurelles des analyses du cycle de vie.
1994	Inventaire des systèmes énergétiques (ESU-Ecole polytechnique fédérale de Zurich : énergie, matière, environnement)
1995	Groupe de travail de la SETAC.
1997-2000	ISO14040 /ISO14041/ISO14042/ISO14043 [ISO, 1997-2000], l'ISO publie une série de norme ISO 14000 sur l'ACV « standard » .elle répond à la forte exigence d'harmonisation au niveau international entre les divers méthodologies utilisées en ACV.
1999	Méthode d'analyse environnemental Eco indicateur 99, préconsultants (Hollande)
2002	Lancement de l'initiative pour le cycle de vie en collaboration entre la SETAC et le PNEU (programme des nations unies pour l'environnement).
2003	Nouvelles bases de données d'inventaire ecoinvent dans le domaine des écoles polytechniques fédérales suisses et nouvelles méthodes d'analyse de l'impact IMPACT 2002+

III. Définition de la démarche ACV

L'ACV est un outil de quantification des impacts d'un produit ou d'un procédé depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en fin de vie en tenant compte des phases de distribution et d'utilisation. Ces différentes étapes sont plus communément désignées par l'expression « du berceau à la tombe ». Au cours de chacune de ces étapes, produits et procédés interagissent avec l'environnement.

L'Organisation Internationale de l'Environnement et dans La norme ISO14040 définit la méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV) de la manière suivante :
« *Compilation et évaluation des entrants et des sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie* » [ISO14040, 1997].

Selon les normes ISO (Organisation Internationale de l'Environnement) et SETAC (la Société de Toxicologie et Chimie Environnementale), l'analyse du cycle de vie s'effectue en quatre phases :

- Définition des objectifs.
- Inventaire des émissions et des extractions.
- Analyse de l'impact et interprétation.

Tableau N° 11 : Normes ISO14000 dans le domaine de l'environnement et de l'analyse cycle de vie [97].

Principales normes ISO relative au management environnemental	
ISO14001	Système de management environnementale – spécification et lignes directrices pour son utilisation (1996).
ISO14004	Système de management environnementale – lignes directrices générales concernant les principes, les systèmes et les techniques de mise en œuvre(1996).
ISO14021	Marquages et déclarations environnementaux – auto déclarations environnementales(1996).
ISO14040	Management environnementale – analyse cycle de vie –principes et cadre (1997).
ISO14050	Management environnementale – vocabulaire(2002).
Normes ISO relatives à l'analyse du cycle de vie	
ISO14041	Management environnementale –Analyse du cycle de vie –Analyse de l'inventaire(1998).
ISO14042	Management environnementale - Analyse du cycle de vie-Evaluation de l'impact du cycle de vie (2000).
ISO14043	Management environnementale - Analyse du cycle de vie-Interprétation du cycle de vie (2000).
ISO14048	Management environnementale - Analyse du cycle de vie-Format de documentation de données (2002).
ISO14049	Management environnementale - Analyse du cycle de vie-exemples d'application d'ISO14041(2000).

La figure N°1 résume toutes ces étapes, ces phases se définissent comme suit :

- **Terminologie**

La description de la méthodologie de l'ACV fait appel à des termes spécifiques [98].

- ✓ **Système de produit** : Ensemble de processus élémentaires liés par des flux de matière et d'énergie qui remplissent une ou plusieurs fonctions.
- ✓ **Scénario** : Variantes étudiées et comparées les unes aux autres lors d'une ACV.
- ✓ **Unité Fonctionnelle (UF)** : Grandeur quantifiant la fonction du système sur la base de laquelle les scénarios sont comparés.
- ✓ **Processus élémentaire** : Ensemble des phases qui sont impliquées dans la réalisation de la fonction considérée. Un processus élémentaire est caractérisé par ses flux élémentaires entrants et sortants.
- ✓ **Flux élémentaires** : Ressources entrant dans la constitution du système (entrants ou *inputs*) et substances émises dans l'air, le sol ou l'eau (sortants ou *outputs*). Les flux élémentaires relient les processus élémentaires à l'environnement.

III.1 Définition des objectifs et champ d'application et frontières du système étudié

Elle permet de poser le problème, de définir les objectifs et le champ de l'étude.

Cette phase détermine une série d'éléments cruciaux : la fonction du système, l'unité fonctionnelle, à laquelle les émissions et les extractions seront ensuite rapportées. Elle définit également les limites du système considéré. Les scénarios de base et les alternatives à étudier sont définis en détail lors de cette phase.

Les objectifs de l'étude doivent être cernés en terme :

- D'application envisagée.
- De justification de l'étude.
- De destinataire de l'étude (à qui va-t-on communiquer les résultats).

Selon la norme ISO14040, les principaux éléments à définir dans le champ d'étude sont :

- Les systèmes.
- Les fonctions de ses systèmes.
- L'unité fonctionnelle.
- Les frontières de chaque système étudié.
- Les hypothèses et les données.
- Les exigences sur les données.
- Les limitations.
- Les catégories d'impact prises en compte.
- Les méthodes d'évaluations d'impacts.
- Le type de revue critique.

Elles déterminent les éléments qui doivent être inclus dans le système étudié. « Dans l'idéal, il convient de modéliser le système du produit de telle sorte que les entrants et les sortants à ses frontières soient des flux élémentaires » [ISO14041, 1998].

Afin de garantir la transparence de l'étude, la définition des frontières et l'omission de certaines étapes ou de certains flux doivent être clairement explicitées.

III.2 Inventaire des émissions et de l'extraction

Elle quantifie les émissions polluantes dans l'air, l'eau et le sol ainsi que l'extraction de matière première renouvelables ou non renouvelables. Elle détermine également l'utilisation des sols nécessaire pour la réalisation de la fonction du système.

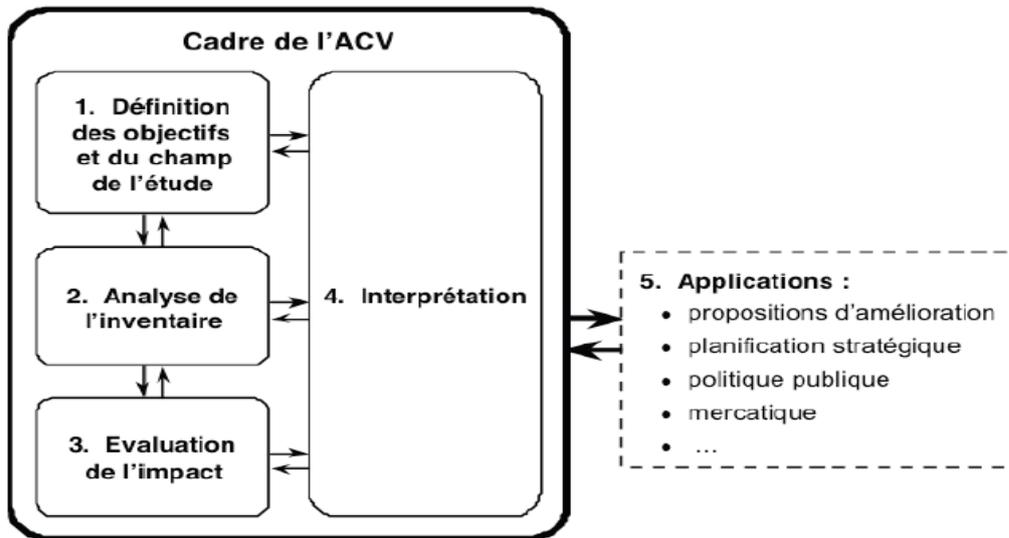
Les études ACV nécessitent une grande quantité de données. Par conséquent, la fiabilité des résultats dépendra fortement de la qualité des données, leurs origines et leurs qualités doivent donc être précisées, en terme de qualité, par exemple les données mesurées, calculés ou estimées, et demande de vérifier la validité géographique, temporelle ou technologique de ces données. La collecte des données permettra d'établir un inventaire de données, dont les flux entrants et sortants sont rapportés à l'unité fonctionnelle.

III.3 Evaluation et analyse des impacts environnementaux

Elle évalue les impacts sur l'environnement des émissions et extraction inventoriées dans la phase précédente. Elle se décompose en trois étapes :

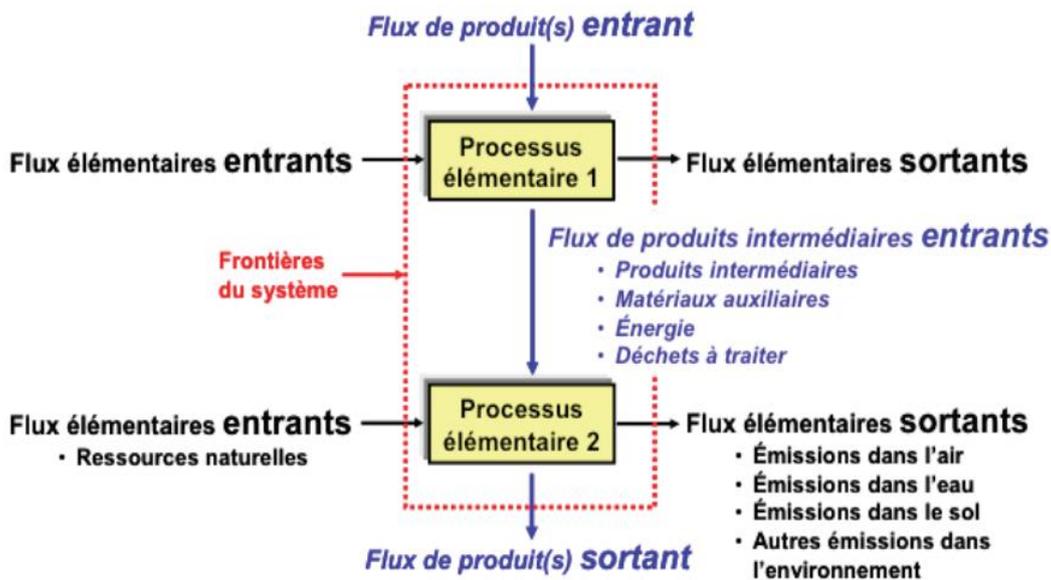
- **Classification** : Elle détermine quelles émissions contribuent à quels impacts environnementaux (effet de serre, toxicité humaine, écotoxicité, diminution des ressources etc.)
- **Caractérisation intermédiaire** : Elle pondère les émissions à l'intérieur de chacune de catégorie d'impact.
- **Caractérisation des dommages** : Elle regroupe les catégories d'impact dans des catégories de dommages (dommage sur la santé humaine, les écosystèmes, les équilibres climatiques...).

Figure N°16 : Etapes d'analyse du cycle de vie [99].



Etape 1	Définition des objectifs et du champ d'étude
Etape 2	Analyse de l'inventaire
Etape 3	Evaluation de l'impact
Etape 4	Interprétation des résultats

Figure N°17 : Frontières et processus élémentaires d'un système de produit [99].



Une étape supplémentaire de normalisation peut être effectuée pour mettre en évidence la contribution de produit étudié à l'effet mondial global dans une catégorie d'impact environnementale donnée. L'analyse de l'impact environnementale peut finalement être complétée par la pondération sociale de l'impact ou des dommages qui évaluent l'importance relative des classes intermédiaires d'effet ou des différents dommages.

L'interprétation permet aussi bien d'interpréter les résultats obtenues dans chacune des phases précédente que l'évaluer les incertitudes.

Des études de propagation des incertitudes et des études de sensibilité sont effectuées pour dégager les paramètres les plus influents. L'incidence des limites de l'ACV et des hypothèses effectués sont analysés d'une manière critique. Cette dernière phase d'interprétation peut être complétée par la mise en relation des aspects environnementaux et des aspects économiques et sociaux [98].

Les données collectées sont traitées selon la méthodologie propre de l'ACV qui se déroule en 5 étapes, dont les 2 dernières étant facultatives :

- **Classification :**

Les flux sont regroupés en impacts (effet de serre, toxicité...) suivant leur effet sur l'environnement.

Dans un premier temps, on définit une liste de « catégories intermédiaires » associées aux types de problèmes environnementaux retenus. On classe ensuite les émissions et extractions des substances au sein de ces catégories d'impact (une émission pouvant contribuer à plusieurs catégories). La figure N°18 résume les catégories intermédiaires associées à des catégories de dommages.

- **Caractérisation intermédiaire :**

Cette étape permet de pondérer les émissions et extractions au sein de chaque catégorie intermédiaire auxquelles elles contribuent. On utilise pour cela des facteurs de caractérisation intermédiaires : ils expriment l'importance relative de l'émission (ou de l'extraction) de chaque substance dans le contexte propre à une catégorie d'impact environnemental.

Ainsi, en multipliant la masse émise ou extraite par ces facteurs et en la sommant dans chaque catégorie intermédiaire, on obtient un *score d'impact intermédiaire* [97] :

$$SI_i = \sum_s m_s \cdot FI_{s,i} \dots\dots\dots \text{Équation (1).}$$

Avec :

- **SI_i** : score d'impact intermédiaire de la catégorie i exprimé en kg équivalents d'une substance de référence (le plus souvent ramené à une émission équivalente de CO₂).

- **FI_{s,i}** : facteur de caractérisation intermédiaire de la substance s dans la catégorie intermédiaire i.

- **m_s** : masse de la substance s émise (ou extraite).

- **Caractérisation des dommages :**

Cette étape revient à évaluer la contribution des catégories intermédiaires sur les impacts finaux tels que la santé humaine ou encore l'environnement naturel. Pour cela, on quantifie les dommages engendrés (*score de caractérisation de dommages*) de la même façon que précédemment [97]. :

$$SD_d = \sum_i m_s \cdot FD_{s,d} \dots\dots\dots \text{Équation (2)}$$

Avec :

- **SD_d** : score de caractérisation de dommages pour la catégorie d exprimé en kg équivalents d'une substance de référence (le plus souvent ramené à une émission équivalente de CO₂).

- **FD_{s,d}** : facteur de caractérisation de dommages reliant la catégorie intermédiaire i à la catégorie de dommages d.

- **m_s** : masse de la substance s émise (ou extraite)

Ainsi, le score des dommages sur la santé humaine peut s'exprimer comme la somme des dommages générés par les polluants impactant la santé par quelque manière que ce soit : effets respiratoires, substances cancérigènes...etc.

• **La normalisation :**

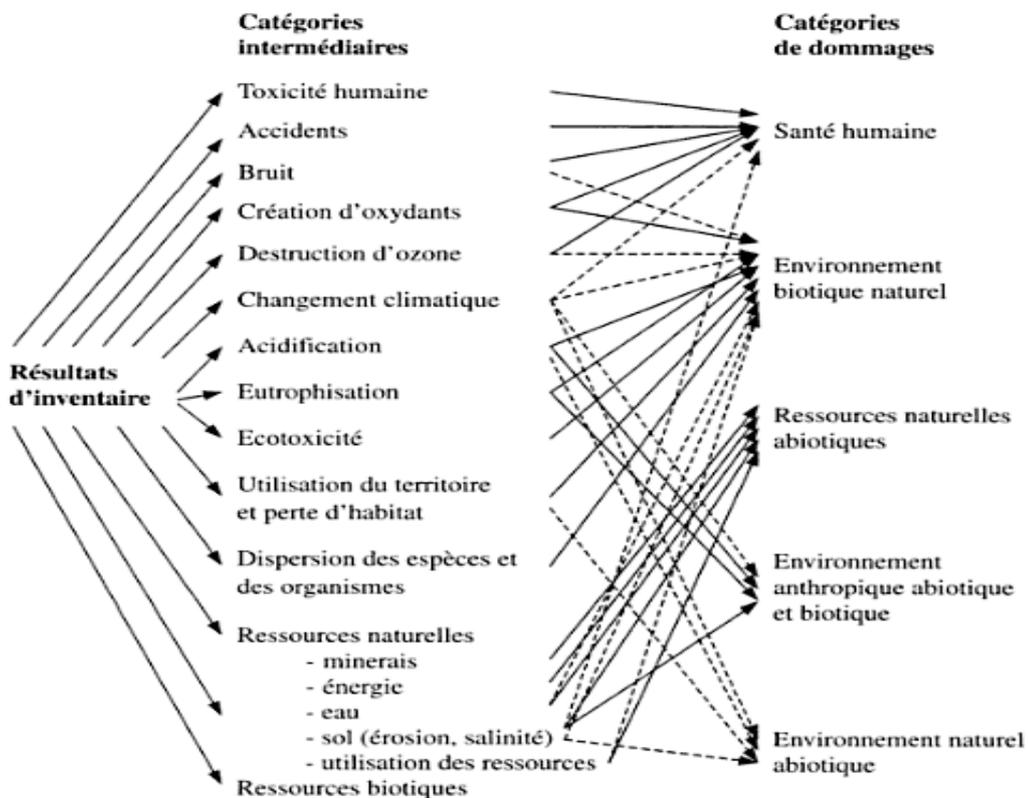
La normalisation est la part relative de l'impact d'un système étudié par rapport à l'impact total d'une zone géographique. On calcule le ratio de l'impact du système étudié par rapport à l'impact total d'une zone géographique (payé, continent, monde) selon la formule suivante [98]

$$N = \frac{I_{\text{système}}}{I_{\text{normalisation}}} \dots\dots\dots \text{Equation (3)}$$

Avec :

- N : facteur de normalisation (sans unité).
- $I_{\text{système}}$: impact du système étudié (calculé dans l'étape de caractérisation).
- $I_{\text{normalisations}}$: impact total de la zone géographique choisie (constante calculée par la méthode d'ACV sélectionnée).

Figure N°18 : Liste non exhaustive de catégories intermédiaires et catégories de dommages [97].



• **La pondération :**

La pondération est une étape complémentaire de la normalisation, cette dernière donne en effet une information limitée : un impact peut avoir une proportion négligeable vis-à-vis de l'impact total d'un territoire mais être très nuisible à l'environnement.

Un autre critère de jugement peut s'avérer nécessaire. La pondération attribue un coefficient, le coefficient de pondération, à chacun des impacts pour donner une valeur de l'impact en points : $I_p = C_p \times I$

Avec :

I_p : impact pondéré (en point).

I : impact calculé dans l'étape de caractérisation.

C_p : coefficient de pondération (fourni par une méthode d'ACV ou fixé les responsables de l'étude).

Le coefficient de pondération peut être fixé par le comité de pilotage de l'étude ou par des experts. L'erreur humaine est la subjectivité sont alors possibles. Pour cette raison, les normes ISO interdisent les résultats de pondération dans les présentations de l'ACV. Il existe des règles de pondération mais aucune n'est universellement reconnue.

• **Le score :**

C'est l'agrégation des impacts en un seul appelé score. Pour cela on somme les valeurs des impacts pondérés :

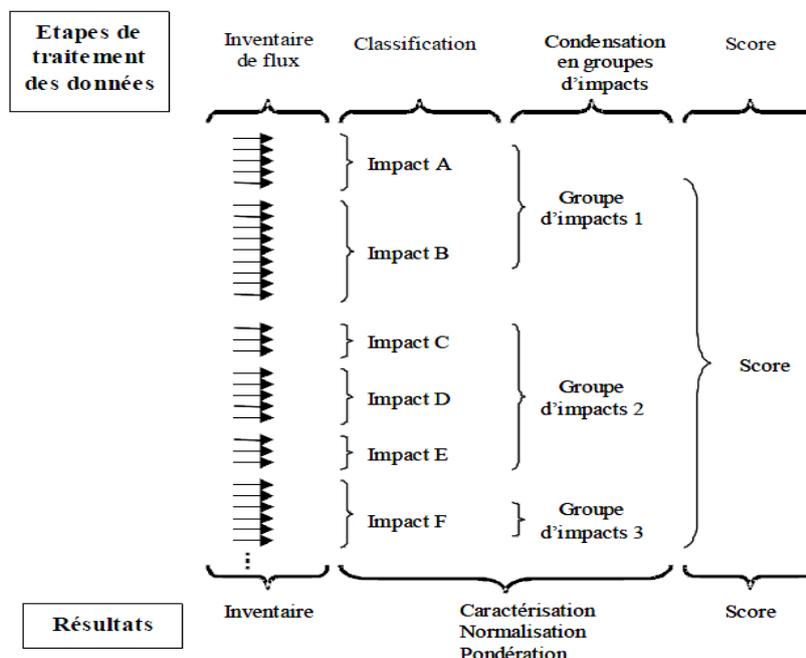
Le score est une étape pour l'aide à la décision : au lieu d'avoir plusieurs impacts à comparer entre eux, le système étudié ne possède qu'une seule note : son score. L'aide à la décision multicritère devient monocritère. L'inconvénient de la méthode à score est triple :

- Elle introduit de la subjectivité dans l'analyse.
- Elle ne permet pas de réaliser une analyse de sensibilité
- Il suffit d'un impact faussement évalué pour fausser le score

Il existe par ailleurs d'autre méthode de pondération plus fines qui réalisent la condensation des impacts tout en tenant compte des diverses positions des décideurs.

La figure N°19 : résume les étapes de traitement des données suivant la méthodologie ACV

Figure N°19 : Etapes de calcul des impacts [97]



IV. Outils d'évaluation des impacts par l'ACV

Plusieurs outils ont été utilisés pour cette évaluation, le tableau suivant regroupe la liste des logiciels utilisés dans l'ACV.

Tableau N° 12 : Les logiciels utilisés par la démarche ACV

Logiciel ACV	Caractéristiques	Langues	Écoinvent	fournisseurs
SimaPro	Design environnemental de produit Analyse environnementale détaillée Combinaison approche par processus	Français Anglais Allemande Espagnol Italien Danois Hollandais	OUI	PréConsultants Plotterweg Hollande
GaBi	Introduction par l'utilisateur de relation non linéaire Base de données dans les domaines automobile et télécommunication	Anglais Allemande	OUI	PE Europe University of Stuttgart Allemagne
TEAM	Processus supplémentaire mais de source peu claire	Anglais	Importable	Ecobilan, Paris
Umberto	Champ d'application plus vaste, ACV présente une utilisation possible	Anglais	OUI	Institut fur Umweltinformatik Allemagne

Dans notre cas, on a utilisé le logiciel SimaPro7.1

IV.1 Méthodes d'évaluation des impacts du logiciel Simapro 7.1

Les méthodes de calculs d'impacts ont été élaborées par différents experts (universités, bureaux d'études). Le développement de ces méthodes est l'objet d'un secteur spécifique de la recherche en ACV, appelé LCIA (life cycle impact Assesment). Elles sont constituées d'un ensemble d'impacts complémentaires, chacun de ces impacts traitant d'un effet particulier est l'ensemble des impacts devant illustrer la totalité des effets d'un système sur l'environnement la SETAC propose la liste suivante [99] :

- Catégories d'impacts relatives aux flux entrants :
 - Epuisement des ressources non renouvelables.
 - Epuisement des ressources renouvelables.
 - Occupation de l'espace
- Catégories d'impacts relatives aux flux sortants :
 - Effet de serre.
 - Destruction de la couche d'ozone stratosphérique.
 - Toxicité.
 - Ecotoxicité.
 - Formation de photo-oxydants.
 - Acidification.
 - Eutrophisation.

- Nuisances.
 - Radiations radioactives.
-
- CML : méthode développée par l'université de Leiden (Pays-Bas). Deux versions sont proposées : CML 1992 et 2000, les nombres correspondant de l'année de la mise en service de la méthode.
 - Eco-indicator : méthode conçue par le bureau d'études néerlandais pré consultants. Deux versions sont disponibles : Eco-indicator 95 et 99. Dans la dernière version 3 variantes existent : egalitarian, hierarchist et individualist. Les concepteurs ont calculés les coefficients en fonction de la psychologie des décideurs. Par exemple, le cas individualiste tend à diminuer voire annuler l'importance des impacts touchant la planète entière ou ceux dans l'effet est dans un avenir lointain [99].
 - Eco points : méthodes développée par le ministère de l'environnement suisse (BUWAL) la version utilisée est celle de 1997.
 - EDIP : (environmental design of industrial products) : méthode danoise conçue en 1996.
 - EPS : (environmental priority strategies in products design) : méthode développée par l'université suédoise Chalmers University of Technology en 2000.

Pour chaque impact, ces méthodes modélisent les effets polluants afin de calculer les facteurs d'impacts, coefficient attribuer à chacune des substances contribuant à l'impact. Les phénomènes de pollution étant complexes à simuler, les modèles peuvent varier, bien qu'il soit basé sur des bases scientifiques communes. Après modélisations une méthode de calculs d'impacts est donc une base de données constituant d'une liste de flux caractérisé par un coefficient.

Tableau N°13 : liste des impacts des méthodes ACV proposé dans Sima Pro 7.1

METHODES	CML 1992	CML 2000	Eco-indicator 95	Eco-indicator 99	Ecopoints 97	EDIP 96	EPS 2000
NOMBRE D'IMPACTS	9	10	11	11	30	16	13
IMPACTS	<p>Acidification</p> <p>Ecotoxicity</p> <p>Energy resources</p> <p>Eutrophication</p> <p>Greenhouse</p> <p>Human toxicity</p> <p>Ozone layer</p> <p>Solid waste</p> <p>Summer smog</p>	<p>Abiotic depletion</p> <p>Acidification</p> <p>Aquatic ecotoxicity (fresh water)</p> <p>Aquatic ecotoxicity (marine)</p> <p>Eutrophication</p> <p>Global warming</p> <p>Human toxicity</p> <p>Ozone layer depletion</p> <p>Photochemical oxidation</p> <p>Terrestrial ecotoxicity</p>	<p>Acidification</p> <p>Carcinogens</p> <p>Energy resources</p> <p>Eutrophication</p> <p>Greenhouse</p> <p>Heavy metals</p> <p>Ozone layer</p> <p>Pesticides</p> <p>Solid waste</p> <p>Summer smog</p> <p>Winter smog</p>	<p>Acidification/ Eutrophication</p> <p>Carcinogens</p> <p>Climate change</p> <p>Ecotoxicity</p> <p>Fossil fuels</p> <p>Land use</p> <p>Minerals</p> <p>Ozone layer</p> <p>Radiation</p> <p>Respiratory inorganics</p> <p>Respiratory organics</p>	<p>Cd (air)</p> <p>Cd (water)</p> <p>CO2</p> <p>COD</p> <p>Cr (water)</p> <p>Cu (water)</p> <p>Dust</p> <p>Energy</p> <p>Hg (air)</p> <p>Hg (water)</p> <p>High radiation</p> <p>Low/medium radiation</p> <p>Metals (soil)</p> <p>N</p> <p>NH3</p> <p>Ni (water)</p> <p>Nitrate (soil)</p> <p>NM/VO</p> <p>NOx</p> <p>Ozone layer</p> <p>P</p> <p>Pb (air)</p> <p>Pb (water)</p> <p>Pesticide (soil)</p> <p>SOx</p> <p>Waste</p> <p>Waste special</p> <p>Zn (air)</p> <p>Zn (water)</p>	<p>Acidification</p> <p>Bulk waste</p> <p>Ecotoxicity water acute</p> <p>Ecotoxicity soil chronic</p> <p>Ecotoxicity water chronic</p> <p>Eutrophication</p> <p>Global warming</p> <p>Hazardous waste</p> <p>Human toxicity air</p> <p>Human toxicity soil</p> <p>Human toxicity water</p> <p>Ozone depletion</p> <p>Photochemical smog</p> <p>Radioactive waste</p> <p>Resources</p> <p>Slags/ ashes</p>	<p>Crop growth capacity</p> <p>Depletion of reserves</p> <p>Fish and meat production</p> <p>Life expectancy</p> <p>Morbidity</p> <p>Nuisance</p> <p>Production capacity of drinking water</p> <p>Production capacity of irrigation water</p> <p>Severe morbidity</p> <p>Severe nuisance</p> <p>Soil acidification</p> <p>Species extinction</p> <p>Wood growth capacity</p>

V. Etude critique de certains travaux réalisés

Plusieurs travaux ont été réalisés sur l'application de la démarche ACV en différents domaines d'activité de production ou de services dont on citera les suivants :

- Deborah N. Huntzinger et al [100], ont utilisé la démarche ACV dans le but d'évaluer les impacts environnementaux de quatre processus de fabrication du ciment Portland, dont le premier est le ciment portland traditionnel, le deuxième est un ciment mélangé au pozzolanes naturelles, le troisième est un ciment dont 100% des déchets poussière du four (Ciment Kiln Dust CKD) sont recyclés dans le processus. Le dernier dont les CKD sont utilisés pour séquestrer une portion du CO₂ dégagé par le processus. Cette analyse est menée de berceau à la tombe, avec utilisation du logiciel SimaPro.6, Bien que les résultats de cette étude prouvent que les ciments mélangés fournissent la plus grande épargne environnementale. L'utilisation du CKD pour la séquestration, cependant, semble offrir des moyens de réduire l'émission du carbone et une réduction d'une vingtaine des incidences sur l'environnement du ciment approximativement de 5% au-dessus du ciment Portland Traditionnel.

Les impacts générés sont : effet de serre, Acidification, Eutrophisation, métaux lourds, effet Carcinogène, smog d'hiver, smog d'été, ressources d'énergie.

- Kicak, K., Ménard, J-F. (2009). [101] ont réalisé un projet dont l'objectif est d'évaluer et de comparer les impacts environnementaux potentiels, à l'aide de la méthodologie ACV, d'une nouvelle chaussée en béton de ciment (nommée « système BC ») de type dalles courtes goujonnées (DCG) à ceux d'une nouvelle chaussée en enrobé bitumineux (nommée « système BB »), en tenant compte des différentes configurations représentatives du réseau autoroutier québécois et en utilisant la méthode d'évaluation IMPACT 2002+ pour chacune des quatre catégories de dommage, ainsi que par catégorie d'impact. Puisque cette ACV est de type comparatif, et que les éléments communs aux deux systèmes ont été exclus de l'étude (en particulier la circulation routière, l'éclairage, le terrassement, etc.), les résultats présentent uniquement l'écart entre les deux types de chaussée.

Douze des quinze indicateurs d'impact sont favorables au système BB. Toutefois, les indicateurs de toxicité humaine « cancer », de consommation de ressources non renouvelables et d'eutrophisation aquatique (pour les cas-types 8, 12 et 16 seulement) favorisent le système BC.

Sachant que ce qui distingue les cas-types 8, 12 et 16 des autres est la reconstruction de la chaussée en enrobé bitumineux qui a lieu plus tôt, ce qui implique qu'une quantité plus importante d'enrobé et de bitume soit imputée au système BB et donc, une augmentation des émissions à l'eau (et l'eutrophisation) associées.

Bien que l'indicateur de toxicité humaine « cancer » soit favorable au système BC, l'indicateur global de dommage à la santé humaine est favorable au système BB.

L'indicateur relatif à l'eutrophisation aquatique présente une importante incertitude et donc il existe une grande probabilité d'occurrence d'une inversion du système à favoriser pour cet impact.

L'indicateur de dommage relatif à la consommation de ressources non renouvelables peut être ventilé en sous-catégories en distinguant la part de cette consommation attribuable à l'énergie inhérente du bitume des chaussées.

Cependant, comme la méthode IMPACT 2002+ considère l'énergie primaire totale, lorsque l'énergie inhérente du bitume est incluse dans l'énergie primaire totale associée au système,

le système BC est assurément avantageé. En fait, l'énergie inhérente du bitume représente, en moyenne pour les seize cas-types, 76 % de l'énergie primaire totale pour le système BB, alors qu'il ne représente que 30 % pour le système BC, ce qui permet d'expliquer la différence déterminante entre les deux types de chaussée pour cet indicateur.

- Alejandro J , Antonio A et al [102] ont réalisé une analyse de l'inventaire de cycle de vie et une comparaison des LCIA pour des ciments d'EU, dont l'unité d'analyse utilisée est la fabrication de 1kilogramme de ciment, de "berceau à la tombe", les catégories d'impact considérées sont ceux qui résultent de la fabrication du ciment et incluent des effets de serre, acidification, eutrophication et été et brouillard enfumé d'hiver... Dans ce cas, ils ont employé la méthodologie CML1992 ; dont pour

✓ **Effet de serre**

Une variation a été montrée entre les valeurs d'émission des différents ciments qui sont dus principalement à la quantité des scories dans les ciments, provoquées par la production des scories liés principalement au type de ressources utilisées (principalement les carburants), ainsi que la définition des frontières du système et au erreurs numériques qui sont responsables des interventions environnementales.

Dans des types de ciment cela incorporent des pourcentages élevés de pouzzolanes ou des additifs ajoutés au ciment (telles que des scories de haut fourneau ou des cendres volantes), par exemple, les ciments du type III, les réductions d'émission de CO₂ peuvent être significatives.

✓ **Acidification**

Les émissions principales se produisent lors de la combustion d'une grande quantité d'énergie. Les combustibles fossiles, produisent des scories et ceux employées par l'équipement mécanique et transport véhiculaire.

Cependant, les émissions se produisent également quand des argiles sont employées en tant que matières premières dans la production des scories et la fraction chimiquement combinée est émise dans l'atmosphère.

Toute émission (en équivalent g de SO₂ par kilogramme de ciment) dépend du type du ciment, elle est entre 1,1 et 3,4 pour le type I, avec une moyenne de 2,2, entre 1,2 et 3,3 pour le type II, avec une moyenne de 2,0, et entre 0,6 et 2,5, pour des types III et IV, avec une moyenne de 1,2. Ces résultats sont logiques dans la lumière de leur dépendance élevée à l'égard du contenu de scories.

La proportion élevée d'acidification totale, est typiquement causé par les émissions de NO_x (en équivalent g de NO₂) qui sont dus à l'emploi des combustibles fossiles dans le four de scories, machines et véhicules.

Les contributions de HCl et de NH₃, qui sont seulement incluses dans quelques inventaires, sont pratiquement négligeables.

✓ **Eutrophisation**

Pendant la fabrication des scories et du ciment, les émissions des oxydes d'azote (NO_x) dépendent principalement du type de carburant utilisé, pour l'obtention des scories et dans production d'énergie électrique.

L'effet de l'ammoniaque (NH₃), azote total (N-tot) et la demande chimique d'oxygène sont négligeables dans l'inventaire étudié.

Pour le type I du ciment, les résultats du caractérisation s'étend entre 125 et 480g de magnésium exprimé en équivalent g du PO₄ avec une moyenne de 300, tandis que pour le type II, il s'étend entre 90 et 400, avec une moyenne de 270, et pour le type III, il se trouve entre 50 et 140, avec moyenne de 90. Les différences observées parmi des ciments d'un type semblable sont considérés dû aux impacts environnementaux (intervention environnementale) ou à la façon avec laquelle les inventaires ont défini leurs frontières de système.

✓ **Impact local (effet de poussières)**

Les effets des différentes émissions sont exprimées en (équivalent g du SPM -suspended particle matter - par kilogramme du ciment). Un facteur de caractérisation égal à 1 a été adopté pour toutes les émissions. Il convient de noter que les ciments de laitier d'I et de haut fourneau NL2 ont des valeurs plus hautes que ceux des autres ciments (0,25 –1,50 g SPM équivalent par kilogramme du ciment). Ces résultats sont peut-être dus aux erreurs dans les inventaires, il est donc nécessaire de normaliser la méthodologie de l'inventaire, ou aux filtres inadéquats pour la rétention des poussières.

✓ **Formation photochimique de l'ozone**

Les résultats sont fortement dispersés, et une corrélation avec le type du ciment ou la définition des valeurs représentatives est impossible. Ce fait peut être attribué, au moins en partie, aux critères utilisés ou à la définition des frontières de système dans chaque cas. Cependant, il pourrait également dépendre des carburants utilisés dans la fabrication des scories, dont certaines peuvent mener à ces sortes d'émissions.

La meilleure explication pour le degré de variation des résultats sont fortement liés aux sources d'énergie du système et de l'information additionnelle sur les processus de fabrication.

✓ **Métaux lourds et carcinogènes**

Les résultats sont fortement dispersés (ordres de grandeur très différents) ce qui rend impossible de trouver une valeur représentative au ciment (indépendant du son type), puisqu'une telle valeur dépend du type de carburants utilisés, dans la production énergétique et dans le four de scories. Les résultats du ciment CH (4,01 équivalent mg de Pb par kilogramme du ciment) sont très importants. Ils sont dus aux erreurs de l'inventaire, ou à l'emploi des combustibles avec les teneurs extrêmement élevées des métaux lourds.

Quant aux carcinogènes, les mêmes commentaires généraux peuvent être fait quant aux métaux lourds en termes d'origine d'émissions. Comme ces résultats sont dispersés et changent de manière significative par des ordres de grandeur, il est impossible de définir les valeurs représentatives.

- Navia R., Rivelab B, et al [103] ont étudié l'utilisation des terres volcaniques comme une alternative des matières premières utilisées en ciment en utilisant l'outil ACV comme méthode d'évaluation, en Chili. Cette étude représente toutes les étapes de l'opération de production, incluant des analyses techniques et économiques. Deux scénarios ont été étudiés dont : le premier correspond à la production ordinaire du ciment, le second correspond à la production du ciment auquel est ajouté le sol volcanique. A l'exception de la catégorie carcinogène et minérale, les résultats de comparaison sont propices ou favorable au scénario 2 notamment la catégorie écotoxicité qui est due à la résolution des émissions du sol volcanique et son colmatage sur terre. Pour les dommages ; santé humaine, qualité des écosystèmes, et ressources sont moins important dans le scénario 2. En plus, une analyse de sensibilité a été effectuée pour l'étude de l'influence des paramètres particuliers tels que (les dépenses relatives au transport des sols volcaniques, émission du CO₂ lors de clinkerisation et les métaux lourds) sur les résultats de cette analyse. L'utilisation des matières premières alternatives (dans ce cas l'utilisation des sols volcaniques) qui présentent l'avantage d'être utilisés comme déchets pour d'autres systèmes) qui permet le développement de la production du ciment. L'utilisation des sols volcaniques peuvent être traité avec zéro dépense.
- Chen C, Habert G et al [104] ont mené une étude d'évaluation des impacts environnementaux de différentes usines de production du ciment en utilisant l'approche ACV et la méthode d'évaluation CML 01 pour la préparation des matières premières crues et clinker. Les émissions du four, des impacts catégories ont été enregistrés par la CML01

qui montre une variation entre les usines avec par exemple : de 20 à 30% pour le réchauffement global et l'oxydation photochimique, pour les autres impacts tels que l'acidification, l'eutrophisation et l'écotoxicité terrestre une variation supérieure à 40% qui est due au flux important des polluants générés annuellement.

- Marta Schuhmacher et al [105] ont étudié les risques de santé de la population vivant au voisinage des usines de production du ciment en Espagne, suite aux émissions du four. Un modèle dit ISC3-ST a été conçu dans le but d'estimer la dispersion des contaminants émis. La concentration de l'air en NO₂, SO₂, PM10, métaux et PCDD/Fs (polychlorinated dibenzo-p-dioxine et dibenzofurans). En se basant sur ces concentrations, le niveau d'exposition humain a été calculé, le cancer individuel dû aux émissions du four a été analysé, l'effet sur la santé due aux émissions du NO₂, SO₂, PM10, est aussi évalué.
- Strazza C, Del Borghi A et al [106], L'objectif de cette étude est de faire une analyse environnementale d'une mesure stratégique visant l'augmentation de la productivité des ressources dont l'industrie du ciment est considérée comme utile pour cette issue. En Italie l'industrie du ciment utilise ses déchets d'incinération comme source d'énergie (récupération).
Dans le but de mesurer la propreté de système de production, des analyses systématiques ont été effectuées. Dans ce cas une ACV a été utilisé pour une usine active utilisant les plastiques récupérés comme une source alternative du fuel.
Des recherches intéressantes ont été menées dans le but d'avoir un bénéfice ou une performance environnementale en matière de récupération et préservation des énergies, dans ce cas il s'agit d'une Co-incinération dans le processus de production du ciment, qui s'avère très rentable selon cette étude.
- César Valderrama et al [107], ont réalisé une étude sur une usine de production du ciment sise en Catalonia (Spain), qui a ajouté une ligne de production L6 qui a remplacé les anciennes lignes L3, L4, et L5 qui opérait pour plus de 30 ans. La nouvelle ligne est conçue selon les meilleures techniques de construction disponible (best available technique BAT) pour l'industrie du ciment.
Les améliorations significatives apportées à cette nouvelle chaîne, est en rapport direct avec la capacité énergétique du four qui consomme moins d'énergie fossile et génère moins d'émission atmosphérique par kg du clincker produit.
L'ACV est utilisée dans le but de quantifier et d'évaluer les impacts environnementaux de la nouvelle ligne L6 et les comparer avec ceux des anciennes lignes.
Dans le but de réduire les incertitudes, l'ACV est menée du berceau à la tombe, en utilisant le SimaPro.7.2. La ligne L6 stipule une réduction significative des impacts environnementaux notamment pour réchauffement global (5%), Acidification (15%), eutrophisation (17%) , demande d'énergie (13%).
L'analyse des dommages confirme que la L6 apporte une réduction significative des impacts notamment sur la santé humaine (11%), qualité des écosystèmes (11%) et consommation des ressources (14%) comparativement avec les anciennes lignes.
- Cheung J, Jeknavorian A et al [108], ont réalisé une étude portée sur l'impact de l'hydratation du ciment sur les interactions de différentes classes chimiques qui le compose. Cette dernière inclue ; l'accélération et le retards et la réduction de la dispersion dans l'eau. La capacité des composantes chimiques de modifier la balance : aluminat – sulfate du ciment a été discuté aussi avec l'impact de l'hydratation du silicate qui relève des

interactions complexes inhabituelle dans les systèmes, avec libération de quantité importantes des cendres volatiles.

- Sulapha P, Jan O, Janet L, [109], ont étudié l'influence des caractéristiques des CKD (cement kiln dust), déchets de four, sur le sol.
Les interactions des CKD avec le sol dépendent des caractéristiques physico chimiques du sol, leurs hydratation doit conduire à la pertinence de la stabilité des sols.
Dans le présent article, quatre poudres différentes de CKD ont été caractérisées et leurs produits d'hydratation ont été évalués, par la diffraction des rayons X et étude thermodynamique et morphologiques sont aussi prises en considération.
En général, la chaux libre contient de 14 à 29% des CKD, en réagissant avec de l'eau il y a formation d'hydroxyde de calcium.
Les résultats de cette étude suggèrent que la force de compression et la température d'hydratation des pâtes de CKD peuvent donner des indications sur la convenance des CKD pour la stabilité des sols.
- Kare Helge Karstensen, [110] ont étudié influence de recyclage des déchets banals sur l'augmentation des émissions PCDD/PCDF du four. Des données ont été comparées avec la littérature, montre que plusieurs facteurs d'émission à considérer. Des facteurs d'émission pour le co processus des déchets banals ont été utilisés depuis longtemps, ont montré que l'industrie du ciment est en elle-même la première source d'émission des PCDD ET PCDF dans l'air, toutefois les données collectées dans cette étude montre que l'industrie du ciment contribue à moins de 1% des émissions totales dans l'air.
Plus de 2000 mesures de PCDD et PCDF, des fours du ciment ont été évalué dans cette étude, en tenant compte des scénarios d'alimentation en déchets, généralement elle indique que la plus part des fours modernes, recyclant les déchets dans le processus de fabrication peuvent émettre environ 0.1ng I-TEQ/m³. Des préchauffages et précalinateurs modernes semble avoir moins d'émission par rapport aux anciens processus humide, donc le premier facteur de formation des PCDD ET PCDF est la présence des matières organiques dans les matières premières utilisées ainsi que les températures de l'air pollué qui doivent être contrôlées.
L'alimentation en matières contenant des quantités importantes de composés organique doit être évité et les gaz d'échappement doivent être refroidis immédiatement tous au long de four rotatifs humide ou sec sans utiliser un préchauffage.
Les PCDD/PCDF peuvent être détectés dans l'ensemble des échantillons analysés ; farine crue et slurry, sable, craies et différentes cendres, déchets du four, clincker et ciment.
- Vedat Ari [111], Ont réalisé d'étude de vérification de récupération d'énergie d'un four du ciment pour voie sèche produit en Turquie. Le four produit près de 600 T de clincker par jour, dont 40% de la totalité d'énergie consommée est perdu, dont 19.15% dans le flux gazeux, 5.61% dans le système de refroidissement et 15.11% pour le concassage. Il été constaté que 15.6% d'énergie utilisée (4MW) peut être récupérée.
- ADEME CODDE [112] a réalisé une étude ACV des téléphones portables, dont l'objectif était dans un premier temps d'évaluer les impacts environnementaux d'un téléphone portable tout au long de son cycle de vie. L'analyse prévoyait de prendre en compte un scénario représentatif de référentes habitudes des consommateurs afin d'illustrer l'impact environnemental lié à leur manière de téléphoner.

Dans un deuxième temps, l'étude devait comparer les différentes options de conception et d'utilisation afin d'identifier les solutions alternatives plus respectueuses de l'environnement.

Cette étude a permis de démontrer que la phase la plus importante pour l'environnement était la phase de fabrication, suivie de la phase d'utilisation, celle liée aux transports étant quasiment négligeable. Le consommateur peut donc jouer un rôle dans la réduction des impacts de son téléphone en suivant les recommandations suivantes.

- ✓ Eviter d'acheter un portable avec un grand écran
 - ✓ Eviter les téléphones à clapet et / ou avec les fonctionnalités GPS, FM et vidéo
 - ✓ Eviter de laisser le chargeur branché lorsque la charge est terminée
 - ✓ Faire le choix de l'acquisition d'un chargeur dynamo à la place du chargeur standard, si ce choix est proposé à l'achat.
 - ✓ Essayer de prolonger la durée de vie du téléphone.
 - ✓ Privilégier le dépôt du téléphone hors d'usage dans une déchetterie (recyclage) plutôt que de le laisser dans un tiroir ou de le jeter avec les ordures ménagères.
- Letchumi Thannimalay et Sumiani Yusoff [113], ont conduit une étude Comparative d'évaluation et d'Analyse des impacts Environnementaux du LAS et MES dans les détergent produits en Malaisie.
L'étude conduite a permis d'analyser, de comparer les impacts environnementaux d'une production des surfactants utilisés en détergent alkylbenzenesulfonates (LAS) and methyl ethyl sulfonates (MES). La différence des impacts générés par le LAS produit en Malaisie et les données obtenues par la base de données Ecoinvent sont aussi analysées. Les entrants et sortants du processus de production sont calculés et compilés par les procédures d'ACV ainsi que les impacts sont déterminés.
L'unité fonctionnelle est rapportée à une production d'un kg du surfactant.
Les impacts environnementaux significatifs obtenus sont : épuisement des fossiles fuels, modification des terres utilisées, respiration inorganique.
D'après cette étude il a été conclu, que les MES est un meilleur surfactant du point de vue impact sur l'environnement comparativement avec le LAS.
 - Stalmans et al (1995) [114], ont étudié LCI de production des surfactant en Europe, à partir du pétrole tel que: Linear Alkyl Sulphonate (LAS),Alcohol éthoxylé(AE),Alcool Ethoxylate Sulphates (AES), Alcohol, Sulphate(AS), Secondary Alkane Sulphonate (SAS), et autres à partir des oleo-chimique telque:Alcohol éthoxylate(AE),Alcool EthoxylateSulphates (AES),Alcohol sulphate (AS), Alkyl Poly Glucoside (APG) et savon. Les données d'inventaire pour les surfactants oleo- chimiques sont issues des données du processus Malysien pour l'huile de palme et branche d'amande at aussi du processus philippine pour l'huile de noix de coco.
L'étude a montré que la production pétrochimique des surfactants a des frontières de système différentes de la production oéochimique. Les frontières comporte différentes opération tel que ; forage, pompage, séparation de l'huile brute de l'eau salée, stockage dans des réservoirs et transport.
Il a été constaté aussi que la production pétrochimique des surfactants consomme plus d'énergie que la production oleochimique dont la production de l'AE consomme plus d'énergie que les autre surfactants. Tandis que la production oleochimique du savon à partir de palme ou de noix de coco, demande moins d'énergie. La même étude rapporte aussi que la production petrochimique du AS émis une quantité importante de SO₂. Les savons issus des suifs émettent une quantité importante de méthane et de dioxyde de carbone parce que la production de suif est complexe et généralement associé à un nombre important de co-produit et déchets.

- Pittinger (1991) [115] a réalisé une comparaison par l'approche ACV du AES produit par voie pétrochimique et oleochimique, en se basant sur l'acquisition et caractérisation des matières premières, énergie et les émissions environnementales tel que : les émissions atmosphériques, émissions dans l'eau et génération des déchets. L'étude a identifié cinq constituants majeur de l'émission atmosphérique voir : poussières, hydrocarbure, NO_x, SO₂, et CO₂ dont uniquement les NO_x et CO₂ participe au réchauffement global par leurs effet de serre. En plus pour les émissions dans l'eau tel que : les solides dissouts, la DBO, DCO, les acides, phosphore et nitrogène peuvent provoquer l'impact d'eutrophisation et d'acidification.
- Une autre étude menée par Pittinger (1993) [116] portée sur l'application de l'ACV sur la production pétrochimique des surfactants notamment les : LAS, AE, AES et MES à partir de huile de palme et coque d'amande et d'un suif non comestible. Cette étude relève l'émission de grande quantité de NO_x, hydrocarbure et CO lors de broyage et combustion.
- Une étude menée par Stalmans et Sabaliunas (2004) [117] a démontré que l'analyse des impacts environnementaux pour la production des détergents et surfactant a une grande importance. L'étude menée est portée sur les impacts evironnementaux associés à l'utilisation des surfactants modernes tel que : LAS, AS, AES, APG dialkyl quats, esterquat, amine oxyde et alkyl betaine, s'avère acceptable.
- Gert et al (2003) [118] Ont réalisé une étude comparative de production de détergent linge en United Kingdom, deux formes ont été produites voir forme liquide et poudre compact, qui sont les préférés du point de vue environnement du faite que peu de produits chimiques sont utilisés lors de formulation.
D'où peu d'impact d'acidification, toxicité aquatique, changement climatique, toxicité humaine et déplétion d'ozone par rapport à la poudre normal formulée, par exemple la poudre ordinaire génère environ 1053 eq g de CO₂ pour le changement climatique par rapport 978 eq g de CO₂ en forme compact, et 933 eq g de CO₂ pour liquide compact et 994 eq g CO₂ pour la même catégorie pour le cas de forme liquide.
L'impact acidification, la forme liquide compacte génère 0.14 eq g de SO₂ par rapport à 0.15 de liquide tablet (comprimé), l'impact eutrophisation il y a 1.08 eq g PO⁻³ pour liquide tablet et 0.92 eq g PO₄⁻³ compact.

Chapitre IV

Evaluation environnementale des industries algériennes

*1 .Evaluation environnementale de
l'industrie cimentière*

I. Introduction

Les premières travaux sur les véritables ciments remontent à 1796 et sont dus à l'anglais PARKE il prit un brevet pour la fabrication d'un ciment Romain qui était un véritable ciment prompt.

Le terme générique « ciment » désigne en fait différentes catégories de produits, répertoriés dans la norme NF P 15-301, en fonction de leur composition et de leur classe de résistance. Un ciment contient toujours du clinker, il peut être additionné de divers minéraux naturels ou artificiels, dont le rôle principal est soit de participer aux réactions d'hydratation (laitiers et produits pouzzolaniques) soit d'améliorer la compacité de la pâte.

Le Ciment Portland Artificiel (CPA) est le plus courant. Il est constitué de 95 à 100 % de clinker. Dans les ciments composés, le dosage en clinker est de l'ordre de 65 à 94 % pour les classes CPJ (Ciment Portland Composé) et descend jusqu'à 5 % dans les CLK (Ciment au laitier de haut-fourneau).

L'industrie algérienne des ciments est amenée à faire des progrès pour vaincre les défis qu'elle rencontre et suivre les développements scientifique, technologique et environnemental du siècle. Elle est sensée, afin de faire face à l'exigence du consommateur actuel et de s'opposer à la concurrence internationale, améliorer la qualité du produit tout en respectant l'environnement, elle doit également parvenir à baisser son prix de revient. Ceci ne peut se réaliser que par l'application d'une politique de gestion très stricte qui permet la maîtrise de la production et le respect de l'environnement. Par conséquent, il est très important d'examiner la charge environnementale et les impacts négatifs générés par chaque étape du processus de fabrication.

Dans cette partie nous allons essayer de déterminer les impacts environnementaux potentiels, par les méthodes d'évaluation classique (audit environnementale avec établissement de matrice d'impacts) et la méthode d'aide à la décision la dite ACV (Analyse de Cycle de Vie) et faire une étude comparative entre deux voies de production du ciment.

II. Evaluation des impacts environnementaux par les méthodes classiques

Pendant la phase opérationnelle de la cimenterie, un certain nombre d'activités seront mises en œuvre, à savoir : extraction des matières premières (argile, calcaire), transport des matières premières (calcaire, argile, minerais de fer...) au site de l'usine, clinkérisation de la poudre crue, refroidissement et récupération de la chaleur, mélange et broyage du clinker avec ajout d'additifs, et enfin la mise en sac et expédition.

Le processus de production du ciment, se classe parmi les procédés les plus compliqués, en ce qui concerne la complexité du processus de fabrication quel que soit la voie de production utilisée, l'immense consommation énergétique (eau, électricité, gaz) ainsi que les matières premières issues des exploitations des carrières ; calcaire, argile, sable... En plus de ça ces procédés sont suivis des émissions atmosphériques aussi importantes de différentes natures ; gazeuses, particulaires, rejets liquides et déchets solides....

Dans le but de faire une évaluation environnementale de cette activité industrielle lourde, il est donc primordial de faire des contrôles de conformité de ces pratiques avec la réglementation, les normes et les politiques environnementales de l'entreprise dans le cadre de gestion environnementale.

Pour ces raisons et pour d'autres, et dans le but de répondre aux interrogations des industriels dans le contexte de réduction des effets néfastes sur l'environnement, des outils d'évaluation d'impacts environnementaux ont été choisis à savoir : liste des contrôles, les matrices

d'impacts, les réseaux, les systèmes, les superpositions cartographiques, les modèles, les systèmes d'information géographique, les méthodes d'aide à la décision et les systèmes experts.

II.1 Méthodes et outils

II.1.1 Listes de contrôle

Comme elles sont définies en chapitre I, les listes de contrôles, conviennent à des phases particulières du processus, dans le cas des cimenteries, elles s'appliquent à la phase d'exploitation du fait que le procédé est opérationnel [81].

a)- Liste simple : Dans ce cas nous traitons les énumérations cités dans le tableau N° 14 [85], qui consiste à l'énumération des composantes de l'environnement, d'impacts potentiels ou de caractéristiques d'activités ; elles servent à attirer l'attention du professionnel sur les options essentielles [81].

Les mêmes énumérations des composantes de l'environnement et d'impact potentiel pour les deux cimenteries ; voie sèche et humide.

b)- Liste descriptive : Elle sert d'aide à l'évaluation en guidant le professionnel en lui donnant les modes de mesures et les techniques de prédiction privilégiés [81].

Dans notre cas, les deux cimenteries, selon Bell Canada, et Hydro- Québec [119] Les listes descriptives sont illustrées dans le tableau 15.

Selon la liste simple liée au procédé de fabrication des deux cimenteries, des composantes de l'environnement ont été définies avec les impacts potentiels pouvant être engendrés, tels que les nuisances sonores, émissions atmosphériques influençant la qualité de l'eau, de l'air et du sol, ainsi que la faune et à la flore, qui donne un état d'environnement trop dégradé.

La liste descriptive de la phase d'exploitation des deux cimenteries, nous permet de déterminer les impacts généraux, leurs types et causes ainsi que les moyens d'atténuation.

Dans le cas des cimenteries, plusieurs impacts ont été déterminés de types visuel, local, régional et fonctionnel, à savoir ; occupation des surfaces, contamination des sols, des eaux et de végétation, ainsi que la contamination humaine notamment coté santé. Parmi les moyens d'atténuation proposés on cite ; renforcement des moyens de récupération des poussières afin de minimiser l'effet néfaste sur la végétation, l'effet asthmatique chez l'humain par l'inhalation, réduction de l'effet des nuisances sonore en minimisant les heures d'exposition et utilisant les stops bruit pour chaque individu, éviter les déversements accidentels des lubrifiants et des huiles.

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N°14 : Liste simple des sources d'impact liées au procédé de fabrication

Cimenteries de SOUR EL GHOZLANE et RAIS HAMIDOU			
Enumération	Moyens	Fonctionnement	Impacts potentiels
Présence d'équipement	<ul style="list-style-type: none"> -Bulldozer et pelle hydraulique -Concasseur -Broyeur -Four rotatif -Broyeur clincker -Extracteur de ciment et ensacheur 	<ul style="list-style-type: none"> -Exploitation des gisements -Concassage de matières premières -Broyage de cru - Cuisson de farine crue -Broyage du clincker - Extraction du ciment et mise en sac 	<ul style="list-style-type: none"> -Nuisance sonore suite au tir à l'explosif - Emission de poussières et de gaz - Nuisance sonore et émission de poussières et gaz -Emission des gaz - Consommation importante d'énergie et eau - Contamination de la faune et la flore - Pollution atmosphérique importante - Emission des poussières - Génération des déchets de sachets en kraft
Gestion des hydrocarbures	- des huiles et des graisses	-Récupérées par le ministère de l'environnement et l'aménagement de territoire par le biais de la société de récupération	- Déversement accidentel des huiles et graisse et des carburants lors de remplissage ou changement ou lors de transport
Gestion des émissions	<ul style="list-style-type: none"> -les poussières sont récupérées par un électrofiltre -les gaz sont émis dans l'atmosphère 	-Aspiration de poussières de ciment ou farine crue et la remise dans le circuit de fabrication	<ul style="list-style-type: none"> - pollution atmosphérique par fuite - contamination par inhalation - contamination des terres agricoles avoisinante
Gestion des déchets	<ul style="list-style-type: none"> -88% de ciment et farine crue est récupéré dans le circuit de fabrication - le kraft est récupéré par société privée 	-Par un système d'aspiration les produits sont remis au circuit de production	<ul style="list-style-type: none"> - faible émission de poussière et de gaz - risque de complication respiratoire faible -encombrement par les déchets avant la revente
Entretiens et réparation	- Réparation tous ce qui est panne mécanique et électrique	- Remplacement des pièces ou changement des lubrifiants et vidange	<ul style="list-style-type: none"> -Risque de contamination du sol par déversement des lubrifiants et huiles -Probabilité d'arrêt de production
Transport et circulation	-Camion, camion semi-remorque, élévateur transporteur	-transport matière première et produit fini	- émission considérable de poussière, perte matière première et produit fini, consommation importante d'énergie

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N°15 : Liste descriptive de la phase opérationnelle des deux cimenteries

Impact général	Causes de l'impact	Type d'impact	Moyen d'atténuation
Occupation des surfaces	-Surcharge d'équipement, grande installation	-Visuel et local	-consommation des surfaces utiles - éviter le mauvais emplacement des équipements
Domage à la végétation	-Emission gazeuses et poussières	-Visuel et régional	-réduction des émissions de poussière et gaz avec installation des filtres électrostatiques et leur réintroduction dans le circuit de fabrication
Contamination de sol	-Déversement accidentel de lubrifiant	- Visuel et local	-faire les vidanges dans les ateliers mécaniques privés
Contamination des eaux	-Présence de poussières	-Visuel et régional	-pousser le dépoussiérage au maximum possible
Causés aux humains	-Bruit et poussières	- fonctionnel	-Travailler aux heures normales -Utiliser les abat-poussières et stop bruit

II.1.2 Matrices d'impacts

Les matrices d'impacts intègrent les composantes de l'environnement et les activités d'un projet en un tableau d'interaction de façon à déterminer les causes à effets [81].

Avant de passer à l'évaluation qualitative des impacts par la matrice d'impact, ces derniers peuvent être classés selon leurs notes et leurs critères illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau N°16 : Critères d'évaluation qualitative des impacts [81]

Note de l'impact		Critères		
Nature de l'impact	Bénéfique	Positif		
	Nuisible	Négatif		
Durée de l'impact	Court terme	Les impacts seront limités dans le temps		
	Long terme	Les impacts se poursuivront durant toute la durée de vie de l'usine		
Probabilité de se produire	Très faible	< 10%	Faible	10 - 40%
	Moyen	40 60 %	Elevé	60 - 80%
	Très élevé	80- 100 %		
Importance de l'impact	Très faible	Impacts perceptibles uniquement		
	Localisé	Ressentis par les localités avoisinantes et susceptibles de les affecter directement		
	Majeur	Impact direct durable		
	Grande échelle	Capable de modifier le système		
Niveau potentiel de l'impact	Faible	Quasi pas d'impacts		
	Moyen	Impacts confinés à la zone		
	Elevé	Impacts de portée régionale		

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Puisque les deux cimenteries sont déjà en phase d'exploitation, l'évaluation qualitative des impacts engendrés par ces deux processus selon les critères et les notes d'impact est la suivante :

Tableau N°17 : Critères d'évaluation qualitative des impacts engendrés par les deux cimenteries

Cimenterie de Sour El Ghozlane					
Description	Notation de l'impact				
	Nature	Durée	Probabilité	Gravité	Potentiel
Emission de gaz à effet de serre	Nuisible	Long terme	Elevé	Régional	Elevé
Qualité de l'air	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Niveau de bruit	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Mouvement de la circulation	Nuisible	Long terme	Elevé	localisé	élevé
Ressources en eau	Nuisible	Long terme	Moyen	Localisé	Moyen
Eaux usées	Nuisible	Long terme	Moyen	Localisé	Faible
Déchets solide	Nuisible	Long terme	Moyen	Localisé	Moyen
Espèces menacées	Nuisible	Moyen terme	Elevé	Localisé	Elevé
Ecologie	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Perte de terre agricole	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Perturbation du voisinage	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Epuisement des ressources naturelles	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Emplois et croissance économique	Bénéfique	Long terme	Elevé	Régional	Elevé
Mesures socioéconomiques	bénéfique	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Cimenterie de Rais Hamidou					
Description	Notation de l'impact				
	Nature	Durée	Probabilité	Gravité	Potentiel
Emission de gaz à effet de serre	Nuisible	Long terme	Elevé	Régional	Elevé
Qualité de l'air	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Niveau de bruit	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Mouvement de la circulation	Nuisible	Long terme	Elevé	localisé	élevé
Ressources en eau	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Eaux usées	Nuisible	Long terme	Moyen	Localisé	Faible
Déchets solide	Nuisible	Long terme	Moyen	Localisé	Moyen
Espèces menacées	Nuisible	Moyen terme	Elevé	Localisé	Elevé
Ecologie	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Perte de terre agricole	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Perturbation du voisinage	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Epuisement des ressources naturelles	Nuisible	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé
Emplois et croissance économique	Bénéfique	Long terme	Elevé	Régional	Elevé
Mesures socioéconomiques	bénéfique	Long terme	Elevé	Localisé	Elevé

Le tableau suivant répond aux questions socioéconomiques

Tableau N°18 : Questions socioéconomiques ; activité et impacts

<i>Composante</i>	<i>Activité</i>	<i>Impact potentiel</i>
Questions socioéconomiques	Acquisition des terres	Perte des terres agricoles
	Construction des infrastructures (routes, centre de santé...)	Offre d'emploi aux locaux Hausse de revenus des habitants Développement régional
	Aménagement d'une ceinture verte	Changement des niveaux de vie
	Payement d'impôts	Amélioration de l'économie monétaire

Selon les critères d'évaluation qualitative des impacts engendrés par les deux cimenteries, selon la méthode matrice d'impacts, nous constatons que la plupart des impacts sont de nature nuisible, de long terme, avec un potentiel variant entre le potentiel élevé, moyen et faible, de gravité locale ou régionale.

L'impact majeur de l'industrie cimentière est l'émission des gaz à effets de serre, qui est un impact de forte potentialité, de gravité régionale, très nuisible à effet apparent de long terme.

Cette activité aussi génère d'autres impacts potentiels, tels que l'épuisement des ressources naturelles, perte de terres agricoles, perturbation du voisinage qui sont aussi de nature nuisible, à long terme, de gravité locale avec un potentiel élevé.

Donc cette méthode nous a permis de qualifier les impacts engendrés par les deux cimenteries qualitativement selon leur nature, durée, probabilité, gravité et leur potentiel.

Pour ce qui est d'impacts socioéconomiques, ils peuvent être bénéfiques, notamment en ce qui concerne la création des emplois et l'amélioration des niveaux de vie en augmentant les revenus des individus, avec amélioration de l'économie monétaire du pays. Cet impact aussi peut être négatif notamment en acquisition des terres, ce qui provoque des pertes des terres agricoles.

II.1.2.1 Matrice symbolique

En 1971 Leopold et al [87] ont élaboré la première matrice pour l'évaluation de projet de construction. Celle-ci sert à reconnaître les composantes des milieux, et de ressentir les effets dont les interactions produisent une matrice réduite. Ces interactions sont quantifiées en fonction de la grandeur et de l'importance d'impact.

La matrice proposée par Leopold et al, a sur un axe les actions causant un impact environnemental et sur l'autre, les conditions environnementales qui peuvent être affectées.

La matrice de Leopold a été le précurseur du développement d'un ensemble des matrices adaptées à des besoins spécifiques. Ces derniers proposent plusieurs types de matrice à savoir : matrice simple, matrice numérique, et matrice symbolique.

Afin d'exploiter ces matrices notamment les interactions entre les composantes de l'environnement et les activités, nous allons exprimer les impacts environnementaux sous forme symbolique d'une matrice à symboles ; dont les symboles expriment la valeur d'impact selon qu'il s'agit d'un impact très significatif, majeur, mineur, négligeable.

La présentation des impacts engendrés par l'activité cimentière en ses différentes étapes peut se résumer en une matrice d'impacts. Pour mieux comprendre les significations de cette matrice, le tableau suivant résume les symboles utilisés.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N° 19 : Expression symbolique de la variation des impacts

	Impacts			
	Majeur	Moyen	Mineur	Négligeable
Positif	▲	▲	▲	•
Négatif	▼	▼	▼	•

Les expressions symboliques citées en haut, sont déterminées selon les notes d'impact et les critères retenus précisés ci-après (tableau N°20)

Les critères cités en tableau N°19, sont évalués par les symboles de la matrice symbolique proposé par Leopold, et ce en transformant les expressions des impacts selon leur nature, leur gravité, leur potentiel ...en des symboles d'impact moyen, mineur, majeur ou négligeable.

La matrice symbolique des deux cimenteries sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Selon la matrice symbolique de la méthode Leopold, nous constatons que la plus part des impacts sont négatifs pour l'environnement. Ça concerne notamment : les émissions des gaz à effet de serre, la qualité de l'air suite aux émissions industrielles immenses, la nuisance sonores engendrés par les diverses activités industrielles et la circulation routière, épuisement des ressources naturelles ; cas des gisements d'argile, de calcaire, utilisation des eaux et des énergies (gaz naturel, électricité...), génération de déchets de divers types, ainsi que effets néfastes et sur les espèces végétales provoquant leur disparition, et des effets sur la faune et la flore.

II.1.2.2 Matrice simple

Elle présente dans un tableau une liste d'activités et des composantes de l'environnement qui peuvent interagir. On coche simplement les cellules représentant des impacts potentiels [86] Le tableau suivant présente la matrice simple des deux cimenteries.

Notons que la matrice simple est identique pour les deux cimenteries. L'effet sur la santé humaine est considéré comme impact majeur, il est dû à l'émanation importante des poussières et des gaz, engendrant des perturbations respiratoires chez l'humain suite à une exposition pour une moyenne ou longue durée ainsi que par inhalation.

L'épuisement des ressources naturelles est aussi considéré comme majeur, il est dû à la consommation immense des matières premières extraites de la nature et d'énergie nécessaire à leur extraction et transformation.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N° 20 : Matrice symbolique d'impact des deux processus de fabrication

	Cimenterie de Sour El Ghozlane	Cimenterie de Rais Hamidou
<i>Description</i>	<i>Impact</i>	
<i>Emission de gaz à effet de serre</i>	▼	▼
<i>Qualité de l'air</i>	▼	▼
<i>Niveau de bruit</i>	▼	▼
<i>Mouvement de la circulation</i>	▼	▼
<i>Ressources en eau</i>	▼	▼
<i>Eaux usées</i>	▼	▼
<i>Déchets solide</i>	▼	▼
<i>Espèces menacées</i>	▼	▼
<i>Ecologie</i>	▼	▼
<i>Perte de terre agricole</i>	▼	▼
<i>Perturbation du voisinage</i>	▼	▼
<i>Epuisement des ressources naturelles</i>	▼	▼
<i>Emplois et croissance économique</i>	▼	▼
<i>Mesures socioéconomiques</i>	▲	▲

Tableau N°21 : Matrice simple des deux cimenteries

<i>Cimenterie de Sour El Ghozlane et Rais Hamidou</i>					
<i>Activités cimentières Principaux impacts</i>	<i>Extraction et concassage</i>	<i>Broyage cru</i>	<i>Cuisson</i>	<i>Broyage clincker</i>	<i>Expédition ciment</i>
<i>Epuisement des ressources (matières premières et énergies)</i>	•	•	•	•	•
<i>Pollution accidentelle</i>	•	•			
<i>Milieu marin</i>					
<i>Qualité des eaux et peuplement aquatique</i>	•				
<i>Pollution chimique</i>	•	•	•		•
<i>Effet sur santé humaine</i>	•	•	•	•	•

III.1.3 Méthodes d'aide à la décision

Tous au long du processus d'évaluation, il est nécessaire de prendre des décisions qui peuvent porter sur des choix :

- De localisation
- D'aménagement, de conception technique et technologique
- D'envergure du projet
- Des mesures d'atténuation ou de compensation

Cette démarche s'inscrit dans la démarche de prise de décision en évaluation environnementale, l'information peut être de nature qualitative (un commentaire ou une description) ou de nature quantitative (valeurs d'indicateurs), de nature ordinale (des rangs de performance, des échelles...), pondérée (chaque critère est pondéré par rapport aux autres).

Plusieurs méthodes d'aide à la décision sont utilisées ; présentation de l'information en tableau, comparaison par critères, méthodes ordinales, aide multicritère à la décision.

Dans notre cas, nous avons choisi la méthode d'aide multicritère à la décision.

III.1.3.1 Méthode d'aide multicritère à la décision

Cette méthode, selon Simos, J [88] comporte quatre procédures à savoir :

- A choisir la meilleure action (procédure de sélection)
- A trier les actions d'après leur valeur intrinsèque (procédure de segmentation)
- A ranger les actions selon un ordre de préférence décroissante (procédure de classement)
- A décrire les actions ou leurs conséquences de façon systématique et formalisée (procédure cognitive),

Cette méthode comporte huit étapes :

- Reconnaissance des acteurs
- Définition des actions et élaboration des scénarios
- Définition des critères et de leur pondération
- Elaboration de la matrice des évaluations
- Application de la procédure de comparaison
- Pondération des critères et agrégation des performances
- Analyse et établissement du classement final
- Analyse de robustesse et de sensibilité

II.2 L'audit de système management environnemental (SME)

La réalisation de cet audit nous permet de prendre connaissance de la situation de l'entreprise au regard de l'environnement pour :

- Mesurer et analyser l'impact que peut avoir l'activité exercée et les méthodes d'exploitation utilisées sur tel ou tel aspect du milieu.
- Apprécier la conformité des méthodes d'exploitation aux prescriptions imposées par la législation, la réglementation et les engagements contractuels.
- Dresser un bilan de l'impact de l'activité antérieurement exercée sur le site, puis soit

prescrire les mesures de remise en état du site, soit vérifier la conformité des mesures prises ou à prendre par rapport aux prescriptions légales, réglementaires et contractuelles ...» effectué selon une fiche pratique d'audit.

L'audit nous permet aussi d'analyser les effets directs et indirects, temporaires et permanents de l'installation sur l'environnement.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

L'audit utilisé est de type technique, il comprend essentiellement l'impact sur la nature et le paysage ainsi que sur l'agriculture, et les risques naturels.

Les bilans entrants et sortants des deux cimenteries sont illustrés dans le tableau d'inventaire de données (tableau N°23), utilisé aussi en étape de l'application de l'ACV. Les intrants sont constitués des ressources naturelles et des matières premières indispensables à la production. Pour une cimenterie, il s'agit généralement de

- L'eau
- L'énergie (gaz, électricité, essence, gasoil)
- Les matières premières (calcaire, argile, minerais de fer, sable, divers additifs)
- Les matières auxiliaires également considérées dans la production (graisses, huiles, boulets, briques réfractaires, etc.)

Les sortants sont constitués des émissions gazeuses, des rejets liquides, des poussières et déchets

A)- Cimenterie de Sour El Ghozlane (voie sèche)

a. Eau

La cimenterie de Sour El Ghozlane utilise un procédé de fabrication du ciment en voie sèche. L'eau provient de deux sources :

- Les eaux industrielles proviendront des puits E1, E2 et E3 à l'extérieur de l'usine
Lieu de captage : Guett Zerga situé à 1km environ de l'usine
- La deuxième source est le réseau public (SP2)

Dans ce cas, la consommation journalière est de l'ordre de 1685 m³/ J destinée pour la fabrication et divers usage, dont environ 70% est consommée lors de la phase de fabrication, 20% recyclé et 10% représente des pertes à l'évaporation (selon les données de 2011).

D'où la quantité d'eau utilisée dans le processus est : 0.26 m³ / tonne de ciment

b. Matières premières

Les éléments de base pour la production de ciment sont : le calcaire, l'argile, le sable, le gypse, tuf et le minerais de fer.

La cimenterie possède une concession d'exploitation des carrières calcaire, argile et le gypse.

La consommation des matières de base pour la production d'une tonne de clincker est déterminée sur la base des rations

Le tableau ci-dessous résume les besoins de consommation de matière de base pour la production du ciment.

Tableau N°22 : Taux de consommation de matières de base pour la production du ciment

Matières	Normes admises par le groupe de cimenteries	
	Taux / clincker (%)	Tonne / tonne de clincker
Calcaire	78 – 80	0.78 - 0.8
Argile	16 – 17	0.16 – 0.17
Sable	2	0.02
Minerai de fer	1	0.01

Selon la composition chimique moyenne de ces matières, il a été constaté que :

- Le calcaire contient environ 54.5% de CaO, 1.77% SiO₂, 0.7% de Al₂O₃ avec un titre de CaCO₃ de 93.7%
- L'argile contient environ 52% SiO₂, 16% de Al₂O₃, 8% CaO
- Le sable contient environ 94% SiO₂, 2.5 % d'Al₂O₃, 1.3 % CaO
- Les minerais de fer contiennent environ 56% de Fe₂O₃, 20 % SiO₂, 4 % de Al₂O₃, 8% CaO

B)- Cimenterie de Rais Hamidou (voie humide)

a. Eau

La cimenterie de Rais Hamidou utilise un procédé de fabrication du ciment en voie Humide.

L'eau provient de deux sources :

- Les eaux industrielles proviendront des puits à l'extérieur de l'usine
- Le réseau public

La consommation en eau est de **191 522 m³/an**

b. Matières premières

La cimenterie possède une concession d'exploitation des carrières calcaire, argile et le gypse.

- Calcaire et argile dont les gisements sont situés à proximité de l'unité supérieure
- Le sable est acheminé à partir de Boussaâda.
- Le minerai de fer de Rouina (Ain Defla)
- Le tuf du gisement de Zemouri dans la Wilaya de Boumerdes
- Le gaz naturel est acheminé par pipe à partir des stations de pré-détente et détente de la Sonelgaz
- La sacherie provient du marché national
- Le boulet provient de l'étranger

Les produits réfractaires (briques et bétons) sont importés de l'étranger

- Selon les données collectées illustrées dans l'inventaire ci-dessus, pour les différentes étapes de fabrication des deux processus de fabrication, on constate qu'il y a une consommation importante de matières premières, des énergies, notamment d'électricité, de gaz et de l'eau. Ces derniers sont plus significatifs dans le cas de la voie humide par rapport à la voie sèche. La consommation des matières premières et le passage par différentes phases de fabrication, s'accompagne d'une émission assez importante de gaz à effet de serre notamment le CO, CO₂, NO_x et de poussières avec des pertes de chaleurs à l'évaporation de l'eau ajoutée. Le dégagement gazeux est à l'origine de la combustion du fuel utilisé lors de l'étape de « cuisson » au niveau du four.

Tableau N°23 : Données entrants et sortants des cimenteries –inventaire de données-

Matières premières et énergie	Voie sèche (cimenterie de Sour El Ghozlane)	Voie humide (cimenterie Rais Hamidou)
<i>Minerais de fer (T/Ton Ciment)</i>	0,016	0.037
<i>Sable (T/T Ciment)</i>	0,044	0.65
<i>Calcaire (T/Ciment)</i>	1,069	1.254
<i>Argile (T/T Ciment)</i>	0,078	0.044
<i>Gypse (T/ T Ciment)</i>	0,062	0.059
<i>Tuf (T/ T Ciment)</i>	0,150	0.150
<i>Eau (m³/ T Ciment)</i>	0,259	0.924
<i>Electricité (KWh /T Ciment)</i>	103,362	121.038
<i>Gaz (m³/ T Ciment)</i>	75,897	212.906
<i>Gaz – oil (Litre / T Ciment)</i>	1,071	1.735
<i>Huile (Litre / T Ciment)</i>	0,122	0.217
<i>Graisse (Litre / T Ciment)</i>	0,101	0.053
<i>CO (g / T Ciment)</i>	1,540	0.192
<i>CO₂ (g / T Ciment)</i>	797,00	850
<i>NO_x (Kg / T Ciment)</i>	0,430	0.712
<i>Poussières (Kg /T Ciment)</i>	0,155	0.089

- Les différentes quantités estimées ou calculées par analyse ou méthode théorique, nous permet de conclure que cette activité peut avoir des effets néfastes sur l'environnement avec toute ces composantes, à savoir sur la faune et la flore, les ressources énergétiques et hydriques, même sur la santé humaine.
- Pour mieux exploiter les résultats d'inventaire, une évaluation qualitative des aspects et les impacts environnementaux générées a été menée pour les deux processus de fabrication, depuis l'extraction et l'acquisition des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini et son expédition.

Notons que les deux types de processus de fabrication, génèrent pratiquement les mêmes aspects et impacts environnementaux.

A la différence, le processus de fabrication de la voie humide consomme une quantité aussi importante d'eau par rapport à la voie sèche, nécessaire pour la formation et l'obtention du slurry qui est le mélange de toutes les matières premières ; calcaire, argile, minerais de fer, avec un excès de consommation d'énergie pour l'évaporation de l'eau.

Les aspects environnementaux et impacts de chaque processus de fabrication sont illustrés dans le tableau N°24

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N°24 : Inventaire des aspects et impacts environnementaux des deux cimenteries

<i>Activité</i>	<i>Aspect</i>	<i>Impact</i>
Extraction et concassage		
<ul style="list-style-type: none"> • Calcaire <ul style="list-style-type: none"> - Forage - Fragmentation par marteau piqueur - Abattage à l'explosif • Argile <ul style="list-style-type: none"> - Ripage par bull les formations du tas - Chargement sur dumper - Roulage des engins (DUMPER) - Déversement trémie concasseur - Transport par bande transporteuse 	<p><i>Faible émission de poussière</i> <i>Génération d'un bruit important</i></p> <p><i>Emission de poussière</i> <i>Bruit assez important</i></p> <p><i>Forte émission de poussière</i> <i>Génération d'un bruit très important</i> <i>Vibration importante</i></p> <p><i>Faible émission de poussière</i> <i>Faible émission de poussière</i></p> <p><i>Faible émission de poussière</i></p> <p><i>Emission de poussière assez importante</i> <i>Emission assez importante des gaz</i> <i>d'échappement</i></p> <p><i>Faible émission de poussière</i> <i>Faible émission de poussière</i></p>	<p><i>Faible risque de contamination par inhalation</i> <i>Fatigue auditive, la surdité</i></p> <p><i>Risque de contamination par inhalation</i> <i>Fatigue auditive, la surdité</i> <i>Epuisement de réserves de calcaire</i> <i>Risque de contamination par inhalation de la poussière</i> <i>Grand risque de surdité</i> <i>Grand risque de fissure des locaux avoisinants</i></p> <p><i>Faible risque de contamination par inhalation</i> <i>Faible risque de contamination par inhalation</i> <i>Epuisement de réserves d'argile</i> <i>Faible risque de contamination par inhalation</i></p> <p><i>Piste plein de poussière et d'agrégats</i> <i>Pollution atmosphérique en CO₂</i> <i>Déversement accidentel d'hydrocarbure par les engins, cas échéant</i></p> <p><i>Faible risque de contamination par inhalation</i> <i>faible risque de contamination par inhalation</i></p>
Broyage cru		
<ul style="list-style-type: none"> - Transport de la matière première (calcaire - argile), minerai de fer vers les doseuses - 	<p><i>Faible émission de poussière</i> <i>Déversement accidentelle de matières premières</i></p>	<p><i>Faible pollution atmosphérique</i> <i>Formation de boue et perte en matière première</i></p>

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

<ul style="list-style-type: none"> - <i>Transport de la matière première (calcaire - argile), minerais de fer des doseuses vers broyeur</i> - <i>Broyage</i> - <i>Transport de la farine crue vers les silos d'homogénéisation</i> 	<p><i>Emission de poussière assez importante</i></p> <p><i>Bruit très important</i></p> <p><i>Emission de poussière</i></p> <p><i>Emission importante de fines particules de poussière</i></p> <p><i>Bourrage des aéroglisteurs</i></p> <p><i>Colmatage des filtres à manches</i></p> <p><i>Bruit très important des surpresseurs</i></p>	<p><i>Pollution d'air atmosphérique</i></p> <p><i>Dépôt de poussière autour des équipements et installations et du voisinage (habitants)</i></p> <p><i>Perte de matières premières</i></p> <p><i>Risque de surdité</i></p> <p><i>Pollution atmosphérique en particule de différentes dimensions</i></p> <p><i>Pollution atmosphérique par des particules</i></p> <p><i>Perte d'une quantité considérable de farine crue</i></p> <p><i>Dépôt de poussière autour des équipements et installations et du voisinage</i></p> <p><i>Risque de contamination par inhalation lors du dégagement de la farine crue</i></p> <p><i>Fatigue auditive et risque de surdité</i></p>
Cuisson		
<ul style="list-style-type: none"> - <i>L'extraction de la farine crue du silo d'homogénéisation jusqu'à l'alimentation four</i> - <i>De l'alimentation four, jusqu'à la sortie du refroidisseur</i> - <i>Déclenchement de l'électrofiltre</i> 	<p><i>Assez importante émission de poussière</i></p> <p><i>Bourrage des aéroglisteurs</i></p> <p><i>Colmatage des filtres à manches</i></p> <p><i>Présence de bruit</i></p> <p><i>Rejet des poussières particulaire et des gaz CO, CO₂, NO_x</i></p> <p><i>Consommation d'énergie (électricité et gaz)</i></p> <p><i>Consommation de l'eau</i></p> <p><i>Rejet atmosphérique, de poussière</i></p> <p><i>Evacuation des lubrifiants usagés</i></p>	<p><i>Pollution atmosphérique</i></p> <p><i>Dépôt de poussière autour des équipements et installations</i></p> <p><i>Risque de contamination par inhalation lors du dégagement de la farine crue</i></p> <p><i>Risque de surdité</i></p> <p><i>Pollution atmosphérique</i></p> <p><i>Emission des gaz à effet de serre</i></p> <p><i>Excès de consommation d'énergie durée de cuisson importante</i></p> <p><i>Formation de vapeur d'eau (lors de refroidissement)</i></p> <p><i>Perte de chaleur importante (réaction exothermique)</i></p> <p><i>Forte pollution atmosphérique (dégagement gazeaux)</i></p> <p><i>Contamination par inhalation de l'ensemble des travailleurs et les habitants avoisinants</i></p> <p><i>Dégradation de la flore et la faune, possibilité de disparition de certaines espèces</i></p> <p><i>Risque de contamination du sol, génération du bruit</i></p>

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

- Maintenance des équipements		Déversement accidentelle de certains lubrifiants et huile
Broyage clinker		
- L'extraction du clinker des silos vers l'alimentation des broyeurs	Emission de poussière importante et fuite au niveau des conduites Présence de bruit	Pollution de l'atmosphère Dépôt de poussière sur les équipements et terres adjacentes et maisons Intervenant exposé à l'inhalation de la poussière Risque de surdité
- Transport ciment jusqu'au silo ciment	Fuite de ciment au niveau de la pompe, au niveau des conduites et au niveau des clapets au-dessus des silos ciment Génération de bruit	Pollution importante de l'atelier de broyage clinker Dépôt de poussière sur les équipements Intervention de réparation d'entretien inappropriée Risque de contamination par inhalation lors du dégagement de transport de ciment et présence des opérateurs à coté pour le contrôle
- Maintenance des équipements	Evacuation des lubrifiants usagés	Risque de surdité Risque de contamination du sol par déversement accidentel
Expédition ciment		
- Extraction du ciment au-dessous des silos	Fuite de ciment au niveau des extracteurs Risque de déversement du ciment tout au long du transporteur	Pollution atmosphérique assez importante par les particules du ciment Risque de contamination par inhalation Dépôt de ciment de part et d'autres du tapis roulant
- Opération d'ensachage	Emission de poussière lors du remplissage des sacs déformation de quelques sacs de ciment	Rebut sacs de ciment
- Maintenance des équipements	Evacuation des lubrifiants usagés	Risque de contamination du sol par des déversements accidentels de lubrifiants et huiles

Selon la fiche d'évaluation des aspects et des impacts environnementaux, nous constatons que parmi les aspects majeurs c'est les émissions de poussières et de gaz à effets de serre, ainsi que la nuisance sonore, ces derniers ont des impacts significatifs sur la santé humaine notamment les problèmes respiratoires suite aux inhalations, problèmes de surdité. Un autre impact significatif ; l'épuisement des ressources naturelles suite à l'extraction des matières premières et utilisation d'une quantité importante d'énergie, et des risques de contamination des sols suite au déversement accidentel de lubrifiant, la disparition des espèces végétale et perte des terres agricoles.

Les aspects et les impacts environnementaux qualifiés doivent être maîtrisés par les moyens d'atténuation visant leur réduction ou élimination, tout en essayant d'abords leur maîtrise.

Le tableau suivant résume les facteurs sensibles et la maîtrise des aspects.

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N°25 : Fiche des facteurs sensibles et maîtrise des aspects environnementaux

		Intensité			Niveaux de maîtrise			Détection des points				
		<i>Inexistant</i>	<i>Présent</i>	<i>Très présent</i>	<i>Aucune action significative</i>	<i>Action partielle et/ou</i>	<i>Action complète et/ou</i>	<i>Faibles</i>	<i>Forts</i>			
<i>Domaines</i>	<i>Facteurs sensibles</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>C1</i>	<i>B1-C2</i>	<i>A3</i>	<i>A1-B2-C3</i>	<i>A2-B3</i>
Eau	<i>Origine</i>			X		X						
	<i>Utilisation</i>			X		X			X			
	<i>Mode de collecte et évacuation</i>			X			X		X			
	<i>Traitement avant utilisation</i>			X			X					
Energie	<i>Suivi des consommations</i>			X			X				X	
Rejets gazeux	<i>Sources d'émission</i>			X			X				X	
	<i>Captage/ traitement / évacuation</i>			X			X				X	
	<i>Rejets</i>			X			X				X	

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

		<i>Intensité</i>			<i>Niveaux de maîtrise</i>			<i>Détection des points</i>				
								<i>Faibles</i>		<i>Forts</i>		
<i>Domaines</i>	<i>Facteurs sensibles</i>	<i>Inexistant</i>	<i>Présent</i>	<i>Très présent</i>	<i>Aucune action significative</i>	<i>Action partielle et/ou épisodique</i>	<i>Action complète et/ou permanente</i>	<i>Danger</i>	<i>Risques potentiels</i>	<i>Simplification</i>	<i>Vigilance</i>	<i>Vérification</i>
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>C1</i>	<i>B1-C2</i>	<i>A3</i>	<i>A1-B2-C3</i>	<i>A2-B3</i>
Rejets eaux industrielles	<i>Origine</i>			X			X				X	
	<i>Mode de collecte et évacuation</i>			X			X				X	
	<i>Traitement après rejet</i>			X		X			X			
	<i>Qualité des eaux de rejet</i>			X		X			X			
Déchets industriels dangereux	<i>Origine</i>			X			X				X	
	<i>Tri</i>			X			X				X	
	<i>Mode de collecte et évacuation</i>			X			X				X	

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

		<i>Intensité</i>			<i>Niveaux de maîtrise</i>			<i>Détection des points</i>				
		<i>Inexistant</i>	<i>Présent</i>	<i>Très présent</i>	<i>Aucune action significative</i>	<i>Action partielle et/ou épisodique</i>	<i>Action complète et/ou permanente</i>	<i>Faibles</i>		<i>Forts</i>		
<i>Domaines</i>	<i>Facteurs sensibles</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>C1</i>	<i>B1-C2</i>	<i>A3</i>	<i>A1-B2-C3</i>	<i>A2-B3</i>
<i>Nuisances</i>	<i>Localisation des problèmes</i>			X		X			X			
	<i>Mesure de prévention</i>			X		X			X			
	<i>Niveaux sonores / cartographie</i>			X	X			X				
<i>Intégration site</i>	<i>Architecture</i>			X			X				X	
	<i>Abords / espaces verts</i>			X			X				X	
	<i>Embellissement, propreté entretien</i>			X		X					X	

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Selon la fiche des facteurs sensibles et les niveaux de maîtrise, nous constatons que dans les deux cimenteries, des actions de maîtrise permanente pour tous les domaines (eau, énergie, rejets gazeux, rejets liquides et déchets), ont été prises par les décideurs de ces entreprises dans le but de gestion environnementale. L'ensemble des impacts et aspects identifiés, sont qualifiés et quantifiés, sans donner les concentrations limites des constituants ou des émissions, au-delà desquelles il peut y avoir un effet négatifs pour les différents aspects ou catégories d'impact tel que : les occupations des sols ou des terres, épuisement des ressources naturelles (gaz et eau), effets sur certaines espèces, effet socioéconomique et autres.

Pour le cas des émissions de poussières, l'impact potentiel engendré est la possibilité de contamination par inhalation en provoquant des maladies respiratoires. Ceci a été constaté pour les différentes étapes de fabrication depuis l'extraction et concassage jusqu'à la mise en sacs et expédition, des émissions aussi importantes de nature gazeuses et particulières ont été constatées notamment en phase de cuisson dans le four rotatif, suite à la réaction de combustion pour les deux voies de production.

Ces procédés suites aux immenses exploitations des ressources peuvent provoquer un épuisement de ces dernières ainsi que des pertes des terres agricoles au niveau local avec une gravité d'impact aussi élevé. Ces derniers impacts doivent être quantifié d'une façon représentative de manière à pouvoir prendre des mesures d'atténuation les plus efficaces.

III. Evaluation des impacts environnementaux par la démarche ACV

III.1 Cimenterie de Sour El Ghozlane

a. Objectifs et champs d'application

L'enjeu majeur de l'utilisation de l'ACV dans ce cas est d'identifier, de quantifier les impacts potentiels ainsi de déterminer leurs principales sources afin d'arbitrer les déplacements de pollutions liés aux différentes alternatives envisagées. Autrement dit c'est de déterminer la contribution des éléments constitutifs ou autres aux impacts engendrés ainsi de faire une étude comparative.

L'ACV est appliquée dans ce cas uniquement au processus de fabrication depuis l'utilisation des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini, sans tenir compte du transport, d'utilisation, de traitement, ou de recyclage ce qui est compatible avec l'objectif visé tous en ayant recours au logiciel Sima Pro 7.1 (Pré consultant 2008) sous licence, en utilisant l'EDIP 2003 comme méthode d'évaluation.

b. L'unité fonctionnelle.

C'est un élément de mesure qui permet de quantifier la fonction remplie par le produit étudié. Dans ce cas elle est rapportée à une production d'une tonne de ciment.

c. Qualité des données et réalisation de l'inventaire

Les données utilisées dans ce cas, sont issues des deux usines en faisant la collection de toutes les données disponibles par analyses, par calcul, et en exploitant la base de données de ce logiciel notamment pour le gaz et l'électricité.

Les données collectées nous a permis d'établir l'inventaire, qui représente une étape primordiale pour pouvoir réaliser cette application (voir tableau N°23).

Les figures suivantes (figures N°20, 21, 22,23, 24 en annexes) et les tableaux N° 26, 27, 28,29, résumant les différentes consommations et émissions.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

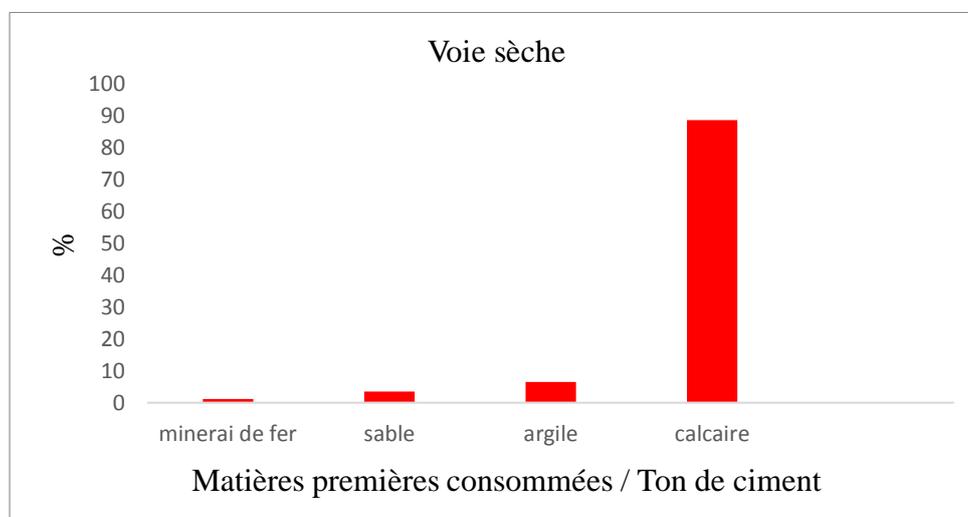
c.1)- Taux de consommation des matières premières

Selon l'inventaire des données de la voie sèche, voir le tableau 26 et figure 20, nous constatons que le calcaire représente environ 88.6% des consommations globales de la matière première, le sable représente 3.6%, l'argile représente 6.5 %, alors que les minerais de fer ne représente que 1.32% de la totalité des matières premières essentielles pour la fabrication d'une tonne du ciment. Les autres produits tels que le gypse et le tuf sont des additifs ou des produits de charge pour le ciment.

Tableau N°26 : Taux de consommation de matières premières/ tonne de ciment

<i>Matières premières</i>	<i>%</i>
Minerai de fer	1,32
Sable	3,6
Argile	6,5
Calcaire	88,65

Figure N°20 : Taux de consommations des matières premières/tonne de ciment



c.2)- Consommation énergétique

Toute production industrielle, nécessite une large consommation énergétique ; électricité nécessaire pour le fonctionnement des machines, le gaz naturel nécessaire pour la combustion et la clinkérisation (étape de cuisson de la farine crue). Dans ce cas, plus de 99% d'énergie utilisées est le gaz naturel, tableau 23).

c.3)-Emissions atmosphériques

La consommation des matières premières et d'énergie, est accompagnée d'une émission gazeuse considérable, notamment de dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et des poussières. Elles sont dues notamment aux processus de décarbonatation du calcaire, ainsi qu'à la consommation d'énergie lors du processus de cuisson.

Dans notre cas, ces émissions sont calculées par rapport aux matières premières consommées : le calcaire, l'argile, sable et minerai de fer (figure 21, tableau 27).

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Elles sont aussi calculées par rapport à la consommation d'une tonne de calcaire, qui est considéré comme source principale de mono et dioxyde de carbone (figure 22, tableau 28,), ces dernières ont pour origine la combustion du gaz naturel, tandis que les poussières sont issues des matières premières lors de transport, concassage, broyage....

Tableau N°27 : Taux d'émission atmosphérique / Tonne de matières premières/ Tonne de ciment

<i>Emissions gazeuses</i>	<i>%</i>
CO ₂	0,066
CO	0,000113
NO _x	0,0356

Tableau N°28 : Taux d'émission atmosphérique / Tonne de calcaire

<i>Emissions gazeuses</i>	<i>%</i>	<i>Quantité émise en g</i>
CO ₂	88,56	705.87
CO	0,000107	1.364

Nous constatons que le gaz majoritairement émis est le dioxyde de carbone, il provient de décarbonatation du calcaire favorisant sa libération, il représente environ **88.56%** (705.87g/tonne de calcaire), tandis que le monoxyde de carbone ne représente que **0.000107%** (1.364g/tonne de calcaire). Cette émission est aussi due à combustion du gaz naturel, elle représente environ **11.43%** (voir figure 22 en annexe).

L'émission de la poussière provient essentiellement de transport, de broyage et de concassage des matières premières notamment le calcaire, l'argile, le sable, le tuf, le gypse et minerai de fer. Elle représente environ **0.077%** de poussières dégagées par tonne de matières premières utilisées.

d. Evaluation des impacts

Les impacts générés par ce processus et évalués par la méthode EDIP 2003 sont :

- Réchauffement global exprimé par Eq kg CO₂
- Formation d'ozone (végétation) exprimé par m².ppm.h
- Formation d'ozone (humaine) exprimé par Personne .ppm.h
- Acidification exprimé par m²
- Eutrophisation aquatique EP(N) exprimé par kg N
- Toxicité humaine air exprimé par m³
- Toxicité humaine (eau) exprimé par m³
- Toxicité humaine (sol) exprimé par m³
- Ressources exprimé par kg

Les tableaux 29 et 30 résument l'ensemble des impacts générés par la voie sèche ainsi que les éléments contribuant à chaque catégorie d'impacts.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N° 29 : Les catégories d'impacts de la voie sèche

Catégories d'impact	Unité	Voie sèche
Réchauffement global	Eq kg CO ₂	651
Formation d'ozone (végétation)	m ² .ppm.h	1.56 E4
Formation d'ozone (humaine)	Personne .ppm.h	1.26
Acidification	m ²	568
Eutrophisation aquatique EP(N)	Kg N	6.34
Toxicité humaine (air)	m ³	1.35 E7
Toxicité humaine (eau)	m ³	0.49
Toxicité humaine (sol)	m ³	194
Ressources	Kg	0.573

L'ACV nous a permis aussi de déterminer les éléments contribuant à chaque catégorie d'impact, les résultats sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Par cette démarche on peut déterminer la contribution des éléments émis, pour les impacts globaux, et par catégorie d'impact.

Tableau N°30 : Les éléments contribuant aux catégories d'impacts

Impacts	Contribution des éléments	Unité	Voie sèche	%
Réchauffement global	Dioxyde de carbone	Eq kg CO ₂	83.3	13
	Monoxyde de carbone	Eq kg CO ₂	567	87
Formation d'ozone (végétation)	Dioxyde de carbone	m ² .ppm.h	1.56E-4	100
Formation d'ozone (humaine)	Dioxyde de carbone	Personne.ppm.h	1.26	100
Acidification	Dioxyde d'azote	m ²	568	100
Eutrophisation aquatic	Dioxyde d'azote	KgN	6.34	100
Toxicité humaine (air)	Monoxyde de carbone	m ³	1.35E7	100
Toxicité humaine (eau)	Dioxyde d'azote	m ³	0.49	100
Toxicité humaine (sol)	Dioxyde d'azote	m ³	194	100
Ressources	Minerais de fer 46%, 25% huile brute		0.00151	0.4
	Huile brute, 41MJ per kg		0.571	99.6

Notons l'impact *réchauffement global* ou proprement dit ; effet de serre : est l'impact majeurs identifié, il est de l'ordre de 651 Eq kg CO₂ ; c'est le facteur de conversion permettant de comparer l'effet de climat de chaque gaz à effet de serre, en référence au CO₂, dont **87%** est dû essentiellement au *monoxyde de carbone* et **13%** au *dioxyde de carbone*. Par cette ACV le CO₂ contribue à **96.507%** aux impacts globaux générés par la production d'une tonne de ciment.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Selon une étude menée par Denis .S et al [20] démontré qu'environ 95% de CO₂ émis provient de la phase de cuisson du clinker, notamment la réaction de décarbonatation du calcaire, l'utilisation du combustible, les 5% restante de l'émission est due à la consommation de l'électricité nécessaire pour le broyage de ciment, préparation de la farine, le slurry ainsi qu'au type du four et encore par le transport de la matière première et le combustible. Comme il a été démontré que le changement dans la composition du ciment tel que l'utilisation des déchets de haut fourneau, représente presque la moitié de gaz émis par la production ordinaire du ciment portland, d'où la recherche des matières premières alternatives. Une étude menée en Egypt par Ahmed Abdel Motaleb et al [21], portée sur l'effet du combustible sur le cycle de vie du ciment, a montré que l'utilisation du charbon produit environ 20% de réchauffement global (global warming), 25% de la respiration inorganique comparativement aux autres sources d'énergie.

La toxicité humaine par l'air est aussi un impact important, il exprime la toxicité d'une substance sur l'être humain, dans ce cas elle est exprimé en volume de monoxyde de carbone contribuant à 100% de la totalité d'impact, qui est de l'ordre de $1,35.10^7 \text{ m}^3$. Cet impact aussi est d'origine terrestre (194 m^3) et aquatique (0.49 m^3), dont la toxicité terrestre est le plus dominant par rapport à la toxicité aquatique, ces derniers sont dus principalement au dioxyde d'azote (NO₂), dont 50% de ce gaz provient de l'activité humaine et à l'activité microbienne dans le sol qui engendre une quantité inférieure à 1million tonnes/an dans le globe terrestre. Le NO_x est originaire de la volatilisation des fertilisants, la décomposition des cadavres animales et déchets organiques dans des conditions alcalines, et le processus microbien de nitrification et dénitrification sous des conditions aérobiques et anaérobiques respectivement [17]. Environ 90 à 95% des NO_x provient de la combustion des énergies fossiles tels que le gaz naturel, le charbon (coal) et les huiles (oil) [120]. Dont le charbon génère environ 0.91-2.74 gN/ kg, le gaz naturel : 0.61-3.01 gN/ m³ et les huiles génère de 1.49-2.98 gN/ kg [17].

Compte à la consommation des ressources, environ 99.6% provient de la consommation des huiles et 0.4% est due à la consommation des minerais de fer notamment. Donc il s'agit de l'épuisement des ressources naturelles nécessaire à la production du ciment.

Pour l'impact d'acidification, est dans ce cas très important, dû principalement au dioxyde d'azote, provenant essentiellement du processus de combustion, du transport du ciment et de matières premières. Selon Francesco Colangelo et al [121] ont démontré qu'environ 70% de cet impact provient de la transportation du ciment et de la matière première.

L'impact Eutrophisation est aussi d'une grande importance, il est dû dans ce cas au dioxyde d'azote, cette constatation est aussi donnée par les mêmes auteurs, en lui rapportant à l'émission de dioxyde d'azote provenant notamment de transportation.

Une étude réalisée au Nigeria par Lameed G.A et al [122] a démontré qu'en plus des émissions gazeuses et particulaire, cette activité notamment la voie sèche, génère d'autres impacts tels que : les odeurs, bruit, déchets, des fumées, des vibrations, des effluents et des éclats de lumière (glare).

La végétation se trouvant dans le site de Akampa est menacée par une forte pollution notamment celle due aux rejets des effluents généralement de nature chimique contenant dans certain cas des métaux lourds, une forte contamination par des déchets peut bloquer ou réduire la photosynthèse de certaines espèces végétales. Tout ça étant rejeté dans la nature peut avoir des effets néfastes sur les eaux des rivières avoisinant le site de l'étude, en influençant l'activité physiologique des plantes (photosynthèse et respiration des autres espèces).

1.Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

d.1)- Taux de contribution du CO₂ aux impacts liés au dioxyde de carbone

Certaines catégories d'impacts, sont dues principalement au gaz carbonique, il s'agit principalement de :

- Réchauffement globale (effet de serre)
- Formation d'ozone (végétation)
- Formation d'ozone (humaine)

Dans ce cas, nous avons essayé de calculer le pourcentage de contribution du CO₂ à chaque catégorie d'impact citée plus haut (voir tableau N°31, figure 23 en annexe).

Tableau N°31 : Taux de contribution de CO₂ aux impacts liés à l'émission de CO₂

<i>Catégorie d'impact</i>	<i>% de contribution de CO₂</i>
Réchauffement global	0.51
Formation d'ozone (végétation)	95.98
Formation d'ozone (humaine)	0.008

Il est à noter que le CO₂ contribue à 95.98% à la formation d'ozone, qui a un effet important sur la végétation avec une contribution minimale à l'impact formation d'ozone ayant un effet sur l'humain et réchauffement global.

d.2)- Taux de contribution du CO aux impacts liés au monoxyde de carbone

Certaines catégories d'impacts sont dues principalement aux émissions gazeuses notamment le monoxyde de carbone, ce dernier est à l'origine de la combustion du gaz naturel et de la décarbonatation lors du processus de cuisson.

Par le biais de la démarche ACV, on peut calculer sa contribution aux différentes catégories d'impacts (figure 24 en annexe) :

- Le *réchauffement global* dont il a une faible contribution puisque cet impact est majoritairement causé par le dioxyde de carbone émis par le processus cimentier.
- Il contribue à 99.99% de la *toxicité humaine* suite à son émission dans l'air (respiration)

Tableau N°32 : Taux de contribution de CO aux impacts liés à l'émission de CO

<i>Catégorie d'impact</i>	<i>% de contribution de CO</i>
Réchauffement global	0.004
Toxicité humaine (air)	99.99

d.3)-Contribution du NO₂ aux impacts liés au dioxyde d'azote

Les NOx se classent parmi les gaz émis par les industries cimentières, leurs émissions est à l'origine de la combustion du gaz naturel, on trouve notamment de dioxyde d'azote NO₂, gaz qu'on a pu déterminer sa contribution aux différentes catégories d'impacts par l'usage de la démarche l'ACV. Le tableau 33 et la figure 25 en annexe illustrent sa contribution à quelques catégories d'impacts tel que :

- L'acidification
- Eutrophisation aquatique
- Toxicité humaine par l'eau
- Toxicité humaine par l'air

Tableau N°33 : Taux de contribution de NO₂ aux impacts liés à l'émission de NO₂

<i>Catégorie d'impact</i>	<i>% de contribution de NO₂</i>
Acidification	73.88
Eutrophisation aquatique	0.825
Toxicité humaine (eau)	0.064
Toxicité humaine (sol)	25.23

Selon ces résultats, nous constatons que la contribution des NO₂ est très importante pour les catégories ; acidification et toxicité humaine par le sol, il est dû essentiellement à la combustion du gaz naturel, qui à son tour se redépose dans les sols, il représente une acidification particulière des sols et des eaux, celle-ci a un effet très important sur la santé humaine (voir figure 25 en annexe).

III.2 Cimenterie de Rais Hamidou (voie humide)

a)- Inventaire des données : voie humide

Le tableau N°23 résume les données d'inventaire de cette voie, nous constatons que la production d'une tonne de ciment, nécessite une forte consommation de : matières premières notamment le calcaire, sable, d'argile..., une forte consommation de gaz naturel, d'électricité et d'eau. Cette consommation est suivie d'une forte émanation gazeuse à savoir : le CO₂, SO₂, NO_x et de poussières.

a.1)- Consommation des matières premières

Selon les résultats de l'inventaire, on constate que presque 62% des matières premières consommées est le calcaire, environ 26% est du sable, 6% représente le tuf, toutes ces consommations nécessitent une énergie importante pour la formation du clincker ainsi sa cuisson, tout en engendrant des émissions importantes de gaz et de poussières dont le gaz dioxyde carbonique est le plus important, ainsi que la poussière et les NO_x.

Tableau N°34 : Taux de consommation de matières premières/ tonne de ciment

<i>Matières premières</i>	<i>%</i>
Minerai de fer	1,864
Sable	32,74
Argile	2,21
Calcaire	63,17

a.2)- Emissions atmosphériques

Les émissions atmosphériques sont rapportées aux matières premières consommées pour la production d'une tonne de ciment (tableau 35, figure 28), ainsi qu'à une tonne de calcaire (tableaux 36, figures 29). Les émissions de poussières par les matières premières représentent 0.004% dans le cas de la voie humide et ce suite à l'utilisation de l'eau qui favorise leurs dépôts et non pas leurs volatilisation.

Tableau N°35 : Taux d'émission atmosphérique /Tonne de matières premières/ Tonne de ciment

<i>Emissions gazeuses</i>	<i>%</i>
CO ₂	0,021
CO	9,67
NO _x	0,035

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N°36 : Taux d'émission atmosphérique / Tonne de calcaire

<i>Emissions gazeuses</i>	<i>%</i>	<i>Quantité émises en g</i>
CO ₂	50,377	428,21
CO	49,62	0,097

b)- Evaluation des impacts

Les tableaux 37 et 38 résument l'ensemble des impacts générés par la voie humide ainsi que les éléments contribuant à chaque catégorie d'impacts évalué par la méthode EDIP 2003. Ces impacts sont :

- Réchauffement global
- Formation d'ozone (végétation)
- Formation d'ozone (humaine)
- Acidification
- Eutrophisation aquatique EP(N)
- Toxicité humaine (air)
- Toxicité humaine (eau)
- Toxicité humaine (sol)
- Ressources

Tableau N° 37 : Catégories d'impacts de la voie humide

Catégories d'impact	Unité	Voie humide
Réchauffement global	Eq kg CO ₂	850
Formation d'ozone (végétation)	m ² .ppm.h	10.6
Formation d'ozone (humaine)	Personne.ppm.h	0.00085
Acidification	m ²	6.12
Eutrophisation aquatique EP(N)	Kg N	0.0684
Toxicité humaine (air)	m ³	9 .12E3
Toxicité humaine (eau)	m ³	0.00528
Toxicité humaine (sol)	m ³	2.08
Ressources	Kg	0.00315

L'ACV nous a permis aussi de déterminer les éléments contribuant à chaque catégorie d'impact, les résultats sont illustrés dans le tableau ci-dessous. Par cette démarche on peut déterminer la contribution des éléments émis, pour les impacts globaux, et par catégorie d'impact.

Selon les résultats obtenus par l'analyse des impacts par le logiciel SimaPro en utilisant la méthode EDIP2003, on constate que plusieurs impacts ont été engendrés par cette voie de production du ciment, dont il s'agit de l'impact réchauffement globale causé essentiellement par le monoxyde de carbone, qui contribue grandement à la toxicité humaine par l'air. Tandis que le dioxyde d'azote contribue à l'impact acidification, eutrophisation aquatique, et toxicité humaine par l'air et les sols. Compte aux ressources, l'impact est dû à l'utilisation des ressources : minerais de fer à plus de 99% et de l'huile brute.

Selon une étude réalisée par Del Coz Diaz et al [123] sur la cimenterie de Rais Hamidou en Algérie, ont constaté que lors du broyage humide, la composition du mélange devient uniforme, avec une faible perte de déchets avec une récupération importante de la chaleur par les matériaux secs.

Pour ce qui toxicité humaine par les sols, elle est due principalement au phénomène d'accumulation par déposition des particules émises lors du processus de fabrication du ciment,

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

ainsi que la diffusion de la vapeur. La mobilité des contaminants dans le sol, dépend énormément de Ph, structure et caractéristiques du polluant ainsi que la contenance en eau [124].

Tableau N°38 : Les éléments contribuant aux catégories d'impacts

Impacts	Éléments contributants	Unité	Voie humide	%
Réchauffement global	Carbon dioxide	Eq kg CO ₂	849.6	99.9
	Carbon monoxide	Eq kg CO ₂	0.384	0.1
Formation d'ozone (végétation)	Carbon dioxide	m ² .ppm.h	10.6	100
Formation d'ozone (humaine)	Carbon dioxide	personne.ppm.h	0.00085	100
Acidification	Nitrogen dioxide	m ²	6.12	100
Eutrophisation aquatique EP(N)	Nitrogen dioxide	KgN	0.0684	100
Toxicité humaine (air)	Carbon monoxide	m ³	9.12E3	100
Toxicité humaine (eau)	Nitrogen dioxide	m ³	0.00528	100
Toxicité humaine (sol)	Nitrogen dioxide	m ³	2.08	100
Resources	Minerais de fer à 46% 25% huile brute		0.00315	99.99
	Huile brute, 41MJ per kg		7.81E-6	0.001

Comme il a été démontré qu'un taux de 4% de mortalité due à une exposition au PM10 à une concentration de 10µg/m³ avec provocation des maladies respiratoires cardiovasculaire et asthmatiques [125].

b.1)- Taux de contribution du CO₂ aux impacts liés à l'émission du dioxyde de carbone

Certaines catégories d'impacts, sont dues principalement au gaz carbonique, il s'agit principalement de :

- Réchauffement globale (effet de serre)
- Formation d'ozone (végétation)
- Formation d'ozone (humaine)

Dans ce cas, nous avons essayé de calculer le pourcentage de contribution du CO₂ à chaque catégorie d'impact citée plus haut (voir tableau N°39, figure 30).

Tableau N°39 : Taux de contribution de CO₂ aux impacts liés à l'émission du CO₂

Catégorie d'impact	% de contribution de CO ₂
Réchauffement global	98.72
Formation d'ozone (végétation)	1.23
Formation d'ozone (humaine)	9.88

Il est à noter que le CO₂ contribue à 98.72% au réchauffement global (causés par les gaz à effets de serre), il contribue à 9.88 % à l'impact formation d'ozone ayant un effet sur la santé humaine, et un effet considérable sur la végétation avec une contribution minimale égale 1.23%. Cette émission est originaire du processus de décarbonatation et de combustion de gaz naturel lors de la cuisson de clincker.

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

b.2)- Contribution du CO aux impacts liés au monoxyde de carbone

Certaines catégories d'impacts sont dues principalement aux émissions gazeuses notamment le monoxyde de carbone, ce dernier est à l'origine de la combustion du gaz naturel et de la décarbonatation lors du processus de cuisson.

Par le biais de la démarche ACV, on peut calculer sa contribution aux différentes catégories d'impacts (figure 31) :

- Le *réchauffement global* dont il a une faible contribution puisque cet impact est majoritairement causé par le dioxyde de carbone émis par le processus cimentier.
- Il contribue à 99.99% de la *toxicité humaine* suite à son émission dans l'air (respiration)

Tableau N°40 : Taux de contribution de CO aux impacts générés par émission de CO

Catégorie d'impact	% de contribution de CO
Réchauffement global	0.0042
Toxicité humaine (air)	99.99

b.3)-Contribution du NO₂ aux impacts liés à l'émission du dioxyde d'azote

Les NO_x se classent parmi les gaz émis par les industries cimentières, leurs émissions est à l'origine de la combustion du gaz naturel, on trouve notamment de dioxyde d'azote NO₂, gaz qu'on a pu déterminer sa contribution aux différentes catégories d'impacts par l'usage de la démarche l'ACV. Le tableau 41 et la figure 33 illustrent sa contribution à quelques catégories d'impacts tel que :

- L'acidification
- Eutrophisation aquatique
- Toxicité humaine par l'eau
- Toxicité humaine par l'air

Tableau N°41 : Taux de contribution de NO₂ aux impacts liés à l'émission du NO₂

Catégorie d'impact	% de contribution de NO₂
Acidification	74.002
Eutrophisation aquatique	0.83
Toxicité humaine (eau)	0.064
Toxicité humaine (sol)	25.15

Selon ces résultats, nous constatons que la contribution des NO₂ est très importante pour les catégories ; acidification et toxicité humaine par le sol, il est de l'ordre de 74% et 25.15% respectivement. Ceci est essentiellement dû à son émission suite à la combustion du gaz naturel, qui à son tour se redépose dans les sols et représente une acidification particulière des sols et des eaux, celle-ci a un effet très important sur la santé humaine (voir figure 32).

III.3 Etude comparative voie sèche et humide par la démarche ACV

Afin d'exploiter les avantages de l'ACV, nous allons faire une étude comparatives entre deux voies distinctes de production du ciment, il s'agit essentiellement de la voie sèche utilisée par la cimenterie de Sour El Ghozlane et la voie humide utilisée par la cimenterie de Rais Hamidou. Pour ce faire un bilan de consommation des matières premières, des énergies et des émissions doit être réalisé, ce bilan est appelé dans l'ACV inventaire de cycle de vie (IACV), ce dernier est illustré dans le tableau 23.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N° 23 : Inventaire des données des deux cimenteries

Matières premières et énergie	Voie sèche (cimenterie de Sour El Ghozlane)	Voie humide (cimenterie Rais Hamidou)
Minerais de fer (T/Ton Ciment)	0,016	0.037
Sable (T/T Ciment)	0,044	0.65
Calcaire (T/Ciment)	1,069	1.254
Argile (T/T Ciment)	0,078	0.044
Gypse (T/ T Ciment)	0,062	0.059
Tuf (T/ T Ciment)	0,150	0.150
Eau (m ³ / T Ciment)	0,259	0.924
Electricité (KWh /T Ciment)	103,362	121.038
Gaz (m ³ / T Ciment)	75,897	212.906
Gaz – oil (Litre / T Ciment)	1,071	1.735
Huile (Litre / T Ciment)	0,122	0.217
Graisse (Litre / T Ciment)	0,101	0.053
CO (g / T Ciment)	1,540	0.192
CO ₂ (g / T Ciment)	797,00	850
NO _x (kg / T Ciment)	0,430	0.712
Poussières (Kg /T Ciment)	0,155	0.089

a)- Unité fonctionnelle

Pour une étude comparative entre les deux procédés de fabrication, il est primordiale de définir une unité fonctionnelle commune entre eux, dans ce cas toutes les valeurs de l'inventaire sont rapportées à une production d'une tonne du ciment (produit fini).

b)- Analyse de l'inventaire

Selon l'inventaire réalisé, on constate qu'il y a une consommation presque identique des matières premières avec une légère différence, mais une consommation aussi importante de l'eau, d'électricité et d'énergie pour la voie humide par rapport à la voie sèche (voir les figures N° 33, 34 et 35), celle-ci est accompagnée d'un dégagement important du CO et de poussières mais une légère différence pour les autres gaz notamment le CO₂ pour la voie sèche par rapport à la voie humide.

Selon G. Habert et al [126], 85% des émissions du CO₂ est relative à la production du ciment en Europe, dont environ 0.92 tonne du CO₂ est dégagé par production d'une tonne du ciment. Ce dernier est la plus responsable des problèmes écologiques, notamment par l'excès d'utilisation des énergies non renouvelables, lors de combustion des gaz ainsi que l'extraction des matières premières, elle contribue à environ 5% des émissions mondiale du CO₂ [127] ce qui est dans notre cas, dont on remarque que cette émission est en relation étroite avec la consommation de l'énergie gaz et électricité.

Cette émission provient de la combustion du gaz ainsi que du processus de calcination qui représente tout un ensemble de réaction chimique dans le four, cette émission dépend de la composition du gaz (fioul) et du clincker qui varie généralement de 0.5 à 0.95 [128].

Autre que le CO₂, l'émission du SO₂ a été contrôlé et analysé par l'approche ACV par la méthode CML, qui a démontré que le réchauffement global, l'oxydation photochimique indique une variation entre les usines allant de 20 à 30%, tandis que les autres impacts ; l'acidification, l'eutrophisation, écotoxicité terrestre...la variation est supérieure à 40% [129].

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Les émissions des gaz notamment le CO₂ sont classés en deux types [132] :

- Directe ; dont 62% provient du processus de calcination et 38% de la combustion du fuel.
- Indirecte ; dont 10% est partagées entre ; le transport, électricité utilisée extraction des matières premières.

La quantité du CO₂ émet est fonction de [130] :

- Type de processus de production
- Type du combustible utilisé
- Rapport clincker / ciment
- Les additifs utilisés

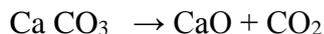
Il a été démontré, qu'environ 0,65 à 0,92 kg de CO₂ / kg de ciment est émis par le fonctionnement des équipements, ainsi que sa concentration dans le flux gazeux varie de 14% à 33% et qu'elle a deux provenance [131] :

- Directe ; par combustion du combustible et calcination du calcaire en CaO.
- Indirecte ; par consommation d'électricité nécessaire pour la combustion du fossile fuel

Ainsi que par cette étude, il a été constaté que :

- La voie sèche est la voie qui consomme moins d'énergie électrique que la voie humide.
- La voie humide a besoin de plus d'énergie pour enlever les impuretés présentes dans le slurry.
- La voie sèche consomme environ moins de 13 % d'énergie électrique par rapport à la voie humide.
- La voie sèche consomme environ moins de 28 % d'énergie du fuel par rapport à la voie humide.

Il a été constaté aussi que la moitié du CO₂ émet provient de la calcination des matières premières (0,5 kg de CO₂ / kg du clincker), notamment le calcaire selon la réaction suivante :



Le clincker contient de 64 à 67% du CaO + qq FeO + AlO_x.

La concentration du CO₂ émet est fonction du rapport clincker / ciment, il varie de 0,5 à 0,95.

Le CaO et le MgO sont des produits issus de CaCO₃ et Mg CO₃.

Les émissions ont lieu lors de la décarbonatation du calcaire, ainsi l'utilisation des fuels pour la combustion.

Pour l'émission du CO₂, il est associé à la production qu'à l'usage d'électricité, ainsi qu'à la phase de broyage (il est de l'ordre de 0,1T / T ciment).

Le fuel utilisé est brûlé afin de produire la chaleur nécessaire pour la production du clincker.

Il en produit par la suite l'évaporation de l'eau contenue dans les matières premières, notamment des calcines et du calcaire, à une température allant de 900 à 1000C°.

La quantité du CO₂ émise lors de la production du ciment est fonction de :

- Type de fuel utilisé
- Type de processus (sèche ou humide)
- Le rapport clincker / ciment

Comme il a été démontré que 80% du CO₂ contribuant à l'effet de serre, provient de la production du ciment, dont pour une tonne de clincker il y a émission de 0,92 tonne de CO₂. Cette émission calculée par rapport à une tonne de ciment, est partagée comme suit [126] :

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

- Décarbonatation du calcaire → 0,53 tonne
- Combustion du gaz → 0,39 tonne
- Utilisation d'électricité (broyage) → 0,1 tonne

Il a été constaté qu'il y a trois facteurs déterminant les émissions de CO₂ par la production du clinker, il s'agit de :

- La nature du carburant utilisé (fuel)
- L'efficacité du four (production de la chaleur par le système)
- La nature des matières premières utilisées

b.1)- Comparaison des consommations des matières premières VS/VH

Selon l'inventaire des données illustrées dans le tableau 42, on constate que la voie sèche consomme plus de calcaire, et d'argile par rapport à la voie humide, un dépassement qui est égale à 20% et 4% respectivement.

Tableau N°42 : Comparaison des consommations des matières premières VS/VH

Matières premières (%)	Voie sèche	Voie humide
Minerais de fer	1,32	1,864
Sable	3,6	32,74
Argile	6,5	2,21
calcaire	88,65	63,17

b.2)- Comparaison des émissions atmosphériques VS/VH

Selon le tableau ci-dessous, nous constatons que les matières premières utilisées pour la production d'une tonne de ciment, émettent une quantité importante de gaz à effet de serre, notamment le CO₂ et NO_x qui sont importants dans la voie sèche, alors que le CO, il est important dans le cas de la voie humide par rapport à la voie sèche.

Tableau N°43 : Comparaison des émissions atmosphériques /Tonne de matières premières VS/VH/ tonne de ciment

Emissions atmosphériques (%)	Voie sèche	Voie humide
CO ₂	0,066	0,021
CO	0,000113	9,67
NO _x	0,0356	0,035

Ces émissions sont exprimées par une tonne de matières premières et une tonne de calcaire (voir figure 34,35 en annexe).

c)-Evaluation des impacts

Les impacts engendrés par les deux processus de fabrication du ciment ; la voie humide et la voie sèche sont rapportés dans le tableau ci-dessous :

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Tableau N°44 : Impacts environnementaux générés par les deux procédés VS/VH

Catégories d'impact	Unité	Voie humide	Voie sèche
Réchauffement global	Eq kg CO ₂	850	651
Formation d'ozone (végétation)	m ² .ppm.h	10.6	1.56 E4
formation d'ozone (humaine)	Persan.ppm.h	0.00085	1.26
Acidification	m ²	6.12	568
Eutrophisation aquatique EP(N)	Kg N	0.0684	6.34
Toxicité humaine (air)	m ³	9.12E3	1.35 E7
Toxicité humaine (eau)	m ³	0.00528	0.49
Toxicité humaine (sol)	m ³	2.08	194
Ressources)	Kg	0.00315	0.573

Tableau N° 45 : Contribution des éléments aux impacts environnementaux VS/VH

Impacts	Éléments contributeurs		Unité	Voie humide	Voie sèche
Réchauffement global	Dioxyde	de	Eq kg CO ₂	850	83.3
	carbone				
Formation d'ozone végétation	Monoxyde	de	m ² .ppm.h	10.6	1.56E-4
	carbone				
formation d'ozone humaine	Dioxyde	de	personne.ppm.h	0.00085	1.26
Acidification	Dioxyde d'azote		m ²	6.12	568
Eutrophisation aquatique	Dioxyde d'azote		KgN	0.0684	6.34
Toxicité humaine (air)	monoxyde	de	m ³	9.12E3	1.35E7
Toxicité humaine (eau)	Dioxyde d'azote		m ³	0.00528	0.49
Toxicité humaine (sol)	Dioxyde d'azote		m ³	2.08	194
	fer 46%			0.00315	0.00151
Ressources	Huile brute, 41MJ per kg			7.81E-6	0.571

Selon les résultats obtenus, on constate que la voie sèche génère plus d'impacts par rapport à la voie humide, sauf la catégorie effet de serre (réchauffement global). Ceci est dû au dégagement important des gaz carboniques notamment le dioxyde de carbone, qui est le résultat de la combustion du gaz naturel et l'utilisation d'une quantité importante à la fois du gaz et d'électricité, c'est le cas de la voie humide où on consomme plus d'énergie et d'électricité par rapport à la voie sèche, cette énergie est nécessaire pour évaporer la quantité d'eau ajoutée pour avoir le slurry dans le cas de la voie humide.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

Selon une étude menée par Denis .S et al [29], il a été démontré que pour un même volume de production, la voie humide émet le CO₂ à environ 30% plus que la voie sèche (en supposant que dans le four, il y a uniquement la combustion du charbon).

Selon une étude réalisée par SELL N.J. et al en 1976 [115], sur la conservation d'énergie et l'utilisation des déchets dans le four rotatif humide utilisée pour l'industrie du ciment, ils ont constaté que le majeur problème de l'industrie du ciment est la conservation d'énergie, notamment pour la voie humide, où il y a ajout environ 25 à 50% d'eau aux matières premières afin de former le slurry (mixture). Dans le four ces matières subissent une succession de réactions voir la déshydratation, calcination et dégazéification lors de processus de clinckérisation. Cette succession de réaction, permet de réduire la quantité de l'énergie perdue, par la transformation de la chaleur du système de sortie de l'air, aux matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini, et par voie de conséquence la réduction des pertes d'énergie et de quantité de déchets formée.

La quantité des déchets produits par le processus, varie de 0,05 à 0,5 / poids de clincker. Ces derniers sont collectés par précipitation électrostatique qui consomme environ 0,4% d'énergie utilisée pour la production du ciment.

La formation des déchets, notamment la poussière, est considérée comme pollution particulaire contribuant à un impact appelé respiration inorganique.

Par cette étude, il a été aussi constaté, qu'il y a une relation importante entre la quantité d'eau ajoutée pour la formation du slurry et la consommation d'énergie ainsi que la quantité de déchets produite par kilogramme de clincker.

Par la suite, ils ont constaté que l'augmentation de la quantité d'eau, permet de réduire la quantité de déchets produite, d'où un effet considérable sur la conservation d'énergie. Comme ils ont pu estimer que pour une consommation de 1,6 MJ / Kg de clincker, il y a réduction d'environ 10% de quantité de déchets, de même pour 4,6 MJ / Kg de clincker il y a réduction de 40% de déchets.

Comme il a été trouvé pour l'usage de 1,35 MJ d'électricité / Kg de clincker, il y a diminution d'environ 17% d'utilisation des matières premières, avec conservation de 0,91 MJ d'énergie par Kg de clincker dans le cas de processus à voie humide.

Selon une étude a été réalisée par Enrico.Benetto et al en 2004 [132], porté sur l'analyse de cycle de vie d'un combustible fossile (fossil fuel) (Coal Ash = S_iAlCaS) et pour une combustion de charbon à 68%, et SRC (Selective Catalytic Reduction) à 32%, capturé par la monoéthylamine (MEA).

Par cette réaction de combustion, l'eau est séparée du flux gazeux à 50°C et 101KPa par MEA, conduit à une réduction de 77,6% de CO₂ pur à 96,5%, ce qui veut dire que l'émission de CO₂ est fonction du carburant utilisé.

Dans cette étude (où il y a capture de l'eau par MEA), les impacts suivants sont détectés :

- 1- *Effet de serre* ; il est dû principalement à la production du gaz naturel et la combustion des sulfures contenus dans les huiles, ce qui coïncide avec le cas étudié où il y a une consommation assez considérable des huiles (voir l'inventaire).
- 2- *Formation d'oxydants photochimique* ; due aux émissions lors de la combustion du carburant, émission du SO₂ émet par la combustion du gaz, extraction du gaz naturel, combustion du SO₂ dans les huiles.
- 3- *Acidification* ; due aux émissions des acides tels que : HCl...lors de combustion du gaz, émission du SO₂ contenu dans les huiles utilisées.
- 4- *Eutrophisation* ; due aux émissions des NO_x lors de la combustion du gaz, combustion du diesel et utilisation d'électricité.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

- 5- *Toxicité humaine* ; due à la lixiviation des métaux lourds suite à la combustion du gaz, émission du SO₂ lors de la combustion du gaz et l'utilisation d'électricité pour capter les NO_x et CO₂.
- 6- *Eco Toxicité* ; due à la consommation d'électricité, aux émissions des SO_x ainsi qu'à la combustion des huiles (sulfures).
- 7- *Domage pour la santé humaine* ; par la respiration des substances inorganiques.
- 8- *Eco système quality* ; causée par la combustion des sulfures dans les huiles, décarbonatation du calcaire et l'acidification, l'eutrophisation.

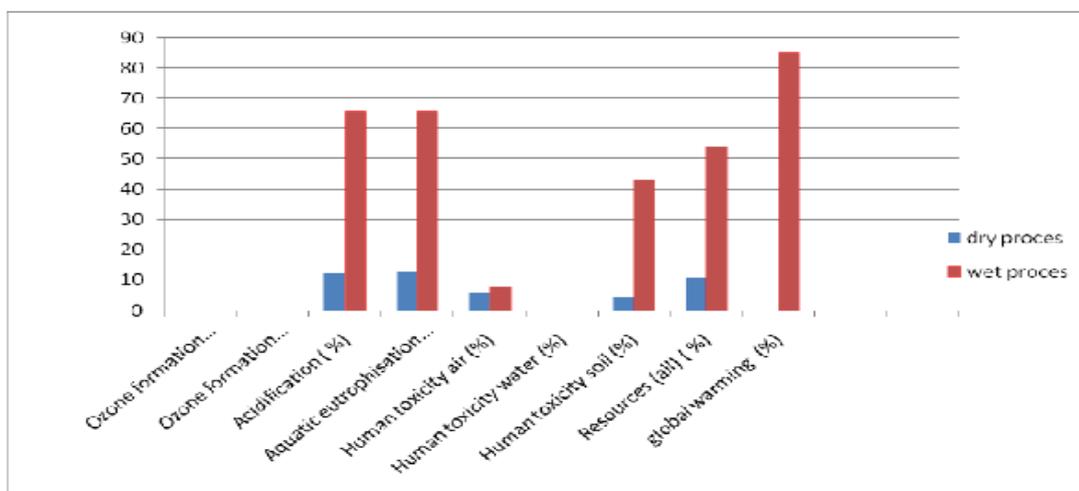
Selon l'étude réalisée par Guillaume Habert [133] de l'université de paris, pour l'application de la démarche ACV du processus de fabrication du ciment, en utilisant la méthode CML, ont pu montrer que les composés du ciment contribuent aux impacts suivants :

- 97% Consommation d'énergie (MJ)
- 96% Toxicité humaine (1,4 Kg DB)
- 85% Diminution abiotique (Kg Sb)
- 93% Toxicité des rivières (eau) [1,4 Kg DB]
- 90% Toxicité des rivières (sédiment) [1,4 Kg DB]
- 98% Toxicité du sol [1,4 Kg DB]
- 95% Acidification (Kg SO₂)
- 90% Eutrophisation (Kg PO₄³⁻)
- 99% Changement climatique (Kg CO₂)
- 99% Formation d'oxydants photochimiques (Kg C₂H₄)
- 80% Dégradation de la couche d'ozone [Kg CFC 11]

Par cette étude, Ils ont proposé l'amélioration des performances des procédés utilisés pour la cuisson, notamment par usage des voies sèches, qui permettra de réduire l'émission du CO₂ jusqu'à environ 0,6T de CO₂/ T de ciment et une économie de 0,02 T CO₂/ T clinker.

Selon la démarche ACV, il est possible de déterminer la contribution de certains éléments aux catégories d'impacts générés par les deux processus de fabrication et de faire une étude comparative, les figures 36, 37 et 38 résument ces contributions selon les catégories d'impacts.

Figure N°39 : Etude comparative d'impact VS/VH



Suite aux résultats obtenus et l'étude comparative entre les deux types de processus de fabrication voie humide et voie sèche, par l'application de la démarche ACV et la méthode d'évaluation EDIP 2003, on peut déterminer les impacts engendrés par un mètre cube d'eau utilisé en quantité importante dans la voie humide. Cette différence est rapportée à une unité de

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

mètre cube d'eau, qui peut engendrer les impacts suivants en terme de quantité rapportée en unité de référence, les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau N°46 : Impacts générés par un mètre cube d'eau

Catégories d'impact	Unité	Résultats
Réchauffement global	Eq kg CO ₂	489.91
Formation d'ozone (végétation)	m ² .ppm.h	6.11
Formation d'ozone (humaine)	Personne.ppm.h	0.0005
Acidification	m ²	3.53
Eutrophisation aquatique EP(N)	Kg N	0.04
Toxicité humaine (air)	m ³	5.26
Toxicité humaine (eau)	m ³	0.003
Toxicité humaine (sol)	m ³	1.2
Ressources	Kg	0.002

Remarque : Les figures du 21 au 38 sont portées en annexe

IV. Etude comparative des méthodes d'évaluation environnemental et l'ACV

En matière d'environnement, la cimenterie, peut engendrer divers impacts liés à la consommation de matières premières, d'électricité, espace, rejet vers l'air, l'eau et déchets. Cette dernière peut porter atteinte au voisinage, engendrer des modifications de la biodiversité notamment le végétal et autre effet néfastes sur la santé humaine.

Ces différentes nuisances ont été déterminées par les différentes méthodes d'évaluation environnementale et la démarche ACV, dont nous constatons que par le biais des méthodes classiques utilisées, on a pu évaluer les impacts qualitativement en déterminant l'aspect environnemental ainsi que son impact engendré par les différentes émissions ; dans l'air, rejet liquide, déchets. Les nuisances sonores sont aussi générées suite aux procédés d'extraction des matières premières par abatage ou tire aux explosif, leur concassage, leurs broyage et leur cuisson par des matériels générant un bruit très intense ont été aussi évalués.

Ces impacts sont déterminés d'une façon analytique, leur absence ou présence, selon leur intensité, dans le but d'une détermination représentative, quantitative des impacts environnementaux évalués par les méthodes classiques, nous avons recours à la démarche ACV, qui permet de les étudier tous au long du cycle de vie de produit ; depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à l'obtention de produit fini et son expédition.

Pour le cas d'utilisation des matières premières (obtention de cru) selon l'*audit par exemple*, il a été rapporté que cette étape peut générer des émissions de poussières pouvant engendrer des perturbations sur la santé humaine dans le système respiratoire par inhalation, des nuisances sonores provoquant une surdité et perturbation du voisinage (habitants et locaux), compte aux émissions gazeuses, elles peuvent engendrer des gênes respiratoires chez l'être humain, et détérioration de la végétation et même disparition de quelques espèces végétale.

Toutes ces catégories de dommage ont été évaluées par la démarche ACV, en les transformant en quantité d'impacts rapportés à une unité de mesure d'un élément responsable de la génération d'une catégorie d'impact issue d'une catégorie de dommage.

Pour le cas des émissions gazeuses, l'ACV les a exprimé en un impact réchauffement global (global warming) et a recherché l'origine de cet impact, qui sont généralement des gaz à effet de serre tel que ; le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone exprimé en quantité de contribution rapporté en équivalent kg de CO₂.

1. Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

L'effet sur la végétation est aussi déterminé par la méthode ACV, la formation d'ozone et acidification exprimé en une unité de surface pouvant être provoqué par les acides gazeux contribuant à ces catégories d'impact.

Selon une étude menée par Thomas Marthaud dans son sujet de thèse doctorat porté sur l'évaluation environnementale de l'exploitation d'une carrière [134], a utilisé deux méthodes d'évaluation environnementales, la première est l'évaluation de la performance environnementale EPE (outil de management environnementale) et l'ACV. Dans ces résultats il a pu conclure que l'EPE ne prend pas en considération les étapes de cycle de vie du produit hors site puisque c'est la méthode qui s'intéresse aux aspects du site, qui ne sont pas pris par l'ACV tels que ; les installations et les procédures. Il considère que l'EPE est la méthode complémentaire de l'ACV.

L'EPE est un processus visant à appuyer les décisions de la direction à appréhender le niveau de la performance environnementale d'un organisme en identifiant les point à améliorer (AFNOR 2000, ISO 14031).

Tandis que l'ACV est employée pour déterminer les impacts environnementaux potentiels tous au long du cycle de vie de produit et la prise en compte des interactions de produit et de l'environnement. C'est une évaluation de toutes les étapes ou opérations qui se rapportent à un produit, à un procédé ou une activité.

Le tableau suivant résume les différences entre les outils d'évaluation environnementales classiques et la démarche ACV utilisée dans notre cas.

Tableau N° 47 : Comparaison des méthodes d'évaluation environnementale classique et ACV

<i>Méthodes</i>	<i>Caractéristiques</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<i>Matrice d'impacts</i>	<ul style="list-style-type: none"> -présentation synthétique -tableau bidimensionnelle facilitant l'identification des impacts -analyse des effets directs -adapté pour les pré-études d'impact 	<ul style="list-style-type: none"> - appréciation qualitative + ou -, faible, moyens, fort 	
<i>Matrice de Léopod</i>	<ul style="list-style-type: none"> -grille à double entrée (groupe d'activité et catégories d'éléments) -101 activités humaines - 86 éléments de l'environnement -8686 cas d'interactions possibles - intensité de l'impact (de 1 à 10, +ou -) -importance relative à l'impact (1à10) 	<ul style="list-style-type: none"> -approche systématique des impacts des projets complexes -présentation compréhensible 	<ul style="list-style-type: none"> -étendue de l'échelle de cotation -impacts secondaires non pris en compte -liste des éléments humains incomplète -ne tiens pas compte des aspects Temporels, spatiaux et cumulatifs
<i>Méthode multi critère d'aide à la décision</i>	<ul style="list-style-type: none"> -démarche de prise de décision en évaluation environnementale, -l'information peut être de nature qualitative (un commentaire ou une description) ou de nature quantitative (valeurs d'indicateurs), de nature ordinale (des rangs de performance, des 	<ul style="list-style-type: none"> -permet de choisir la meilleure action (procédure de sélection) - de trier les actions d'après leur valeur intrinsèque (procédure de segmentation) - de ranger les actions selon un ordre de préférence décroissante (procédure de classement) 	<ul style="list-style-type: none"> -méthode trop longue - utilise environ huit étapes

1 .Evaluation environnementale de l'industrie cimentière

	<i>échelles...), pondérée (chaque critère est pondéré par rapport aux autres).</i>	<i>- de décrire les actions ou leurs conséquences de façon systématique et formalisée (procédure cognitive),</i>	
Audit système management environnemental	<ul style="list-style-type: none"> -Démarche imposée par réglementation -Démarche imposée ou volontaire -Analyse de l'état initial du site -Analyse des effets directs, indirects, temporaires et permanents des installations Sur l'environnement, sécurité publique.... -Améliorer les performances techniques de production et la qualité de l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> -Facilite le contrôle opérationnel ayant des incidents sur l'environnement -Mettre en évidence les effets négatifs avec apport des corrections -Examen interne, systématique, périodique et objectifs des pratiques de gestion environnementale 	<ul style="list-style-type: none"> -méthode qualitative des impacts - ne relève pas les éléments contribuant aux impacts - méthode aussi longue pour la réalisation de l'étude
La démarche ACV	<ul style="list-style-type: none"> -Démarche imposée par normalisation -Evalue la charge environnementale d'un produit ou d'une activité -Evalue, quantifie et hiérarchise les impacts avérés ou supposés sur l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> -Analyse des impacts potentiels du berceau à la tombe -Intéressante dans la perspective de durabilité -Déterminante des éléments contribuant aux impacts -Permet de réaliser des études comparatives -Disponibilité de plusieurs méthodes d'évaluation normalisées 	<ul style="list-style-type: none"> -Les résultats dépendent de la qualité des données -Difficulté d'obtention des données fiables -La récolte des données est très coûteuse -ACV nécessite beaucoup de temps, de donnée et de moyen humains, ce type d'étude et donc limité à des décideurs qui en ont les moyens ou une forte motivation.

	<p><i>-Les bilans entrants et sortants et les impacts sont rapportés en une unité fonctionnelle exprimée en une unité représentative de la catégorie d'impact d'un élément conventionnel</i></p> <p><i>-Permet d'intégrer les facteurs externes (politiques, sociaux, technologiques...)</i></p> <p><i>-Possibilité d'utilisation des outils numériques</i></p> <p><i>-Possibilité de calcul monétaire</i></p>	<p><i>-l'ACV peut être influencée par la personne qui la réalise, en niveau du choix des hypothèses, de la méthode de calculs d'impacts une vigilance particulière doit donc être maintenue en termes de validation et de publication des résultats</i></p> <p><i>-l'ACV n'intègre actuellement pas les aspects sociaux et économiques, ce qui constitue un obstacle à l'essor de l'ACV, dans la mesure où les décideurs attendent de plus en plus des repenses communes aux trois enjeux du développement durable : environnement, économie et social</i></p> <p><i>-L'ACV n'évalue pas les nuisances du moins aucune méthode ne permet actuellement d'évaluer le bruit ou les odeurs.</i></p>
--	--	---

Conclusion

Selon les résultats obtenus par les outils d'évaluation environnementale classiques ; l'audit SME, de matrice d'impact, et de l'ACV, nous constatons que la méthode ACV est la plus représentative, puisqu'elle permet d'évaluer les différents impacts qualitativement et quantitativement, et la contribution des éléments constitutants ou émis aux impacts.

Les autres méthodes nous n'ont donné que des notions qualitatives sur la probabilité que l'impact se produit, alors que L'ACV a pu les qualifier et les quantifier en les rapportant en une unité de mesure relative à une catégorie d'impact issue d'une catégorie de dommage.

Cette dernière (l'ACV), par ses avantages notamment l'existence de diverses méthodes d'évaluation, nous a permis aussi de déterminer les éléments contribuant à chaque catégorie d'impact, exprimé en quantité de chacun. Elle nous a permis de déterminer le taux de contribution des émissions atmosphériques à certaines catégories d'impacts, de déterminer les impacts engendrés par l'utilisation d'un mètre cube d'eau dans la fabrication du ciment, ainsi que de faire une étude comparative entre deux processus de fabrication différents (voie humide et voie sèche).

C'est donc l'avantage que ne possèdent pas les autres méthodes, elle nous permet d'agir en faisant les interventions qu'il faut à un niveau bien défini (c'est-à-dire intervenir sur l'élément responsable de l'impact), soit par des mesures correctives, ou par modification.

L'ACV est donc une méthode d'aide à la décision, dont il est très utile de l'utiliser dans le but de l'amélioration des performances environnementales et de leur gestion, toute en se basant sur la réduction de la pollution d'une façon continue.

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

I. Introduction

Les tensioactifs notamment sont devenus des composés omniprésents dans l'industrie et dans la vie domestique : on les retrouve autant dans les préparations nettoyantes, qu'elles soient destinées à un usage industriel, à notre machine à laver ou encore à notre salle de bain, que dans les médicaments, l'alimentation, et en synthèse chimique [135]. Leur présence abondante dans les produits domestiques et médicaux en particulier a exigé l'étude approfondie de leur impact potentiel sur la santé humaine de la part des grands fabricants, rendant la littérature scientifique abondante à ce sujet [42].

Les tensioactifs anioniques qui représentent 80 à 90 % de la totalité des détergents mis sur le marché sont de bons traceurs de la pollution d'origine urbaine. L'accroissement, de plus de 500 % en dix ans, de l'utilisation des détergents synthétiques explique les concentrations élevées qu'il n'est pas rare de rencontrer dans les eaux d'égout : 10 -15mg/l. Une partie de ces égouts se déversent sans épuration préalable dans les cours d'eau.

L'industriel prenait en considération la demande du consommateur en lui assurant la quantité, le prix et la variété des gammes de produits. Mais actuellement l'industriel doit prendre en considération la demande de la société notamment la réduction des impacts sur l'environnement et la consommation d'énergie. Elle doit donc soulever un défi entre la garantie de produit qualité et quantité et la préservation de l'environnement.

II. Présentation de l'industrie de détergence

Les tensioactifs entrent dans la formulation des tous détergents, ils représentent en moyenne 20 % de leur composition. Le tensioactif est adapté à l'usage et à l'aspect souhaité pour le détergent, il peut se présenter sous forme de poudre ou liquide. Il faut distinguer entre la détergence ménagère et la détergence professionnelle [136].

Cette dernière concerne spécifiquement les industries et les institutions (écoles, hôpitaux, etc.). La détergence ménagères, quant à elle, regroupe plusieurs grandes classes de produits : les lessives, les adoucissants, et les produits d'entretien.

L'industrie en question est l'une des entreprises algériennes leaders dans la production de tous types de détergents à savoir toutes formes liquides destinés au lavage de ; vaisselles, sol, linge, multi usage, sanitaire, auto, vitre.... Et forme poudre destiné au lavage linge ainsi que les formes liquides désinfectantes tel que : eau de javel, gels désinfectants...il s'agit du groupe GSIPH sis dans la zone industrielles Rouiba, ce dernier a une capacité de production importante dont environ 35 tonnes de produits fini liquide vaisselle et multi usage, 25 tonnes de poudre détergentes pour lave-linge à main et machine. 15 tonnes de produits désinfectants (Eau de javel) et autres gamme de produits (décape four, détartrants, esprit de sel...) dépassant les 10 tonnes par jour. Avec plus de 200 ouvriers, cette usine est douée de trois laboratoires d'analyse physico chimique pour chaque forme de produit (liquide et poudre) et d'un laboratoire de recherche et développement avec emploi des chimistes qualifiés.

III. Application de la démarche ACV

Pour pouvoir appliquer cette démarche, il est primordiale de définir : l'objectif et champs d'application, l'unité fonctionnelle, et d'établir un inventaire de données.

a. Objectifs et champs d'application

L'enjeu majeur de l'utilisation de l'ACV dans ce cas est d'identifier, de quantifier les impacts potentiels ainsi de déterminer leurs principales sources afin d'arbitrer les déplacements

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

de pollutions liés aux différentes alternatives envisagées. Autrement dit c'est de déterminer la contribution des éléments constitutifs ou autres aux impacts engendrés ainsi de faire une étude comparative.

L'ACV est appliquée dans ce cas uniquement au processus de fabrication depuis l'utilisation des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini, sans tenir compte du scénario du transport, d'utilisation, de traitement, ou de recyclage. Ce qui est compatible avec l'objectif visé, tous en ayant recours au logiciel SimaPro 7.1 (Pré consultant 2008), ce dernier est conçu dans le but de modéliser les filières, recenser les flux, établir les inventaires et calculer les impacts à partir de différentes méthodes de calculs d'impacts. Dans ce cas on a utilisé l'EDIP 2003 comme méthode d'évaluation, et ce dans le but de faire par une étude comparative, dont la première s'agit d'une comparaison de deux produits de même forme pour un même processus avec une légère différence de composition. La seconde est la comparaison entre deux produits pour un même usage, de composition et de processus totalement différents.

b. L'unité fonctionnelle

C'est un élément de mesure qui permet de quantifier la fonction remplie par le produit étudié, dans ce cas elle est rapportée à une production d'une tonne de produit fini.

c. Qualité des données et réalisation de l'inventaire

Les données utilisées dans ce cas, sont issues des deux usines en faisant la collection de toutes les données disponibles et en faisant des analyses et calcule et en cas nécessitez on a recours à la base de données de ce logiciel qui reflète bien sur la réalité de la donnée recherchée notamment le gaz et l'électricité.

Les données collectées nous a permis d'établir l'inventaire, qui représente une étape primordiale pour pouvoir réaliser cette application.

A- Forme liquide : vaisselle et multi usage

L'inventaire des données collectées est illustré dans le tableau N°48

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

Tableau N° 48 : Inventaire des données de production liquide vaisselle et multi usage

Consommation matières premières (kg)	Multi usage	Liquide vaisselle
LAS (linear alkyl benzene sulfonate)	21.207	27.455
AES (alkyl ether sulfonate)	26.414	32.189
Hydroxyde de Sodium (NaOH)	0.526	0.681
Chlorure de sodium (NaCl)	4.260	3.806
Parfum	1.230	1.136
Formaldéhyde	0.662	0.662
Alcool gras éthoxylé (NI 7)	3.787	0
Dequest (agent séquestrant)	0.568	0
Jaune Tartrazine	0.153	0.153
Acide Acétique	0.037	0.037
Consommation d'emballage		
Cartons cellulose (Kg)	50.0	33.33
Etiquettes (plastique) (Kg)	3.60	2.40
Bouchons (PEHD) (Kg)	4.80	3.20
Bouteilles (PET) (Kg)	48	32
Consommation d'énergie		
Electricité (KWh)	32.14	21.43
Eau (m ³)	941.18	932.89
Paramètres d'émission (Effluent liquide)		
Température (°C)	20	20
Ph	9.07	10.30
DCO (mg d'O ₂ / l)	983.00	1440.00
DBO ₅ (mg d'O ₂ / l)	103.33	400.00
LAS (g/l)	1.96	2.018
AES (g/l)	0.650	0.710
NI 7 (g/l)	0.068	0
Turbidité (NTU)	71.11	5.93
O ₂ dissous (mg/l)	13.32	10.92
Phosphate (mg/l)	76.00	33.00
Sulfate (mg/l)	800.00	1400.00
Nitrate (mg/l)	30.00	30.00
TDS (total des sels dissouts) (g/l)	3.45	4.09
Déchets générés		
Carton cellulose (kg)	5	10
Plastique (kg)	2	1.5

c.1)- Comparaison des consommations des matières premières MU/LV

Le tableau suivant résume les consommations des tensio-actifs nécessaires pour la production d'une tonne de produit fini de forme liquide.

Tableau N° 49 : Comparaison des taux de consommation des tensio-actifs MU/LV

Consommation des tensio-actifs (%)	Multi usage	Liquide vaisselle
LAS (linear alkyl benzene sulfonate)	51.42	46.03
AES (alkyl ether sulfonate)	51.38	53.97
Alcool gras éthoxylé (NI 7)	7.36	0

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

Selon le tableau 49, nous constatons que le multi usage, utilise trois tension actifs important dont deux LAS, AES de type anionique avec un taux égale à 51% et l'un de type non ionique NI07 utilisé à 7%, tandis que liquide vaisselle utilise uniquement les tensioactifs anionique, sans utiliser le non ionique

c.2)- Comparaison des consommations d'emballage MU/LV

Tableau N°50 : Comparaison des consommations d'emballage MU/LV

Consommation des tensio-actifs (%)	Multi usage	Liquide vaisselle
Carton cellulose	47	46.99
Etiquettes plastiques	3.4	3.38
Bouchons PEHD	4.51	4.511
Bouteilles PET	54 .11	45 .11

Selon ces résultats, nous constatons que l'ensemble des consommations est identique pour les deux produits avec dominance des bouteilles et du carton nécessaire pour la mise à l'emballage.

c.3)- Comparaison des consommations énergétiques

Les énergies consommées principalement dans ce processus, sont l'électricité qui est nécessaire pour le fonctionnement des machines et de l'eau destinée pour la préparation, nettoyage (voir tableau inventaire et figure 42).

c.4)- Comparaison des rejets - multi usage et liquide vaisselle-

Parmi les caractéristiques principales des effluents liquides de cette industrie, est la présence des tensio-actifs avec une charge polluante aussi importante exprimée en DBO et DCO. Ce rejet est aussi porteur de trace des nitrates, sulfate et phosphate. Dont la charge polluante est très importante dans le cas de liquide vaisselle par rapport au multi usage. Les figures suivantes (43, 44, 45) résumant les comparaisons entre les deux produits en terme de rejet liquide.

Tableau N°51 : Comparaison des rejets - les tensio-actifs-

Rejet des tensio-actifs (%)	Multi usage	Liquide vaisselle
LAS	9.24	7.35
AES	2.46	2.2
NI	1.8	0

Selon le tableau 51, nous constatons que les tensions actifs sont fortement présents dans les rejets de liquide multi usage, notamment le tensio-actif anionique (LAS), qui entre dans la composition à environ 51.41% de la totalité des tensio-actifs utilisés dans la formulation, alors que 9.24% ce dernier est rejetée dans l'effluent liquide sans aucun traitement.

La présence de ces derniers dans les rejets liquides, s'accompagne d'une présence considérable des sulfates, ils sont de l'ordre de 1400mg/l par rapport à 800mg/l, un taux égal à **1.75%** (voir figure 44 en annexe). Une présence considérable des phosphates et nitrates, ceux-ci sont des produits de dégradation des tensio-actifs utilisés.

La figure 45 en annexe illustre la comparaison de la charge polluante organique (DBO et DCO).

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

d. Evaluation des impacts

Pour déterminer les impacts potentiels générés par la production d'une forme liquide, destinée pour lavage de la vaisselle et un autre pour divers usage, on a utilisé la méthode d'évaluation EDIP 2003 qui reflètera les impacts générés par cette production, et qui permettra de déterminer les éléments contribuant aux impacts générés.

Pour la détermination des impacts potentiels générés par chaque production, il est primordial d'établir un inventaire des données entrantes et sortantes pour chaque processus, afin que le logiciel utilisé fonctionne correctement.

Les résultats des catégories d'impacts générés ainsi que les éléments contribuant sont illustrés respectivement dans les tableaux N°52 et 53.

Pour ces deux cas, quatre impacts importants ont été générés voir :

- Eutrophisation aquatique due au nitrate exprimée en kg de N.
- Eutrophisation aquatique due au phosphate exprimée en kg de P.
- Toxicité humaine par l'eau exprimée en m³.
- Gros déchets exprimé en kg.

Tableau N°52 : Les catégories d'impacts générées multi usage et liquide vaisselle

Catégories d'impact	Unité	Multi usage	Liquide vaisselle
Eutrophisation aquatique EP(N)	Kg N	4.07 E-6	4.07 E-6
Eutrophisation aquatique(P)	Kg P	2.21 E-5	9.58 E-6
Toxicité humaine (eau)	m ³	0.105	0.00738
Gros déchets	Kg	07.00	11.5

Tableau N° 53 : Eléments contribuant aux catégories d'impacts générées LV et MU

Catégories d'impact	Eléments contribuant	Unité	Multi usage	Liquide vaisselle
Eutrophication aquatique EP(N)	Nitrate	Kg N	4.07 E-6	4.07E -6
Eutrophication aquatique EP(P)	Phosphate	Kg P	2.21 E-5	9.58E -6
Toxicité humaine (eau)	Alkyl ether sulfate(C12 - C14)(AES)	m ³	0.00178	0.00211
	Alcool gras éthoxylé (NI)	m ³	0.103	0
	Linéaire alkyl benzène sulfonâtes	m ³	0	0.00528
Gros déchets	Déchets Carton	Kg	5.00	10
	Déchets Plastique	Kg	2.00	1.5

Interprétation des résultats

Selon les résultats illustrés dans les tableaux N°52 et 53 on constate que les nitrates ont une contribution égale à 4.07E-6 Kg N pour l'impact eutrophisation aquatique dans les cas liquide vaisselle et multi usage. Tandis que les phosphates contribuent fortement à cette impact dans le

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

cas de multi usage que dans liquide vaisselle, car on a consommé pour multi usage à la fois deux tensioactifs anioniques (LAS, AES) et un non ionique NI7 avec un agent séquestrant (Déquest), ce dernier dans sa composition contient des nitrates et phosphate qui sont détectés dans le rejet.

Cette différence d'impact est en rapport directe avec le changement de formule de produits fini, ainsi que la biodégradation de matières organiques.

Selon le travail établi par Joost et Gert VH et al [137], ont démontré que l'étape de formulation de différentes formes liquide pour divers usages, contribue de 7% jusqu'à 15% de cet impact. L'étude de Pittinger (1991) [138] a identifié cinq constituants majeur de l'émission atmosphérique voir : poussières, hydrocarbure, NO_x, SO₂, et CO₂ dont uniquement les NO_x et CO₂ participe au réchauffement global par leurs effet de serre. En plus pour les émissions dans l'eau tel que : les solides dissouts, la DBO, DCO, les acides, phosphore et nitrogène peuvent provoquer l'impact d'eutrophisation et d'acidification.

La production d'un détergent liquide destiné pour un multi usage et à la vaisselle, peut engendrer l'impact de toxicité humaine via l'eau surtout quand il s'agit d'un rejet sans aucun traitement dans la nature. Dans notre cas on constate que le multi usage est le plus polluant que liquide vaisselle, cet impact est dû principalement aux tensio-actifs anioniques (LAS et AES) pour liquide vaisselle et aux AES à 0.00178 m³ soit (1.7%) et le non ionique NI7 à 0.103 m³ soit (98.3%) de la totalité de cet impact pour multi usage.

Dans le cas de liquide vaisselle, on n'a pas utilisé le non ionique (fatty alcoholethoxylate) qui ne figure pas dans la liste des éléments contribuant.

La présence des tensio-actifs dans les effluents est la conséquence du rejet sans aucun traitement préalable, d'où la formation de mousse dans les cours d'eau, ces derniers entraînent une prolifération d'écumes denses et stables à la surface des eaux.

Des études réalisées sur les rivières et les littorales, ont trouvé des concentrations des surfactants anioniques d'ordre de µg/l. Des non ioniques ont été détectés dans les effluents des usines à des concentrations allant de 1 à 30 µg/l [139].

Ces composés sont peu toxiques vis à vis des bactéries, des algues, des poissons et autres organismes aquatiques, à des concentrations demeure inférieure à 3 mg/L. Néanmoins leur accumulation implique une toxicité non négligeable présentant de ce fait, un réel danger pour l'environnement.

La biodégradation primaire qui fait perdre à la molécule sa tensioactivité ne l'élimine pas totalement du milieu. Donc même si on élimine les nuisances dues aux détergents, le problème reste posé quant aux nuisances causées par des métabolites dans le milieu naturel.

Pour les tensioactifs pétrochimiques comme le Sulfonates d'Alkyle Benzène linéaire (LAS), la biodégradation finale dans certaines conditions (anaérobie) n'est pas complète, ce qui libère des molécules intermédiaires qui pourraient être toxiques pour l'environnement. Il faut noter que les conditions réelles dans l'environnement ne sont pas toujours optimales et que même en aérobie, les tensioactifs peuvent ne pas se biodégrader complètement. La nature ne reproduit donc pas les conditions requises dans les normes ce qui permet aux pétrochimistes d'affirmer que leurs produits sont également biodégradables. Or, la campagne de dosage des tensioactifs dans les réseaux hydrographiques de wallons, a démontré des concentrations élevées en tensioactifs (LAS) de l'ordre de 3,5 à 14 ppm à certains endroits [140].

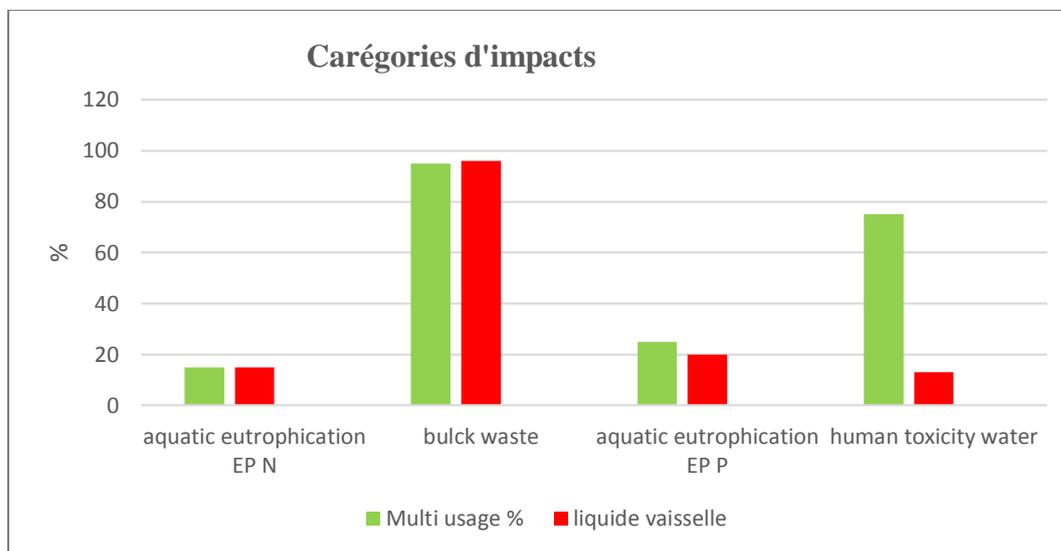
Le problème de biodégradation des surfactants a été soulevé depuis l'année 1940, dont le premier surfactant synthétique commercialisé TBS (Tetrapropylène alkyl benzene sulfonate) a été vite remplacé par le savon dans les détergents linges, qui est lui-même un surfactant, et qui est biodégradable, tandis que le TBS dans les rivières, est entouré par la mousse et devient non

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

biodégradable dans les stations de traitement [141]. Dans le milieu aquatique, les surfactants ont un effet toxique très remarquable sur différentes espèces citons par exemple :

- LAS a un effet toxique sur les poissons, les daphnies et les algues respectivement à des concentrations allant de : 3-10, 8-20, 30-300mg/L.
- AES aussi respectivement sur les mêmes espèces : 14-20, 1-50 et 65 mg/l. [141]

Figure N° 46 : Comparaison des catégories d'impact de détergent liquide



Une étude a été menée par Tibor et al [142] sur l'activité biologique des surfactants sur les membranes cellulaires, sur l'activité des enzymes et des protéines ainsi que leurs toxicités humaines, comme ils ont discuté les avantages et les effets négatifs des surfactants sur l'environnement. Ces derniers ont conclu que le rôle des surfactants dans l'environnement est très équivoque : ils peuvent engendrer des effets néfastes sur l'environnement et les organismes vivants, comme ils peuvent provoquer soit la décomposition, et /ou le déplacement de la pollution organique ou inorganique dans l'environnement. La relation entre la structure chimique, les propriétés physico chimiques des surfactants et l'activité biologique ainsi que l'impact sur l'environnement reste indéterminée du faite que peu de données disponibles sur le sujet apportent les mêmes auteurs.

Bénéficiant des avantages de la démarche ACV, dans notre cas on peut exploiter les résultats obtenus pour pouvoir déterminer :

- % de contribution des tensio-actifs aux impacts (dans ce cas impact toxicité humaine par l'eau).
 - La contribution de 1g de tensio-actif à l'impact toxicité humaine par l'eau
 - Contribution des sulfates et nitrates à l'impact eutrophisation aquatique
- Les tableaux 54 et 55 et figures 47, 48, résumant la contribution des tensio-actifs et 1g de tensio-actif à l'impact toxicité humaine respectivement.

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

Tableau N°54 : Contribution des tensio-actifs à la toxicité humaine par l'eau

<i>% de contribution des tensio-actifs / Impact toxicité humaine (eau)</i>	<i>Multi usage</i>	<i>Liquide vaisselle</i>
LAS	0	71.35
AES	1.7	28.51
NI	98.1	0

Tableau N°55 : Taux de contribution de rejet de 1g/l de tensio-actif utilisé à la toxicité humaine par l'eau

<i>% de contribution des tensio-actifs / Impact toxicité humaine (eau)</i>	<i>Multi usage</i>	<i>Liquide vaisselle</i>
LAS	0	35.35
AES	0.867	40.16
NI	14.4	0

Selon le tableau 54, nous constatons que la plupart des tensio-actifs ; anionique ou non ionique contribuent grandement à l'impact toxicité humaine par l'eau, dont le LAS et AES ont une forte contribution à cet impact, respectivement ; 35% et 40% dans le cas de liquide vaisselle. Quant aux nitrates et phosphates, qui sont des produits de dégradation, contribuent à l'impact eutrophisation aquatique, la figure 49 résume cette contribution.

B- Détergents linge : forme liquide et poudre

Pour les deux formes de détergent destiné au lavage linge, présenté sous deux formes liquide et poudre, nous avons appliqué la démarche ACV dont les impacts ont été déterminés par la méthode EDIP 2003 (V1, 00), dont l'inventaire des données, est illustré dans le tableau N° 56.

Selon l'inventaire de données établis pour les deux produits (liquide et poudre linge), on constate une importante consommation de tensions actives : anionique LAS et non ionique NI7 pour les deux cas.

Les autres constituants tels que ; les carbonates de Na, sulfate de Na, perborate de Na, silicate de Na, zéolites, enzymes et TAED sont utilisés uniquement dans la formulation de la forme poudre linge, accompagné d'une forte consommation d'énergie électrique et génération d'une quantité importante des phosphate, sulfates, et DCO, pour ce même cas comparativement à la forme liquide.

B.1. Comparaison des inventaires liquide linge et poudre linge

B.1.1 consommation des tensioactifs (LL/PL)

Le tableau 57 et la figure 50, résument le taux de consommation des tensioactifs pour la formulation d'un détergent linge.

Tableau N° 57 : Taux de consommation des tensioactifs LL/PL

<i>% tensio-actifs</i>	<i>Poudre linge (PL)</i>	<i>Liquide linge (LL)</i>
LAS	99.9	74.94
NI	0.1	25.06

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

Tableau N° 56 : Inventaire des données de production d'un détergent linge
Liquide linge et poudre linge

Consommation de matières premières (kg)	Poudre linge	Liquide linge
LAS (linear alkyl benzene sulfonate)	72	44.5
Hydroxyde de sodium (NaOH)	9	26.14
Chlorure de sodium (NaCl)	0	16.34
Parfum	2.16	6.63
Formaldéhyde	0	2.86
Fatty alcohol ethoxylate (NI 7)	7.2	14.88
Acide Stéarique	9	7.96
Hydro nacré	0	6.63
Jaune tartrazine	0	0.05
Carbonate de sodium	90	0
Sulfate de sodium	251.98	0
Perborate de sodium	72	0
TAED	18	0
Enzymes	3.6	0
Silicate de sodium	59.4	0
Azurant optique CBSX	0.72	0
Zéolites	108	0
STPP	108	0
Consommation d'emballage		
Cartons cellulose (Kg)	404	104.49
Etiquettes (plastics) (Kg)	4.65	4.64
Bouchons (PEHD) (Kg)	0	2.6
Bouteilles (PET) (Kg)	0	46
Consommation d'énergie		
Electricité (KWh)	115.20	15.24
Eau (m ³)	198	737.6
Paramètres d'émission(éffluent liquide)		
Température (°C)	23	21
Ph	7.8	6.98
DCO (mg of O ₂ / l)	1786.32	1540
DBO ₅ (mg of O ₂ / l)	156.87	130
LAS (g/l)	0.76	0.56
Turbidité (NTU)	12.4	4.76
Phosphate (mg/l)	356.87	0
Sulfate (mg/l)	650	530
Nitrate (mg/l)	-	20.56
TDS (total des sels dissous) (g/l)	-	2.55
Déchets générés		
Carton cellulose (kg)	26	4.05
Plastique (kg)	2.43	3.37
Poussières	6.00	0

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

B.1.2 Consommation des additifs (LL/PL)

Le tableau 58 et la figure 51, résument le taux de consommation des additifs pour le détergent linge.

Tableau N° 58 : Taux de consommation d'additifs LL/PL

% agents d'additifs	Poudre linge (PL)	Liquide linge (LL)
Carbonate de sodium	12.72	0
Sulfate de sodium	35.62	0
TAED	2.54	0
Perborate de sodium	10.18	0
Silicate de sodium	8.4	0
Zéolite	15.267	0
Tripoly phosphate de sodium	15.267	0
Hydro nacré	0	6.63
Acide stéarique	0	7.96

B.1.3 Comparaison des rejets

a)- Comparaison des charges polluantes

La figure 52 et 53, résument la comparaison des charges polluantes générées par chaque forme de détergents linge ; forme liquide et forme poudre, dont on constate une forte pollution exprimée en DBO5 et DCO, avec présence de trace de tensioactif dans le rejet final, ceci est dû au rejet dans la nature sans aucun traitement.

B.2 Evaluation des impacts

Deux impacts majeurs ont été générés :

- Eutrophisation aquatique due au nitrate exprimée en kg de N.
- Gros déchets exprimé en kg.

Les résultats obtenus pour les catégories d'impacts générées ainsi que les éléments contribuant sont rapportés respectivement dans le tableau N°59 et 60.

Tableau N° 59 : les catégories d'impacts générées par les détergents linges

Categories des impacts	Unité	Liquide linge	Poudre linge
Eutrophication aquatique EP(N)	Kg N	1.26E-7	1.24E-8
Gros déchets	Kg	3.67	0.916

Tableau N°60 : Eléments contribuant aux catégories d'impacts générées LL et PL

Categories d'impact	Eléments contribuant	Unité	Liquide linge	Poudre linge
Eutrophication aquatique EP(N)	Nitrate	Kg N	1.26E-7	1.24E-8
	Nitrite	Kg N	0	1.24 E-8
Gros déchets	Déchets Carton	Kg	0.3	0.85
	Déchets Plastique	Kg	3.37	0.066

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

B.2.1 Taux de contribution de chaque impact aux impacts globaux

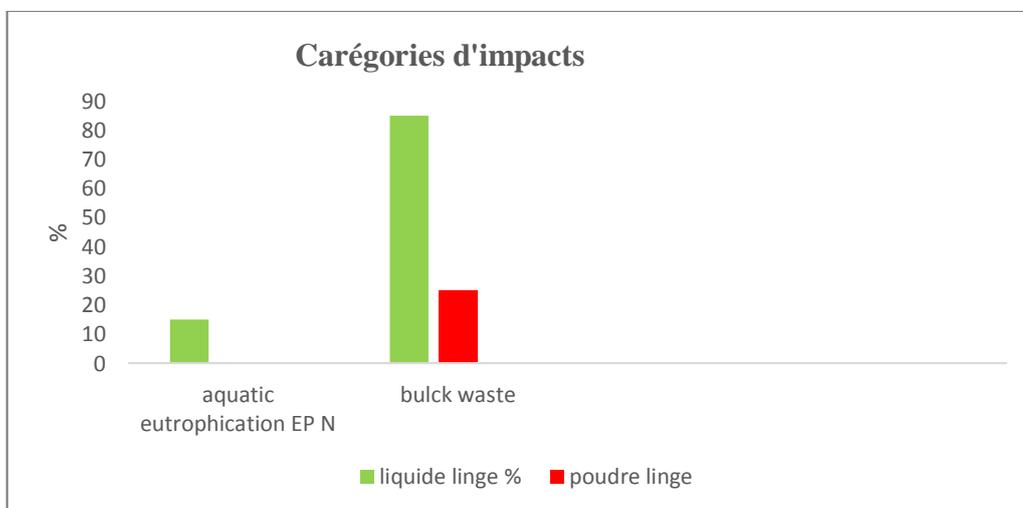
Le tableau 61 résume le taux de contribution de chaque impact aux impacts globaux, dont nous constatons que la génération des déchets est le plus remarquable dans les deux cas, il est de l'ordre de **96.57%** **98.64%** respectivement liquide linge et poudre linge. Il s'agit généralement de déchet carton et plastique générés lors de manipulation. Alors que l'eutrophisation aquatique est à l'origine de la présence des produits de dégradation de détergent dans le rejet tels que les nitrates et phosphates. Dans ce cas est due aux nitrates et nitrites qui sont dans ce cas, à la présence des surfactants dans les rejets ainsi que des bactéries qui contribuent au phénomène de nitrification et dénitrification.

Tableau N°61 : Taux de contribution aux impacts globaux LL/PL

% de contribution	Liquide linge	Poudre linge
Eutrophisation aquatique	3.43	1.354
Gros déchets	96.57	98.64

La figure 57 résume la comparaison des impacts générés par les deux formes de détergent linge.

Figure N°57 : Comparaison des catégories d'impacts détergents linge LL/PL



Il est à noter que la tendance actuelle est dirigée vers la production d'un détergent avec moins d'impacts sur l'environnement notamment le phénomène d'eutrophisation le plus pertinent, ces derniers sont reformulés en remplaçant les phosphates par des zéolites et d'acides polycarboxilique afin de réduire le phénomène d'eutrophisation.

Selon la littérature [144], les zéolites n'ont pas d'effet néfaste sur les organismes aquatiques ni sur les algues. Dans les lacs et des rivières, aucun effet néfaste n'a été constaté sur les phytoplanctons ou les zooplanctons ou sur des poissons même aussi sur le fonctionnement des stations d'épuration dont environ 96% des zéolites sont éliminés et que 4% mise en décharge [145].

Les agents de charge telle que les carbonates de sodium, contiennent des phosphates inorganiques qui sont responsable du phénomène d'eutrophisation quand les détergents sont déversés dans les cours d'eau, qui sont responsable de l'appauvrissement en oxygène, et

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

réduction des espèces vivantes le système aquatique tel que les poissons. L'eutrophisation est un phénomène très répandu dans le monde suite à l'utilisation excessive des détergents linges, ceci a conduit l'ensemble des nations en 1990 à limiter l'utilisation des phosphates dans les détergents à 0.5% au maximum et les remplacer par la suite par des produits alternatifs tel que ; les borates, carbonates, zéolites et nitrilotriacetic acid (NTA). [146]

Les surfactants et les agents de charge sont relativement non toxiques à l'exception du NTA [141], mais peuvent irriter la peau, les yeux et membrane muqueuse. Pour la génération des déchets, on constate selon les résultats obtenus que la forme liquide de détergent linge génère plus de déchets en termes d'impact comparativement à la forme poudre. Ceci est dû à la consommation d'une grande quantité des bouteilles en PET (poly éthylène) et bouchon en PEHD (poly éthylène haute densité) et du carton, dont on utilise 12 bouteilles dans un carton, comparativement à la poudre, on utilise un carton pour l'emballage de poudre où on utilise double carton, c'est-à-dire des petits carton contenant de la poudre qui sont met aussi dans un grand carton presque 12 unités dans un carton.

Des recherches [147,148] ont montré que la réduction d'utilisation d'emballage par compactage du produit réduit énormément leur impact sur l'environnement. Ainsi suite à l'utilisation d'un emballage recyclé, tel que le plastique/ PEHD [149]. Les produits compacts et super compacts deviennent aujourd'hui parmi les marques prédominantes, ces produits réduisent le poids de détergents poudre à utiliser (moins de 50%) donc utilisent moins d'emballage pour un même poids. Tandis que le détergent liquide consomme plus d'emballage par rapport à la forme poudre [137].

Gert et al [137] ont réalisé une étude comparative de production de détergent linge en United Kingdom, deux formes ont été produites voir forme liquide et poudre compact, qui sont les préférés du point de vue environnement du fait que peu de produits chimiques sont utilisés lors de formulation. Comme ils ont démontrés que l'étape de formulation d'ARIEL liquide destiné au lavage linge en France contribue à cet impact à 9.82% et 8.32% respectivement pour l'année 1998 et 2001. Peu d'impact d'acidification, toxicité aquatique, changement climatique, toxicité humaine et déplétion d'ozone par rapport à la poudre normal formulée, par exemple la poudre ordinaire génère environ 1053 eq g de CO₂ pour le changement climatique par rapport 978 eq g de CO₂ en forme compact, et 933 eq g de CO₂ pour liquide compact et 994 eq g CO₂ pour la même catégorie pour le cas de forme liquide.

Pour l'impact acidification, la forme liquide compacte génère 0.14 eq g de SO₂ par rapport à 0.15 de liquide tablet (comprimé), l'impact eutrophisation il y a 1.08 eq g PO₄⁻³ pour liquide tablet et 0.92 eq g PO₄⁻³ pour liquide compact.

Dans cette étude, selon les résultats obtenus par la méthode d'évaluation utilisée. On constate que cette production ne génère pas l'impact écotoxicité aquatique, ces résultats se coïncident avec les constats établis par TRS [150] qui confirme que les effets toxiques sur le milieu aquatique engendrés par les tensioactifs sont rares, puisque certains d'entre eux sont remplacés par des tensio-actifs biodégradables comme les alcools linéaires éthoxylés (non ionique) et LAS (anionique) utilisés dans notre cas. Contrairement aux nonylphénol éthoxylés utilisés auparavant, qui sont non biodégradables, se dégradent en sous- produits toxiques dans les milieux aquatiques, se bio-accumulent et sont aussi des perturbateurs hormonaux.

Les COV (composés organiques volatiles) dans les détergents, inclus les alcools, les parfums, les huiles essentielles et les solvants, ces derniers ont des impacts à l'extérieur de l'environnement (effet de smog) et à l'intérieur (effet sur la santé humaine).

2. Evaluation environnementale de l'industrie détergente

Ces effets peuvent être aigus (exposition courte durée) ou chroniques (exposition répétée) par exemple sur la santé humaine, ils causent des irritations de la membrane et de la muqueuse, des effets respiratoires et carcinogènes [151].

Une étude a été réalisée par NOVOZYME (leader producteur des enzymes) portée [143] sur l'étude d'impact de remplacement des surfactants par des enzymes dans les détergents linges, avec réduction de la température de lavage de 40C° à 30 C° par l'approche ACV. Cette étude a montré que ce remplacement c'est-à-dire utiliser de faible quantité d'enzyme et avec peu de surfactant conduit à la réduction des impacts engendrés réduction de la consommation d'électricité utilisée pour chauffer l'eau lors du lavage. La réduction de la quantité du surfactant utilisée et la température de lavage réduit la contribution au réchauffement global (global warming) de 150 à 450 g de CO₂/ lavage, ainsi que la réduction des quantités d'enzyme utilisé et les surfactant réduira l'impact écotoxicité après usage du détergent c'est-à-dire impacts des rejets des eaux de lavage.

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

I. Introduction

La pollution par les produits pharmaceutiques dans l'environnement aquatique est maintenant reconnue comme une préoccupation environnementale dans de nombreux pays. Cela a conduit à la création d'une vaste zone de recherche, y compris entre autres : leur identification chimique et quantification ; élucidation des voies de transformation lorsque présents dans stations d'épuration ou dans les matrices environnementales ; évaluation de leurs effets biologiques potentiels ; et le développement et l'application de procédés de traitement de pointe pour leur élimination et / ou minéralisation. Les produits pharmaceutiques sont une catégorie unique de polluants, en raison de leurs caractéristiques particulières, et leur comportement et le destin ne peuvent pas être simulés avec d'autres contaminants chimiques organiques.

La pollution de l'eau par les médicaments liée à leur utilisation concerne la grande part des médicaments utilisés. Mais cette part est très difficile à évaluer. En effet, aucune donnée statistique concernant les ventes de médicaments par molécule ou par spécialité n'est disponible. Cette pollution est très diffuse et discontinue au cours du temps. Les concentrations dans le réseau d'eaux usées sont généralement faibles, sauf lors d'épidémies (de grippe par exemple) [152].

Au niveau de la population totale, il faut rajouter les médicaments non utilisés (MNU) comme source potentielle de pollution. Une étude réalisée en 1976 par la DDASS d'Aquitaine montre que le rejet de ces MNU dans les eaux usées est important.

Cependant, l'impact des médicaments et de leurs métabolites rejetés dans les eaux usées est généralement considéré comme négligeable du fait de la forte dilution dans le réseau [142].

Certains ont la fâcheuse habitude à jeter les médicaments inutilisés dans les rivières ou les toilettes, notre organisme rejette entre 50 à 80% des substances active des médicaments (cela va donc dans les eaux usées) ou encore les animaux d'élevage qui rejettent dans les pâturages les médicaments vétérinaires qui se trouvent dans les cours d'eaux. [154]

En effet chaque personne ou animal se voit administré des médicaments de diverses formes et types qui sont ingérés, donc sont partiellement dégradés et le reste se trouve dans les excréments et rejetés directement ou non dans l'environnement.

Ces substances sont dégradées par divers organismes, mais leur élimination totale peut atteindre plusieurs années. Il est donc impossible de connaître les conséquences de ces produits sur les écosystèmes car les interactions entre les médicaments sont très nombreuses et trop compliquées. Il est donc important de s'y intéresser de plus près.

II. Présentation de l'industrie pharmaceutique

L'industrie en question est l'une des entreprises algériennes leaders dans la production de tous types de médicaments filiale Biotic El Harrach de SAIDAL, qui est l'une des plus grandes sociétés Algériennes par action avec un capital de 2.500.000 DA, sa mission principale est de développer, produire et commercialiser des produits pharmaceutiques à usage humain et vétérinaire.

Elle changea de dénomination en 1985 pour devenir SAIDAL .En 1989, suite à la mise en œuvre des réformes économiques, SAIDAL devint une entreprise publique économique doté d'une autonomie de gestion et fut choisi parmi les premières entreprises nationales pour acquérir le statut de société par action.

En 1997, SAIDAL a met en œuvre un plan de restructuration qui s'est traduit par sa transformation en groupe industriel le 02 février 1998 auquel sont rattachées trois filiales

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

(Pharmal, Antibiotical et Biotic), la filiale Biotic est l'une des trois filiales (Gué de Constantine, Cherchel, El harrach) issue de la restructuration de l'entreprise SAIDAL en groupe industriel le 02 février 1998.

L'usine El Harrach a une capacité de production de 20 millions d'UV. Elle se compose de :

- Laboratoire contrôle de qualité par analyse physico-chimique et chargée de la gestion technique et documentaire des quatre ateliers.
- Atelier sirops avec capacité de production de 4.4 millions UV.
- Atelier solutions avec capacité de production de 0.9 millions UV.
- Atelier comprimés et dragées avec capacité de production de 3.3 millions UV.
- Atelier pommades avec capacité de production de 7.5 millions UV.

Elle est aussi douée d'un laboratoire de contrôle de qualité qui intervient dans toutes les étapes d'élaboration du médicament ; de la réception des matières premières à l'expédition des produits finis et d'une unité de traitement des eaux destinées à la production des médicaments composé d'un prétraitement (lit de sable, adoucisseur, Charbon actif) et un traitement par osmose inverse.

- *Type de processus de fabrication*

Pour la production des sirops, il s'agit de faire un mélange intime entre les différents constituants avec une forte agitation pour assurer l'homogénéisation. Toute en ayant un produit fini répondant aux caractéristiques physico chimiques recherchées.

Tandis que les formes pommades, nécessitent la diffusion de l'huile de base à une température élevée, puis l'ajout des autres constituants avec un mélange très intime afin d'avoir une pommade de caractéristiques bien déterminées.

III. Application de la démarche ACV

Comme il a été constaté dans les chapitres précédents, l'ACV est l'outil d'évaluation environnementale que les autres du fait qu'elle permet l'identification et la quantification des impacts environnementaux générés par une activité industrielle, donc dans le même contexte d'évaluation, on opte à l'utilisation de l'ACV pour l'industrie pharmaceutique.

a)- Objectifs et champs d'application

L'enjeu majeur de l'utilisation de l'ACV dans ce cas est d'identifier, de quantifier les impacts potentiels ainsi de déterminer leurs principales sources afin d'arbitrer les impacts environnementaux potentiels et de déterminer la contribution des éléments constitutifs ou autres aux impacts engendrés ainsi de faire une étude comparative selon la composition, type de processus et de forme.

L'ACV est appliquée dans ce cas uniquement au processus de fabrication depuis l'utilisation des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini, sans tenir compte du scénario du transport, d'utilisation, de traitement, ou de recyclage. Pour cette application on a recours au logiciel SimaPro 7.1 (Pré consultant 2008), ce dernier est conçu dans le but de modéliser les filières, recenser les flux, établir les inventaires et calculer les impacts à partir de différentes méthodes de calculs d'impacts. Dans ce cas on a utilisé la CML92 pour la forme sirops et la EPD2007 pour la forme pommade comme méthodes d'évaluation, et ce dans le but de faire par la suite une étude comparative, dont la première s'agit d'une comparaison des produits de même forme pour un même processus avec une légère différence de composition.

b)- L'unité fonctionnelle

C'est un élément de mesure qui permet de quantifier la fonction remplie par le produit étudié, dans ce cas elle est rapportée à une production de 250kg de forme pommade et de 2500 litres de forme sirop de chaque produit fini.

c)- Qualité des données, réalisation et analyse de l'inventaire

Les données utilisées dans ce cas, sont issues de l'usines en faisant la collection de toutes les données disponibles, celles-ci sont obtenues par analyses, par calcul et en cas nécessaire on a recours à la base de données de ce logiciel qui reflète bien sur la réalité de la donnée recherchée notamment le gaz et l'électricité.

Ces données collectées nous permettrons d'établir l'inventaire des données, qui représente une étape primordiale pour pouvoir réaliser cette application (voir tableaux d'inventaire).

III.1 Forme sirop

Afin que le logiciel utilisé puisse fonctionner correctement et pourra déterminer les impacts potentiels générés par chaque production, il est primordial d'établir un inventaire des données entrantes et sortantes pour chaque processus, à condition qu'elles soient fiables, représentatives... celles-ci sont rapportées à l'unité fonctionnelle et présentées dans les tableaux N°62,63.

Pour les sirops Dénoral, enfant et adulte, on constate une légère différence de consommation de : pholcodine, de chlorcinazine bichlorhydraté, de nipagine et d'alcool éthylique, ces consommations sont importantes dans le dénorol enfant par rapport au dénorol adulte. Une consommation considérable de l'électricité et du gaz naturel pour dénorol adulte par rapport au dénorol enfant. La DBO₅, DCO sont importantes pour le dénorol adulte par rapport au dénorol enfant.

Pour la préparation du sirop timonal, un nombre important de constituant sont nécessaires pour sa formulation, avec une consommation comme même importante d'électricité, de gaz naturel avec une charge polluante aussi élevée.

Alors que le sirop histagan nécessite peu d'éléments ou constituants pour sa préparation avec consommation considérable d'énergie (électricité et gaz) et de l'eau pour assurer un bon mélange avec une qualité du sirop voulue.

Vue le rôle joué par chaque médicament, il est très logique de constater cette différence de composition notamment en terme de quantité de constituant notamment le principe actif utilisé, idem pour les émissions.

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

Tableau N° 62 : Inventaire du sirop DENORAL

Consommation de matières premières (kg)	Quantité	
Composition	Dénoral enfant	Dénoral adulte
Dephexamide Idomethylate	0.18	0.12
Chlorcinazine Bichlorhydrate	0.675	0.45
Pholcodine	2.7	1.2
Cassis synthétique	0.45	0.45
Sucre cristallisé	2052	2490
Caramel colouring	0.24	2.1
Acide Chlorhydrique	3	3
Nipagine	4.5	3
Alcool Ethylique	174.9	30
Consommation d'énergie		
Eau Déminéralisée (m ³ /jour)	40.32	45
Electricité (Mwh /jour)	800	850
Gaz naturel (Nm ³ /jour)	420.87	500
Consommation d'emballage		
Capsule en Aluminium (kg)	24	24
Caisse carton (kg)	800	800
Etiquettes autocollantes (kg)	24	24
Etuis (kg)	24	24
Flacon en verre 125ml (kg)	24	24
Vignettes auto collantes (kg)	24	24
Paramètres d'émission		
Température (°C)	21.2	22.2
Ph	5.97	5.42
DCO (mg of O ₂ / l)	1200	1700
DBO ₅ (mg of O ₂ / l)	850	980
Conductivité (µs)	1345	916
MES (matières en suspension mg/l)	1100	430
MVS (Matières volatiles mg/l)	288	175

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

Tableau N°63 : Inventaire du sirop Histagan et Timonal

Consommation de matières premières (kg)	Quantité	
	Timonal	Histagan
Composition		
Dexchlorpheniramine	0	0.3
Sorbitol Poudre	0	105
Sucre cristallisé	2417	1800
Arome artificiel cerise	0	6
Nipagine	1.5	3.6
Acide citrique	0.3	1.5
Tiemonium methyl sulfate	6	0
Glycerine codex	142.8	0
Sodium citrate anhydre	0.9	0
Ethylic alcohol	15	0
Strawberry flavour	6	0
Red color	0.6	0
Consommation d'énergie		
Eau déminéralisée (m ³ / jour)	43	40
Electricité (Mwh /jour)	690	720
Gaz naturel (Nm ³ /jour)	420	370
Consommation d'emballage		
Capsule en aluminium (kg)	24	24
Caisse Carton (kg)	800	800
Etiquettes auto collantes (kg)	24	24
Etuis (kg)	24	24
Flacon en verre 125ml (kg)	24	24
Vignettes auto collantes (kg)	24	24
Paramètres d'émission		
Température (°C)	21.8	21.7
Ph	5.76	5.71
COD (mg d'O ₂ / l)	1500	1466.66
BOD ₅ (mg d'O ₂ / l)	900	910
Conductivité (µs)	1045	1102
MES (mg/l)	1406.66	978.88
MVS (matières volatiles mg/l)	330	264.33

c.1 Comparaison de consommation matières premières et émissions (voir en annexe ; les figures 57, 58, 59,60)

d)- Evaluation des impacts

Pour déterminer les impacts potentiels générés par la production d'une forme sirop de type anti histaminique (dénoral adulte et enfant, et histagan) qui s'opposent aux effets de l'histamine substance inflammatoire libérée lors de la réaction allergique [155] et un anti spasmodique (Timonal), qui aide à traiter les spasmes musculaires. Il s'agit de calmer ou de neutraliser des contractions involontaires des muscles. Ils sont souvent utilisés dans les spasmes digestifs, les douleurs à type de coliques hépatiques ou néphrétiques et les douleurs utérines de la femme [156].

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

Pour la forme pommade un inventaire a été établi pour chaque produits dont il s'agit de : Flucidal qui est un anti inflammatoire non stéroïdien qui est un médicament symptomatique, qui n'agit pas sur la cause. Il est indiqué quand l'inflammation, processus normal de défense contre les agressions, devient gênante, notamment à cause de la douleur. Mycocide et mycotine qui sont des antifongiques capables de traiter les mycoses, c'est-à-dire les infections provoquées par des champignons microscopiques.

Les résultats des catégories d'impacts générés ainsi que les éléments contribuant sont illustrés respectivement dans les tableaux N°64,65.

Selon les résultats obtenus, trois impacts majeurs dû à la production du sirop sont constatés voir impact : d'eutrophisation, génération de gros déchets et consommation des ressources énergétiques. La figure N° 61 résume la comparaison des impacts générés par les quatre sirops. Ces trois impacts sont illustrés pour le cas de dénorval adulte, par rapport au dénorval enfant, timonal, et histagan qui ne génèrent que l'impact *eutrophisation* et déchet. L'apparition de l'impact *consommation des ressources*, est du certainement à la consommation des énergies sous différentes formes, gaz, électricité et eau en grande quantité dans le cas dénorval adulte par rapport aux autres sirops.

Tableau N° 64 : Impacts générés par sirops - Méthode CML 92

Catégories d'impact	Unité	Dénorval adulte	Dénorval enfant	Timonal	Histagan
Eutrophisation	Kg NP	2.64E-5	3.74 E-5	3.3 E-5	3.23E-5
Gros déchets	Kg	20.6	20.6	20.6	20.6
Ressources en énergie	KJLHV	0.403	0	0	0

Tableau N° 65 : Contribution aux impacts générés par les sirops

Catégories d'impacts	Éléments contribuant	Unité	Dénorval Enfant	Dénorval Adulte	Timonal	Histagan
Eutrophication	COD	Kg N	3.74 E-5	2.64E-5	3.3E-5	3.23E -5
Gros déchets	Déchets carton	Kg	20.6	20.6	20.6	20.6

d.1 Comparaison des impacts

Les figures 62, 63, 64, 65 résument la comparaison des impacts générés et les contributions de certains éléments aux catégories d'impacts.

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

Figure N° 61 : comparaison de l'impact eutrophisation-Sirop

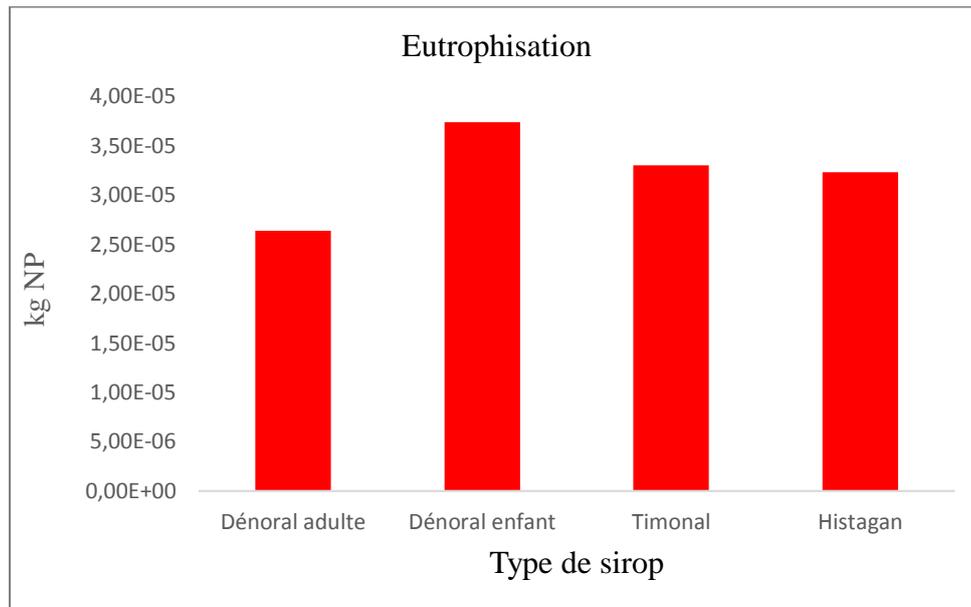


Figure N°62 : Comparaison de l'impact gros déchet-sirop

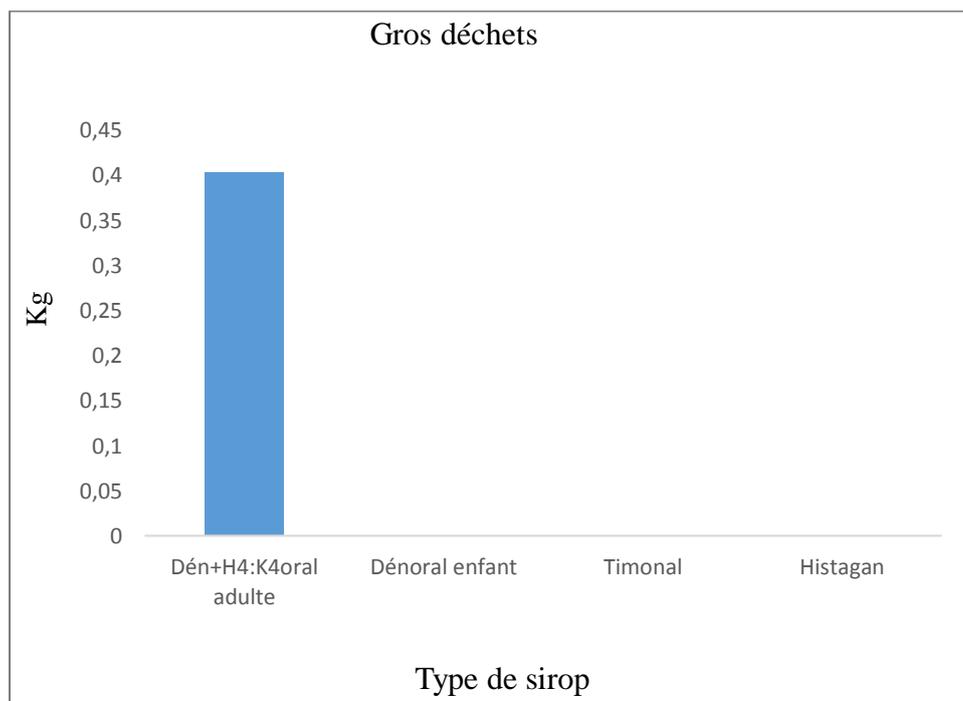
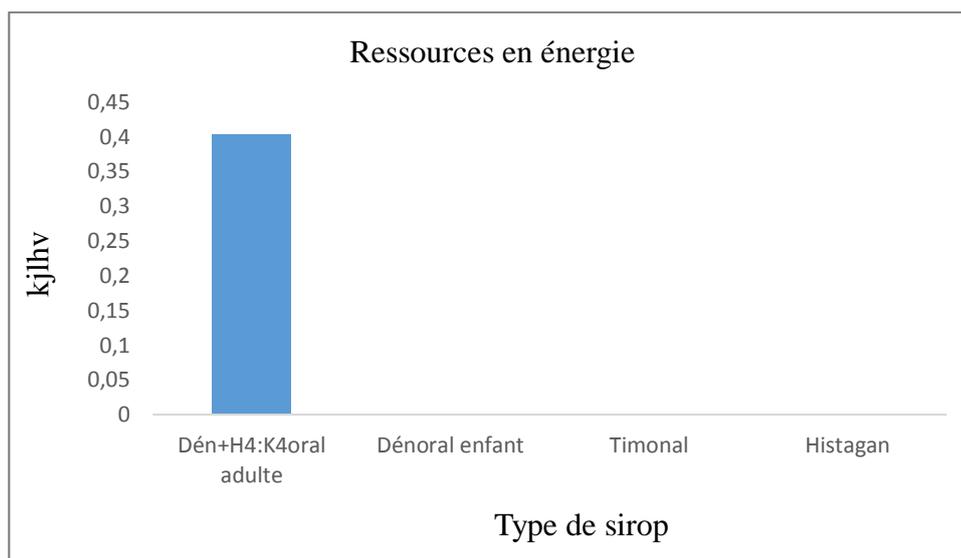


Figure N° 63 : Comparaison impact ressources d'énergie-sirop



Pour l'impact *eutrophisation*, il est dû la DCO pour les quatre types de sirop, cette contribution représente la biodégradation incomplète des constituants de ces médicaments exprimée en DCO dans l'effluent liquide rejeté sans aucun traitement. Cette quantité importante peut présenter une substance ou un élément de caractère lipophile non biodégradable ou résidu de ce médicament, et qui peut se retrouver dans l'environnement dans le cas de rejet sans traitement, et qui peut être retenu ou traverser la station de traitement.

Cette probabilité a été aussi prise en considération par quelques auteurs tel que : Alahmad A et all [157] qui ont constaté que les médicaments après son rejet dans l'environnement peuvent subir des réactions trop complexes et que les principes actifs subissent de nombreuses biotransformations donnant des métabolites, parfois encore inconnus. La substance soit :

- Elle est totalement minéralisée en dioxyde de carbone et en eau (cas de l'aspirine).
- Elle est lipophile et n'est pas dégradée, une partie sera donc retenue dans les boues. Si celles-ci sont épanchées, les micro-organismes du sol risquent d'être affectés, notamment par les antibiotiques qui réduisent l'activité bénéfique des bactéries du sol.
- Elle est métabolisée en une forme plus hydrophile, mais reste persistante et pourra traverser la station. Le produit est rendu plus soluble et pourra affecter l'environnement aquatique si les métabolites sont encore biologiquement actifs.

Les durées de demi-vies des médicaments en conditions naturelles, disponibles dans la littérature sont peu abondantes. Tixier et al en 2003[158] calculent, à partir des mesures in situ, des temps des demi-vies de 8 jours pour Diclofénac, 63 jours pour Carbamazépine et 32 jours pour l'ibuprofène. Toutefois, le fait que ces molécules sont déversées continuellement dans les milieux aquatiques leur confère une apparence persistante [159]. Les données sur le mode de dégradation dans les eaux de surface continentale sont très limitées, voire inexistantes pour les milieux estuariens et côtiers.

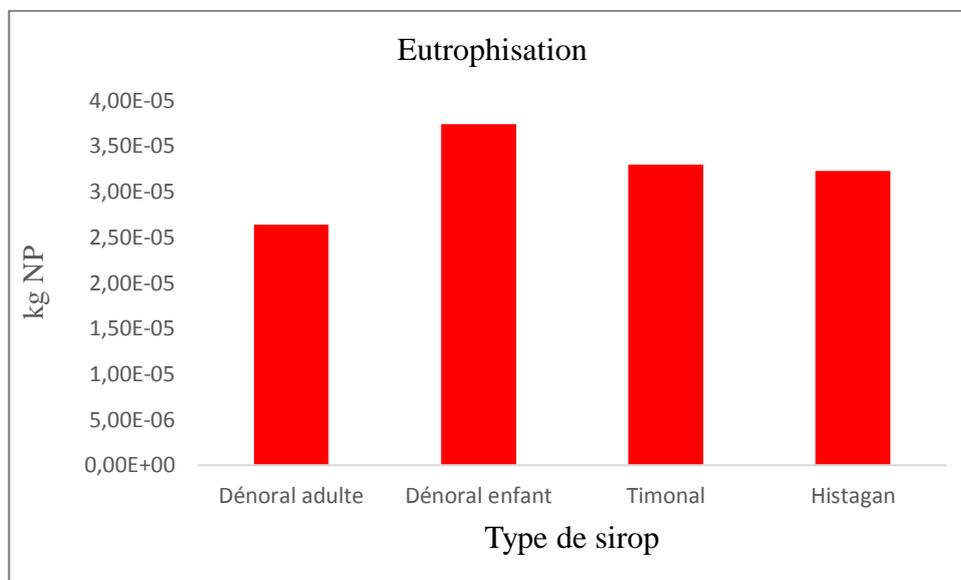
Dans les milieux aquatiques, le devenir des médicaments étudiés est fonction de leurs propriétés physico-chimiques et des conditions du milieu. Les facteurs physiques et chimiques locaux tels que le pH, la température, la dureté, la salinité, le carbone organique dissous, la densité microbienne, la concentration en matières en suspension et le potentiel d'oxydoréduction, et selon Heberer [160], il est possible de décrire en grande partie le comportement environnemental et le devenir de différentes classes thérapeutiques des

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

médicaments dans l'eau et l'environnement.

Les médicaments ont connus comme des substances biologiquement actives et persistantes, ces dernières sont devenues une menace pour la stabilité de l'environnement. Car ces substances ont des effets remarquables sur les organismes vivants, les écosystèmes et la santé publique [161].

Figure N°64 : Contribution du DCO à l'eutrophisation - sirop



La présence des médicaments dans les eaux peut présenter des dangers de toxicité pour les animaux et les hommes. Ainsi, une étude réalisée sur les effluents du CHU de Limoges montre que les effluents hospitaliers ont une forte génotoxicité, toxicité altérant les gènes.

Le test MICROTOX révèle une toxicité globale 5 à 15 fois supérieure à celle d'un effluent urbain classique. Parmi ces échantillons à fort pouvoir toxique, environ 20% sont capables de générer une activité génotoxique en particulier pour les rejets du matin, plus concentrés [162]. Cependant, cette notion de toxicité potentielle des médicaments est très controversée. En effet, les médicaments et leurs métabolites sont, la plupart du temps, à de très faibles concentrations, très inférieures à celles rencontrées en thérapeutique [72].

Une étude a été menée sur le contrôle des stations de traitement des eaux usées [162] dans quatre pays : Italie, France, Grèce et Suède, dont ils ont détectés plus de 20 produits pharmaceutiques de différentes classes thérapeutiques. Six produits ont été sélectionnés (carbamazepine, diclofenac, acide clofibrrique, ofloxacin, sulfaethoxzole et propranolol) qui sont présent à la sortie de la station, ils étaient soumis à une température de 40°C et exposés au soleil pendant le printemps et l'été à différentes latitudes. Des mesures de rapport quantique ont été mesurés pour la photolyse directe dans l'eau bi-distillée dont des mesures de temps de demi-vies ont été prises pour chaque substance. De même pour l'hiver à une température de 50°C, les mesures de demi-vie ont été prises. Il a été conclu qu'à l'exception de propranolol, la présence des ions nitrates dans les solutions aqueuses résultent de la réduction de la demi-vie. L'acide humique quand il est présent, il joue le rôle d'un filtre intime pour les carbamazepine et diclofenac, et comme une photo sensibilisatrice pour l'acide clofibrrique, oflaxicin et propranolol.

Des chercheurs ont examiné la biodégradabilité d'une cinquantaine de substances pharmaceutiques pendant le traitement des eaux usées. Il s'avère que, sur les 46 composés

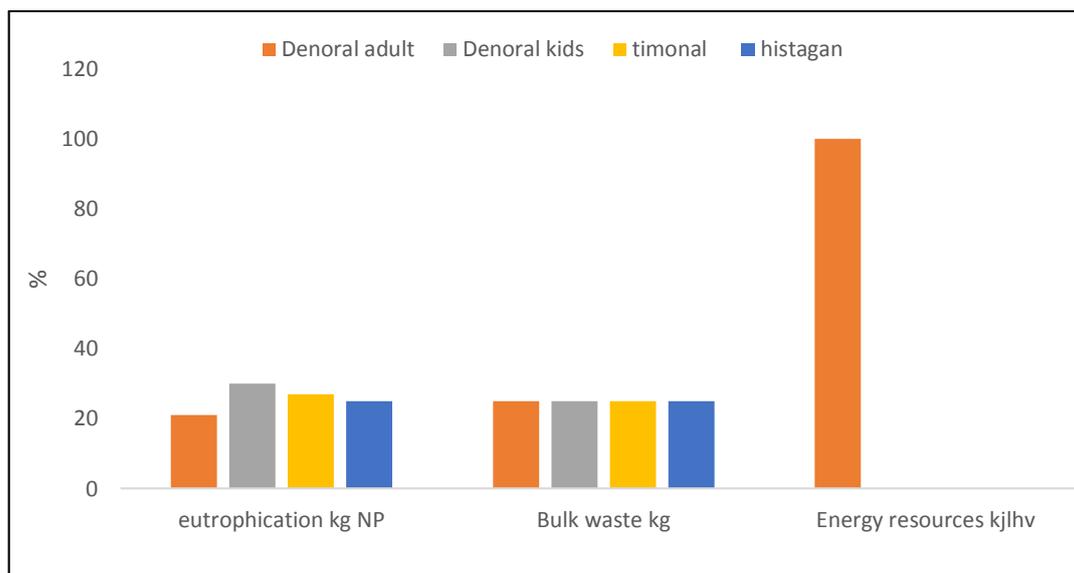
3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

étudiés, seuls 10 sont rapidement biodégradables, alors que 22 ne le sont pas du tout et 13 le sont avec des demi-vies parfois très élevées [164].

On peut citer l'exemple de l'acide clofibrrique (le plus grand métabolite de trois régulateurs lipidiques : l'étofibrate, l'étofyllinclofibrate et le clofibrate) qui n'est pas biodégradable. Ce composé a été le premier élément pharmaceutique détecté dans les eaux usées. On le retrouve actuellement partout dans le milieu aquatique, que ce soit dans les eaux résiduaires traitées, dans les eaux souterraines, dans les eaux de surface voire même dans l'eau potable (station de pompage près de Berlin), à des concentrations non négligeables puisque des valeurs de 0,27 µg/l ont été atteintes dans l'eau exploitée à Berlin [62].

Pour les *déchets* dans ce cas, il est dû aux déchets générés suite à l'utilisation d'une grande variété de déchets tels que : l'aluminium (prospectus), cuivre, carton, plastique, verre, vignettes, étiquettes, autocollants, notices.

Figure N°65 : Comparaison des catégories d'impacts de forme sirop



III.2 Frome pommade

Selon l'inventaire établi pour les pommades de type antifongique, on constate qu'il n'y a pas une grande différence de quantité consommée pour les constituants communs. Alors qu'une absence de certains éléments tel que la néomycine sulfate et triamcinolone acétonide dans le cas de mycotine, tandis que la formulation d'un anti inflammatoire non stéroïdien (flucidal), est tous a fait différente des précédentes, ils ont en commun l'huile de vaseline utilisée à une quantité faible par rapport au mycotine et mycocide.

En ce qui concerne la consommation énergétique, et les émissions dans les rejets, sont presque identique avec une légère différence dans les trois types de pommade.

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

Tableau N°66 : Inventaire de forme pommade

<i>Consommation de matières premières (kg)</i>	<i>Quantité</i>		
	<i>Composition</i>	<i>Mycocide</i>	<i>Mycotine</i>
Nystatine	5,67	5.67	0
Néomycine sulfate	1,03	0	0
Huile de vaseline	209,03	207.6	12
Triamcenolone acetonide	0,24	0	0
Resine PE 250	34, 03	36.64	0
Acide niflumique	0	0	6
Acide ascorbique	0	0	0.1
Acide stearique	0	0	4
Tefosse 1500	0	0	30
Labrafil N2 130	0	0	10
Nipagine	0	0	0.1
Essence citron	0	0	0.4
Essence lavande	0	0	0.2
Consommation d'énergie			
Eau Déminéralisée (m ³ / jour)	54.2	47	50.5
Electricité (Mwh /jour)	890	933	915
Gaz naturel (Nm ³ /jour)	520.50	550	562
Consommation d'emballage			
Prospectus (kg)	16.66	17	5.05
Caisse carton (kg)	266	167	51
Etiquettes auto collantes (kg)	0.167	0.17	0.051
Etuis (kg)	16.66	17	5.05
Vignettes auto collantes (kg)	16.66	17	5.05
Tubes	16.66	17	5.05
Paramètres d'émission			
Température (°C)	23	22.5	24
Ph	7	7.1	7.3
DCO (mg of O ₂ / l)	405	406	400
DBO ₅ (mg of O ₂ / l)	160	155	170
Conductivité (µs)	556	540	550
MES (matières en suspension mg/l)	13	17	20
MVS (matières volatiles mg/l)	2	4	5

III.2.1 Comparaison des consommations de matières actives

Les figures 66, 67,68 ,69 et 70 en annexe, résument la comparaison des consommations des principes actifs, d'énergie et les émissions dans le rejet.

III.2.2 Evaluation des impacts

Les impacts générés par cette activité sont illustrés dans le tableau suivant.

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

Tableau N° 67 : Impacts générés par les pommades - Méthode EPD 2007

Catégories d'impact	Unité	Mycocyde	Mycotine	Flucidal
Réchauffement global (GWP)	Eq kg CO ₂	9.37 E5	9.82E5	9.63E5
Destruction d'ozone (ODP)	Eq CFC -11	0.0422	0.0443	0.0434
Oxydation photo-chimique	Kg C ₂ H ₄	110	116	114
Acidification	Eq kg SO ₂	1.42E3	1.49E3	1.46E3
Eutrophisation	Eq kg PO ₄ ⁻³	168	176	181
Fossile non renouvelable	Eq MJ	1.63E7	1.71E7	1.67E7

Pour les *fossiles non renouvelables*, cette épuisement est dû à la consommation excessive des énergies, qu'elle soit électrique ou de gaz naturel et même de l'eau dans les trois cas étudiés. Ces différents impacts sont générés par le processus de fabrication lui-même c'est-à-dire qu'ils sont dus au produit fini obtenu sans contribution des autres facteurs.

Pour l'*acidification*, elle provient du déversement direct de l'effluent dans l'oued sans aucun traitement, sachant que la composition de certains produits contient des formes acides, ou bien suite à leur dégradation dans l'environnement il y a apparition des formes acides soit en forme *HCl*, *SO₂*, *NO_x*.

Eutrophisation : Cet impact est comme même important dans les trois cas étudiés, il dû à la transformation de certain élément en *NO_x*, avec épuisement du milieu en oxygène, surtout que ces produits représentent un mélange des formes complexe d'éléments constituant notamment les dérivés ou sous-produits de raffinage des hydrocarbures.

Oxydation photochimique dû à l'utilisation de gaz naturel et des sous-produits d'hydrocarbure dont il lui en résulte des gaz qui nuisent à l'environnement et qui contribuent à cet impact.

Destruction de la couche d'Ozone, c'est le résultat de la présence dans couches supérieures de différents gaz détruisant cette couche, ces gaz tels que : *CH₄*, *NO_x*, *COV* et Toluène sont à l'origine de l'utilisation de gaz naturel et l'utilisation d'une huile d'origine pétrolière, huile de vaseline qui est obtenu par distillation du paraffine qui est aussi un sou- produit de raffinage des huile de pétrole.

Changement climatique, il est dû essentiellement à l'utilisation de gaz naturel et des dérivés de pétrole qui dégagent des gaz différents tels que ; *CO₂*, *NO_x*, *COV*, *CH₄* et Toluène. Tous ces impacts sont le résultats de rejets des effluents de l'industrie pharmaceutique dans l'environnement sans aucun moindre traitement, surtout que cette forme ne représente qu'une fusion d'une forme grasse (huile de vaseline) dans un mélange de constituants, cette forme huileuse forme une couche isolante en surface empêchant la pénétration de la lumière , la photosynthèse , même aussi la photo et la biodégradation.

Suite à nos recherches bibliographiques, nous avons constaté que pratiquement il n'y a pas de données disponibles sur les médicaments antifongiques (cas de mycocide et mycotine) et pas de recherches effectuées dans ce sens, tandis que pour les anti-inflammatoires sont devenus un

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

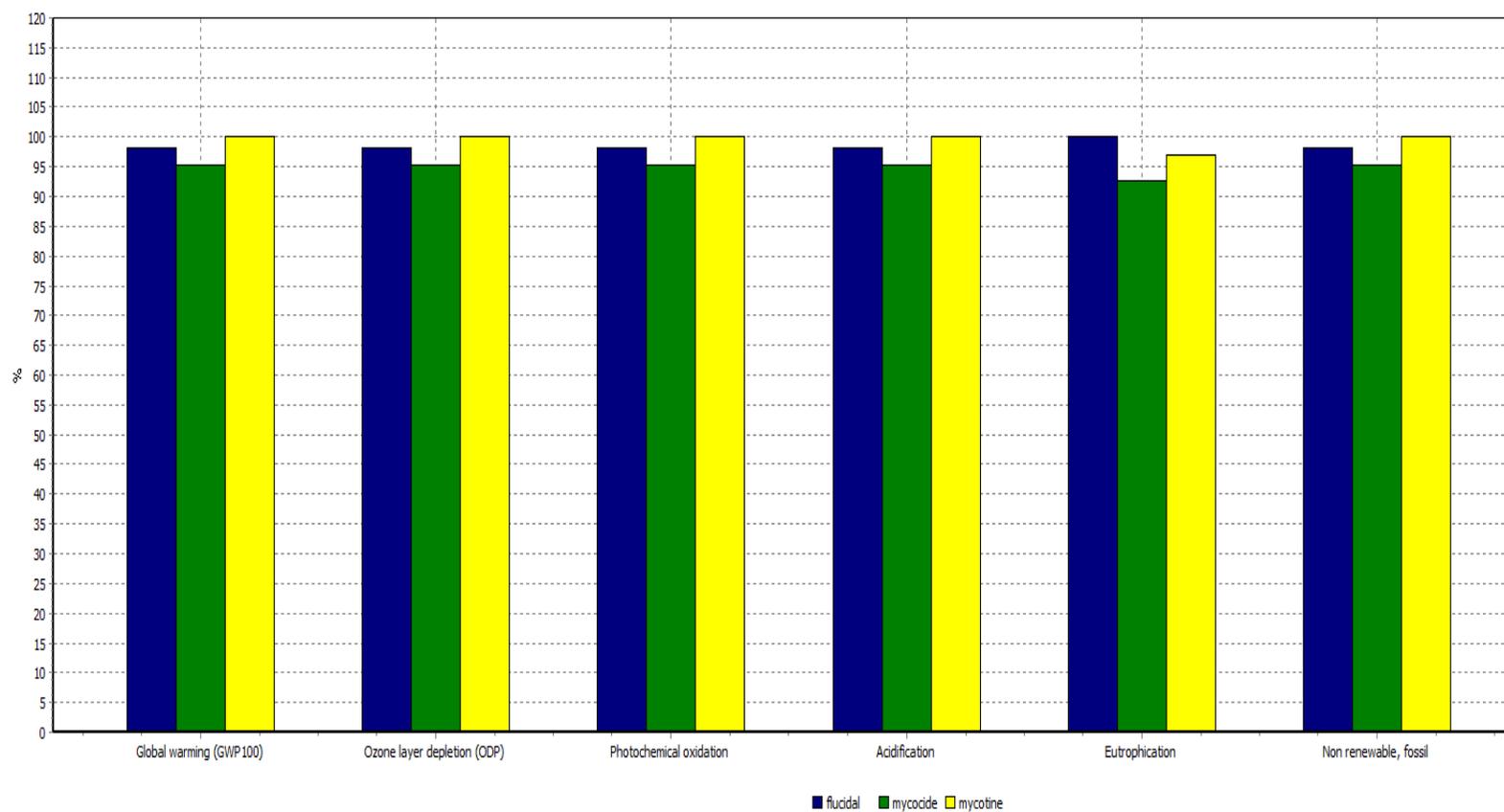
cauchemar pour l'environnement, car plusieurs études ont été portées sur la présence de ces derniers dans les effluents et à la sortie des STEP.

Une étude à Montréal [165] que l'acide acétylsalicylique a été détecté dans l'influent de la STEP dans sa forme active à une concentration égale à 54 µg/l. De la même façon, le paracétamol est rarement détecté dans les effluents de STEP. Sur les 142 échantillons ne le retrouve que dans 17% des échantillons à une concentration maximale égale à 10 µg/l [166]. Alors que le diclofenac, est faiblement éliminé dans les STEP (entre 17% et 70%), il est détecté à des concentrations supérieures au µg/l dans les effluents des eaux de surface où il peut être photo-dégradé [167].

Selon une étude menée par Jagannathan et al [168], sur l'oxydation de l'ibuprofène qui est au même temps un analgésique et un anti inflammatoire, par dégradation photocatalytique, sonolytique et sonophotocatalytique en présence d'un photocatalyseur Fe⁺³ et TiO₂. Une meilleure dégradation a été constatée dans le cas de sonophotocatalytique en présence de Fe⁺³ et TiO₂ avec formation des mono et di hydroxyle intermédiaire qui sont dus à l'oxydation de l'acide propénoïque.

3. Evaluation environnementale de l'industrie pharmaceutique

Figure N°71 : Comparaison des catégories d'impacts forme pommade



Comparaison de 250 kg 'flucidal', 250 kg 'mycocide' et 250 kg 'mycotine', méthode: EPD 2007 (draft version) V1.01 / caractérisation

Conclusion générale

Conclusion générale

L'analyse de cycle de vie est une technique appropriée pour l'évaluation des impacts environnementaux de production d'un produit ou d'un service, elle quantifie les énergies, les matières premières et matérielles ainsi que les déchets et les émissions relatifs à une activité donnée. Les résultats obtenus par la démarche ACV, à l'instar des autres méthodes d'évaluation utilisées dans notre cas, sont trop crédibles

Dans la partie évaluation environnementale de l'industrie cimentière, elle nous a permis de déterminer et quantifier toutes les catégories d'impacts pouvant être générées par cette activité. Elle nous permet de :

- Identifier la contribution des éléments constitutifs (matières premières et énergie) ou émis à ces catégories d'impacts
- Déterminer la contribution des émissions gazeuses aux catégories d'impacts
- La comparaison des catégories d'impacts engendrées par deux voies de production différentes (voie sèche et voie humide) par l'utilisation de la démarche ACV.
- Détermination de la contribution d'un mètre cube d'eau utilisé dans la voie humide à toute catégorie d'impact

Pour la partie évaluation environnementale de l'industrie détergente, la démarche ACV, nous a permis de déterminer les impacts environnementaux engendrés par la production de deux formes de détergents destinés au : lavage vaisselle, linge et multi usage, ainsi de déterminer le taux de contribution des tensio-actifs, des énergies (électricité, gaz, et eau), aux catégories d'impacts. Par cette démarche, on a pu déterminer les catégories d'impacts engendrées par l'utilisation d'un gramme de tensio-actifs anionique et non ionique et de faire des études comparatives entre les différents types et formes de détergents.

Dans la partie évaluation environnementale des produits pharmaceutiques, l'ACV nous a permis d'évaluer les impacts engendrés par la production de différents sirops et pommades, ainsi que les éléments contribuant à chaque catégorie d'impact. Donc il est très important d'utiliser cette démarche pour l'évaluation environnementale des activités industrielles, pour l'évaluation des performances environnementales des entreprises ayant des politiques de gestion environnementale dans le but d'améliorer l'image des entreprises, puisque cette démarche est une démarche d'aide à la décision, elle permet de faire des interventions sur les éléments contribuant aux catégories d'impacts.

Il est à noter que de nombreuses sources fournissent un grand nombre de données nécessaires à un inventaire d'une ACV, dont il faut s'assurer que la couverture est cohérente et ce en recueillant des données supplémentaires et examiner soigneusement les raisons de variations potentielles et les utiliser avec prudence, sachant que le problème majeur de cette application est la difficulté d'accessibilité aux données.

Perspectives

Parmi les perspectives envisagées par cette étude sont :

- *Exploitation du logiciel utilisé par les industriels, en passant des méthodes traditionnelle d'évaluation qualitative vers la quantification des impacts par la démarche ACV.*
- *Adaptation des données du logiciel aux données algériennes par un apport de modification dans sa base de données en cas d'accès ou création d'une base de données locale en tenant compte de la situation géographique , conditions climatologiques....*
- *Décortication du logiciel pour pouvoir créer un système de modélisation et quantification des impacts en se basant sur des données algériennes*
- *Viser le plus grand nombre d'entreprise et les inciter sur la nécessité d'utiliser cette démarche*

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [01] Marion P, Contribution à la méthodologie d'intégration de l'environnement dans les PME-PMI : Évaluation des performances environnementales, thèse doctorat, INSA Lyon.
Numéro d'ordre : 178 ID, 1998
- [02] Pierre Ch, Consultation prospective sur l'environnement, Paris : Groupe de prospective - Ministère de l'environnement - Novembre 1982
- [03] Theys J, L'environnement à la recherche d'une définition, notes de méthode de l'IFEN, Orléans : IFEN, édition 94, n°1,50 p, Juin 1993
- [04] Bernard B, J.F. Pour une définition de l'environnement, revue consommation (CREDOC), n°3, 1975
- [05] Min.Env, Brodhag, Bartelmus. Dossier de présentation - Les outils et démarche en vue de la réalisation d'agendas 21 locaux, Paris : Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 110 p, juillet 1997
- [06] Patrick R, Evaluation Comparative de l'Impact Environnemental Global (ECIEG) du cycle de vie des produits, thèse de doctorat en "Gestion et Traitement des Déchets", Villeurbanne : INSA de Lyon, 276 p, mai 1993
- [07] Labouze .E, Labouze.R, La comptabilité de l'environnement, Paris : Revue française de comptabilité, n°272, 92 p, novembre 1995,
- [08] Systèmes de management environnemental - Spécifications et lignes directrices pour son utilisation, norme européenne - norme française NF EN ISO 14001, Paris : AFNOR, 15 p, octobre 1996
- [09] Indicateurs de performance environnementale de la France, Orléans : IFEN, Paris : Lavoisier Tec&Doc, 125 p, édition 1996-1997
- [10] Systèmes de management environnemental - Lignes directrices générales concernant les principes, les systèmes et les techniques de mise en œuvre, norme française NF ISO 14004, Paris : AFNOR, 31 p, novembre 1996
- [11] Les pratiques environnementales de 50 PMI françaises : Pourquoi et Comment ?, communication association Orée, Pollutec : Conférence ADEME Plan Environnement Entreprise, Retour d'expérience, Paris, 3 octobre 1997
- [12] Brodhag.C, Pour concilier l'entreprise et l'environnement, il faut une approche systémique, Paris : Annales des Mines, pp 41-44, novembre 1994,
- [13] Les écotaxes, mise en œuvre et efficacité environnementale, Copenhague : Agence Européenne pour l'Environnement, 12 p, 1996
- [14] Code Permanent Environnement et Nuisances, Paris : éditions législatives et administratives, 1997
- [15] ACC, les enjeux du développement durable au sein de l'industrie du ciment : Réduction des émissions de CO₂, Atelier du changement climatique, P 32, 2006
- [16] Henni Chabra K, Bougara Abk, Khatib J, effet des particules sédimentables engendrées par la fabrication du ciment sur l'environnement, université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem / laboratoire construction, transport et protection de l'environnement. Séminaire national de génie civil sur les matériaux et protection de l'environnement, 1999
- [17] Badr .O, Probert S.D. Oxides of nitrogen in the earth atmosphere: trends, sources, sinks and environmental impacts, applied energy 46 -1-67, 1993.
- [18] Isikli B. Demir T. A, Urer, S.M, Berber A, Akar T, Kalyoneu C, Effects of chromium exposure from a cement factory. Env. Res 91, 113 -118, 2003
- [19] Marta S, Jose L. Josepa G. Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood, Environmental Research 95 - 198-206, 2006.

Références bibliographiques

- [20] Denis .S, Renzoni. R, Germain.A, Use of LCI for the decision-making of a Belgian cement producer: a common methodology for accounting CO₂ emissions related to the cement life cycle. 8th LCA studies symposium SETAC Europe, 2000,
- [21] Ahmed Abdel Motaleb M. Abdelazim Mohamed N. Mona Gamel Edin I. Effect of fuel type on the life cycle of Egyptian cement industry ; Environmental impact assessment approach, The Asian Conference on sustainability, energy and environment 2014. www. Iafor.org
- [22] Pertez T., Sartoretto S, Soltan D, Capo S, Fourt M., Dutrieux E, Vacelet J, Harmelin J.G, Rebouillon P. Etude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin. Système d'évaluation de la Qualité des Milieux littoraux – Volet biologique, 2000
- [23] Potokar M.S. Acute, Subacute, and Chronic Toxicity Data on Anionics. In Surfactant Science Series Vol. 43 - Anionic Surfactants: Biochemistry, Toxicology, Dermatology (2nd édition), pp.81-116. C. Gloxhuber; K. Künstler, Eds. Marcel Dekker, Inc. New York, NY, 1992.
- [24] Bartnick, F.G. Interaction of Anionic Surfactants with Proteins, Enzymes, and Membranes. In: Surfactant Science Series Vol. 43: Anionic Surfactants - Biochemistry, Toxicology, Dermatology (2nd édition), pp.1-42. C. Gloxhuber; K. Künstler, Eds. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1992
- [25] Newman, M.J; Actor, J.K. Balusubramanian, M. Jagannath, C. Use of nonionic block copolymers in vaccines and therapeutics. Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems 15 (2): 89-142, 1998
- [26] Black, J.G. Howes, D. Absorption, Metabolism, and Excretion of Anionic Surfactants. In: Surfactant Science Series Vol. 43: Anionic Surfactants - Biochemistry, Toxicology, Dermatology (2nd édition), pp.43-80. C. Gloxhuber; K. Künstler, Eds. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1992.
- [27] Talmage, S. Environmental and Human Safety of Major Surfactants: Alcohols Ethoxylates and Alkylphenol Ethoxylates. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1994
- [28] Rodriguez, S.C.; Singer, E.J. Toxicology of POA Block Copolymers. In: Surfactant Science Series Vol. 60 - Non Ionic Surfactants: Polyoxyalkylene Block Copolymers, V.M. Nace, Ed. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1996.
- [29] International Programme on Chemical Safety Environmental Health Criteria 169: Linear Alkylbenzene Sulfonates and Related Compounds. World Health Organization, Geneva, 1996
- [30] Kocher, K. Wiegand, H.J. Toxicology and Dermatology. In: Surfactant Science Series Vol. 91 - Non Ionic Surfactants: Alkylpolyglucosides, D. Balzer, Ed. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 2000
- [31] Tortora, G.J. Reynolds Grabowski, S. Parent, J.C. Principes d'anatomie et de Physiologie. Centre éducatif et culturel, Inc., Anjou (QC) ,1999
- [32] Mathias, T.C.G. *Soaps and Detergents*. In: Occupational Skin Disease (Third édition), pp.353-370. R.M. Adams, Ed. Grune & Stratton, New York, NY, 1999
- [33] Effendy, I. Maibach, H.I. Surfactants and Experimental Irritant Contact Dermatitis. Contact Dermatitis 33 (4): 217-225, 1995
- [34] Barany, E; Lindberg, M.; Loden, M. Biophysical characterization of skin damage after exposure to different surfactants. Contact Dermatitis 40 (2): 98-103, 1999
- [35] Lachapelle, J.M; Frimat, P.; Tennstedt, D.; Ducombs, G. Dermatologie Professionnelle et de l'environnement. Masson, Paris. 1992
- [36] Rice, R.H. Cohen, D.E. Toxic Response of the Skin. In: Casarett & Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons (Fifth édition), pp.529-546. C.D. Klaassen, Ed. McGraw-Hill Inc., New York, NY. 1996
- [37] Matthies, W. Dermatological Observations (Humans). In: Surfactant Science Series Vol. 43 - Anionic Surfactants: Biochemistry, Toxicology, Dermatology (2nd édition), Pp.291-330. C. Gloxhuber; K. Künstler, Eds. Marcel Dekker, Inc., New York, NY. 1992

Références bibliographiques

- [38] Warren, R. Ertel, K.D. Bartolo, R.G. Levine, M.J. Bryant, P.B. The influence of hard water (calcium) and surfactants on irritant contact dermatitis. *Contact Dermatitis* 35 (6): 337-343.1996
- [39] Marieb, E.N. *Anatomie et Physiologie Humaines*. Éditions du Renouveau Pédagogique, Inc., Saint-Laurent (QC).1999
- [40] INRS. Classification, emballage et étiquetage des substances et préparations chimiques dangereuses - Textes réglementaires et commentaires. Institut National de recherche et de sécurité (ND 1946), Paris. novembre 1998
- [41] Karlberg, A.T. Bergh, M. Common surfactants form contact allergens at normal handling and storage. *American Journal of Industrial Medicine*, supplement 1 (1-3): 134-135.1999
- [42] Jakobi, G Lohr, A; Schwuger, M.J; Jung, D.; Fischer, W.K.; Gerike, P.; Kunstler, K. Detergents. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Fifth, completely revised edition), pp.315-448.1985
- [43] Bartnick, F.G. Interaction of Anionic Surfactants with Proteins, Enzymes, and Membranes. In: *Surfactant Science Series Vol. 43: Anionic Surfactants - Biochemistry, Toxicology, Dermatology* (2nd edition), pp.1-42. C. Gloxhuber; K. Künstler, Eds. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.1992
- [44] Cserhati, T. Alkyl Ethoxylated and Alkylphenol Ethoxylated Nonionic Surfactants: Interaction with Bioactive Compounds and Biological Effects. *Environmental Health Perspectives* 103 (4): 358-364. 1995
- [45] Black, J.G.; Howes, D. Absorption, Metabolism, and Excretion of Anionic Surfactants. In: *Surfactant Science Series Vol. 43: Anionic Surfactants - Biochemistry, Toxicology, Dermatology* (2nd edition), pp.43-80. C. Gloxhuber; K. Künstler, Eds. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.1992
- [46] INRS. Classification, emballage et étiquetage des substances et préparations chimiques dangereuses - Textes réglementaires et commentaires. Institut national de recherche et de sécurité (ND 1946), Paris. novembre 1998
- [47] Bergh, M. Magnusson, K. Nilsson, J.L.G. Karlberg, A.T. Contact allergenic activity of Tween 80 before and after air exposure. *Contact Dermatitis* 37 (1): 9-18.1997
- [48] MacKenzie, K. Henwood, S. Foster, G. Akin, F. Davis, R. DeBaecke, P. Sisson, G.; McKinney, G. Three-generation reproduction study with dioctyl sodium sulfosuccinate in rats. *Fundamental and Applied Toxicology* 15 (1): 53-62.1990
- [49] Lewis, M.A. Chronic and sublethal toxicities of surfactants to aquatic animals: A review and risk assessment. *Water Research* 25 (1): 101-113.1991
- [50] Lewis, M.A. The Effects of Mixtures and Other Environmental Modifying Factors on the Toxicities of Surfactants to Freshwater and Marine Life. *Water Research* 26 (8): 1013-1023.1992
- [51] OECD Harmonized integrated classification system for human health and environmental hazards of chemical substances and mixtures. Organisation for Economic Cooperation and Development (ENV/JM/HCL) 1, Paris .2001
- [52] Miles-Richardson, S.R. Pierens, S.L. Nichols, K.M. Kramer, V.J. Snyder, V.M. Snyder, S.A.; Render, J.A.; Fitzgerald, S.D.; Giesy, J.P. Effects of Waterborne Exposure to 4-Nonylphenol and Nonylphenol Ethoxylate on Secondary Sex Characteristics and Gonads of Fathead Minnow (*Pimephales promelas*). *Environmental Research Section A* 80: S122-S137. 1999
- [53] Heberer et al, Drire N. IRE L'industrie au regard de l'environnement. 2002
- [54] Jolliet O, Mulqlqer-Wenk R, Bare J, Brent A, Goedkoop M, Heijungs R, Itsubo N, Pena C, Pennington D, Potting J, Rebitzer G, Stewart M, Udo De Haes H, Weidema B : The LCIA Midpoint - damage Framework of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. *Int J LCA* 9 (6) 394-404. 2004

Références bibliographiques

- [55] Christensen FM, Pharmaceuticals in the environment- A human risk? Reg. Toxicol. Pharmacol. 28, 212- 221. 1998
- [56] Garric J, Ferreri B. Les substances pharmaceutiques dans les milieux aquatiques. Niveau d'exposition et effet biologique : que savons-nous ? Revue des sciences de l'eau, 18 /3 / 307-330. 2005
- [57] EMEA/CPMP. Note for guidance on environmental risk assessment, on medical product for human use. CHMP/SWP/4447/00 Draft report. Committee for proprietary medicinal product. European Agency for the Evaluation of Medicinal Product, London, UK. 2005
- [58] Hirsch R, Ternes T, Haberer K and Kratz K-L, Occurrence of antibiotics in the aquatic environment. Sci. Tot. Environ., 225, 109-118. 1999
- [59] Theubault L. La pollution de l'eau par les médicaments, 53 p. Mémoire de fin d'études. Rennes, Ecole Nationale de la Santé publique : 1992.
- [60] Noyer. Rapport du Responsable Environnement du laboratoire pharmaceutique Sanofi. Montpellier. 24 novembre 1999.
- [61] McKay G. Pharmaceuticals residues in the environment. International Pharmacy Journal, vol. 1, n° 2, 60-64. 1987
- [62] Halling-Seransen B, Nors Nielsen S, Lanzky P.F, Ingerslev F, Lutzheft H C, Jergensen S.E. Occurrence, fate and effects of pharmaceuticals Substances in the environment - a review. Chemosphere. 1998, vol. 36, n° 2, 357-393. 1998
- [63] Allain P. Les médicaments. Pharmacologie. Editions Estem, 39-45. 1996
- [64] Monague P. Drugs in the water. Environmental Research Foundation. 5p. 1998. Disponible sur internet: [URL:http://www.sdearthtimes.com/et1098/et1098s5.html](http://www.sdearthtimes.com/et1098/et1098s5.html)
- [65] Enquête auprès des responsables traitement des eaux du CHU de Montpellier, de 3 hôpitaux rennais et de 6 hôpitaux parisiens. Semaine du 8 au 12 novembre 1999.
- [66] Corvaisier N. Les substances médicamenteuses rejetées dans les eaux usées urbaines Février 2000. [http : // www.OIEAU.ORG](http://www.OIEAU.ORG).
- [67] Agence de l'eau ADOUR GARONNE. Etude des rejets et des déchets toxiques des établissements hospitaliers de Midi-Pyrénées. 158 p. 1996
- [68] Jean Michel P. Impacts écotoxicologique de certains médicaments dans l'environnement. Université de Sherbrooke, Québec, Canada, mai 2006.
- [69] Ankley GT, Jensen KM, Makynen E.A, Kahl M.D, Korte J.J, Hornung MW, Henry TR, Denny J.S, Leino R.L, Wilson V.S, Cardon M.C, Harig P.C, Gray L.E., Effects of the androgenic growth promoter 17-trenbolone on fecundity and reproductive endocrinology of the fathead minnow (*Pimephales promelas*). Environ. Toxicol. Chem., 22, 1350-1360. 2003
- [70] Buser User H.R, Muller M.D, Theobald N, Occurrence of the Pharmaceutical drug clofibrac acid and the herbicide mecoprop in various Swiss lakes and in the North Sea. Environ. Sci. Technol., 32, 188-192. 1998
- [71] Alahmad A, Daschner F.D, Kummerer K, Biodegradability of Cefotiam, Ciprofloxacin, Meropenem, Penicillin G, and Sulfamethoxazole and inhibition of wastewater bacteria. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 37, 158-163. 1999
- [72] Apone D.G, Weson D.P, Miller V, Shoemaker C. Antibacterial residues in marine sediment and invertebrates following chemotherapy in aquaculture. Aquaculture, 145, 55-75. 1996
- [73] Anderson P, Daco V.J, Shanahan P, Charpa S.C, Buzby ME, Cunningham V.L, Duplessie B.M, Hayes E.P, Mastroacco F.J, Parke N.J, Rader J.C, Samuelian J.H. sis of human pharmaceutical compounds in US Surface Waters. Environ. Sci. Technol., 38, 838-849.
- [74] Cargouet M, Perdiz D, Mouassimsoual A, Tamisier-Karolak S, Levy Y, Assessment of river contamination by estrogenic compounds in Paris area (France). Sci. Tot. Environ. 324, 55-66. 2004
- [75] Castiglioni S, Faneulli R, Calamari D, Bagnati R et Zuccato E, Methodological approaches

Références bibliographiques

- for studying pharmaceuticals in the environment by comparing predicted and measured concentrations in river Po, Italy. Reg. Toxicol. Pharmacol. 39, p 25-32. 2004
- [76] Aldenberg T, Slob W, Confidence limits for hazardous concentrations based on logistically distributed NOEC toxicity data. Ecotoxicol. Environ. Saf. 25, 48-63.1993
- [77] Serge L, (ouvrage collectif), Manuel environnement à l'usage des industriels, Paris : AFNOR, 389 p, 1994,
- [78] Van der.W ET Petit.J, Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator based methods. Agriculture, Ecosystems and Environment : 131-145. 1993
- [79] OCDE. Bonnes pratiques pour les études de l'impact sur l'environnement exercé par les projets de développement. Organisation de coopération et de développement économique, comité d'aide au développement, lignes directrices sur l'environnement et l'aide n° 1, Paris, 18p. 1992a
- [80] ACEE. Salder. B.Etude internationale sur l'efficacité d'évaluation environnementale, rapport préparé par pour l'agence canadienne d'évaluation environnementale et international association for impact assessment, juin 1996,300p. 1996
- [81] Pierre.A, Claude E, Deliste J. L'évaluation des impacts sur l'environnement, processus, acteurs et pratiques .Presses internationales polytechniques, 1999.
- [82]OCDE. Bonnes pratiques pour les études de l'impact sur l'environnement exercé par les projets de développement. Organisation de coopération et de développement économique, comité d'aide au développement, lignes directrices sur l'environnement et l'aide n° 2, Paris, 20p. 1992b
- [83] Michel C, Nathalie S .Evaluation environnementale stratégique : un outil pour aider les administrateurs à mettre en œuvre le développement durable, Telescope, vol.17, N°2, P. 1-19. 2011
- [84] PNUE / DIE. Les audits environnementaux. Guide technique n°2 ; Programme des nations unies pour l'environnement. Direction industrie et environnement, Paris, France, 145P. 1989
- [85] Hydro Québec ; 166.Méthodes d'évaluation environnementale lignes et posters.1. Démarche d'évaluation environnementale .2. Techniques et outils. Vice- présidence Environnement, Rapport du groupe de travail, Montréal, 321p. Décembre 1990
- [86] CIMERWA. Banque Africaine de Développement, projet de construction d'une cimenterie à Muganza, District de Rusizi, dans la Province de l'Ouest RWANDA, Etude d'impact environnemental et scociétal Juin 2010.
- [87] Leopold,L.B.F.E. Clarke, B.B. Hanshaw et J.R. Balsley. A procedure for evaluationg enviornmental impact assessment. US Geological Survey Circular 645, Washington, E.U. 13p. 1971
- [88] Simos, J.Evaluer l'impact sur l'environnement, une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 261P. 1990
- [89] Leguy D, Bertrand M. Management environnementale et relations sociales en entreprise : bilan et perspectives, 28p. 2002
- [90] http://europa.eu.int/comm/environment/ecolabel/index_en.htm.
- [91] PNUE / OREE. ADEME. Guide du management environnemental des zones d'activité francophones. 125p.1998
- [92] Bouillon H. Maîtriser les rejets urbains. Techni.Cités, N°64,2004.
- [93] Personne M, Brodhag CH," Evaluation des performances environnementales. Proposition d'une méthode adaptée aux PME" 15p, 1997.
- [94] WICE. Life cycle assessment. World industry council for the environment, Paris France, 16 P.1994

Références bibliographiques

- [95] Ekvall T. Key methodological issues for life cycle inventory analysis of paper recycling. *J Clean Prod*; 7 (4): 281-94. 1999
- [96] Editorail, Life Cycle Assessment- Introduction and overview. *J Cleaner Prod* 13 1207-1210. 2005
- [97] Jollet O, Myriam S, Pierre C, Analyse du cycle de vie : comprendre a réalisé un écobilan, 2010.
- [98] Organisation Internationale de Normalisation, "Norme ISO 14040 - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre," 2006.
- [99] Udo de H, Jolliet H.A.O, Finnveden.G et al, Best available practice regarding impact categories indicators in life cycle impact assessment .the international journal of life cycle assessment vol 4,n°2, pp66-44. 1999
- [100] Deborah N. Huntzinger a, Thomas D. Eatmon, A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies, *Journal of Cleaner Production* (17)668-675, 2009
- [101] Kicak, K., Ménard, J-F. Analyse du cycle de vie comparative des chaussées en béton de ciment et en béton bitumineux à des fins d'intégration de paramètres énergétiques et environnementaux au choix des types de chaussées, CIRAIG – Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services, 64 pages, 7 annexes , Juin 2009
- [102] Alejandro J, Antonio A , Arnaldo C , Ewan B , Comparative analysis of the life cycle impact assessment of available cement inventories in the EU, *Cement and Concrete Research* (37) 781–788, 2007
- [103] Navia R, Rivelab B, Lorber K.E, M'endez R. Recycling contaminated soil as alternative raw material in cement facilities: Life cycle assessment, *Resources, Conservation and recycling* (48) 339–356. 2006
- [104] Chen C, Habert G, Bouzidi Y, Jullien A, Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation. *Journal of Cleaner Production* (18) 478–485, 2010
- [105] Marta S, Jose L. Domingo, and Josepa G. Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood, *Environmental Research* (95) 198–206. 2004
- [106] Strazza C, Del Borghi A, Gallo M, Del Borghi M, Resource productivity enhancement as means for promoting cleaner production: analysis of co-incineration in cement plants through a life cycle approach *Journal of Cleaner Production* (19) 1615-1621, 2011
- [107] César V, Ricard G, José Luis C, Carles M. Gasol d, Manel G, Alejandro J, Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study, 2009
- [108] Cheung J , Jeknavorian A , Roberts L , Silva D Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement, *Cement and Concrete Research* xxx (2011) xxx–xxx (article in press 21 page) accepted March 2011
- [109] Sulapha P, Jan O, Janet L, Influence of chemical and physical characteristics of cement kiln dusts (CKDs) on their hydration behavior and potential suitability for soil stabilization ,*Cement and Concrete Research* (38) 803–815.2008
- [110] Kare Helge K, Review, formation, release and control of dioxins in cement kilns, *Chemosphere* (70) 543- 560. 2008
- [111] Vedat Ari , Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems - A case study, *Energy Conversion and Management* 46 (2005) 551–562
- [112] ADEM, CODDE Pôle de compétence en Environnement des Industries Electriques et Electroniques www.codde.fr en avril 2008.
- [113] Letchumi T and Sumiani, Comparative Analysis of Environmental Evaluation of LAS and MES in Detergent–A Malaysian Case Study, *World Applied Sciences Journal* 31 (9): 1635-1647, 2014

Références bibliographiques

- [114] Stalmans, M, Berenbold, H; Berna, J L; Cavalli, L; DilLarstone, A; Franke, M; Hirsinger, F; Janzen, D; Kosswig, K; Postlethwaite, D; Rappert, T H .European life cycle inventory for detergent surfactants production. *Journal of Theory, Thechnology and Application of Surfactant*, 32: 84-109.1995
- [115] Pittinger CA. Case study. Life cycle analysis of a detergent ingredient. Franklin Associates. Ltd. Kansas. P. 7-35.1991
- [116] Pittinger, CA; Sellers, JS; Janzen, DO et al. Environmental Life cycle inventory of detergent grade surfactant sourcing and production. *J. Amer. Oil Chem. Soc*, 70 (1); 1- 15.1993
- [117] Stalmans, M ; Sabaliunas D, Retrospective review of surfactant environmental assessment. *J. Detergents and Surfacts*, 130: 42. 2004
- [118] Gert VH. Diderik, S. Tom, C JF, Gert B and Patrick HM . Comparative life cycle assement of laundry detergent formulation in UK. Part: environmental fingerprint of five detergent formulation in 2001. *Tenside Surfactant Detergent*, 40: 266-275. 2003
- [119] Bell Canada, et Hydro- Québec, Guide sur les évaluations environnementales internes des projets de télécommunication et de distribution d'électricité, 2^{ème} édition, version de de Bell Canada. Montréal, Canada.1998
- [120] Sloss, L, L, NOx Emissions from coal combustion. Rep. IEACR/36 IEA Coal Research, London, 1991
- [121] Francesco C. Roberta .Vaccaro, Raffaele Cioffi. Life cycle assessment of sustainable concrete made with recycled aggregates, 2nd international conference on sustainable construction materails and technologies- ITALY ISBN 978-1-4507-1490-7 june 2010. www.claisse.info/proceedings.htm.
- [122] Lameed G.A, Ayodele A.E. Environmental nimpact assessment of cement factory, production on biodiversity: A case study of UNICEM Calabar Nigeria, *World journal of biological reseurch* 001:1 Published 28 February 2008,
- [123] Del Coz Diaz.J.J, Rodziguez Mazon.F, Garcia Nieto.P. J. Design and finite element analysis of a wet cycle cement rotary kiln, *Finite Elements in anlysis and Design* (39) 17- 42. 2002
- [124] Marta S, Jose L. Josepa G. Polluants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood, *Environmental Research* (95) 198-206. 2004
- [125] Pope, C.A ., Thun, M.J., Namboodri, M.M., Dockery, D.W , Particular air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US,adults .*Am, J, Resp, Crit, Care Med*. 151, 669-674.
- [126] Habert G., Billard C., Rossi P., Chen C., Roussel N.Cement production technology improvement compared to 4 factor objectives, *cement and concrete research* (40) 820- 826. 2010
- [127] Pulselli R.M., Simoncini E., Ridolfi R., Badtiani S., Specific emergy of cement and concrete : An energy based appraisal of building materials and their transport, *Ecological indicators* (8) 647- 656. 2008
- [128] Hasanbeigi A, Menke Ch , Price L, The CO₂ abatement cost for the Thailand cement industry, *journal of cleaner production* (18) 1509 – 1518. 2010
- [129] SELL N.J. , FISCHBACH F.A. , Energy conservation and dust production in wet rotary cement kiln, *Resource recovery and conservation*, (2) 119 – 125, 1976
- [130] Déjà J., Alicja Uliasz-Bochenczyk, Eugeniusz Mokrzycki, CO₂ emission from polish cement industry, *international journal of greenhouse gaz control* (4) 583-588.2010
- [131] Ali M.B., Saidur R., Hossain M.S., A review on emission analysis in cement industry, *renewable and sustainable energy review* (15) 2252- 2261. 2011
- [132] Benetto E., Corneliu Popovici E., Rousseaux P., Blondin J., LCA of fossil CO₂ emission reduction scenarios in coal biomass based electricity production, *energy conservation and management* (45) 3053-3074. 2004

Références bibliographiques

- [133] Habert G. et Roussel N., comment concevoir un béton ayant un faible impact environnemental ? Université de Paris, laboratoire central des ponts et des chaussées. 2007
- [134] Thomas Ma, évaluation environnementale de la production de granulats naturels en exploitation de carrière – indicateur, méthode et outils, thèse doctorat, université d'Orléans, institut des sciences de la terre, 2008
- [135] Lynn J.L, Bory B.H, Surfactant. In: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (Fourth edition), pp.478-541. J.I. Kroschwitz, Ed. John Wiley & Sons, New York, NY. 1996
- [135] Zoller U, Handbook of Detergent, part E: Application, surfactant Science Series, vol 141, CRS Press, New York 2008.
- [137] Gert V.H. Diderik, S; Tom, C JF, Gert B and Patrick H.M. Comparative life cycle assessment of laundry detergent formulation in UK. Part: environmental fingerprint of five detergent formulation in 2001. Tenside Surfactant Detergent, 40: 266-275. (2003)
- [138] Pittinger CA. Case study. Life cycle analysis of a detergent ingredient. Franklin Associates. Ltd. Kansas. P. 7-35. 1991
- [139] Rabetafika HN, Paquot M. FUSAGx L. Janssens, A. Castiaux – FUNDP H.N. Rabetafika, Ph. Dubois – UMH Contrats de recherche n°CP/16/451, CP/13/452, CP/14/453, , SYNTHESE DEVELOPPEMENT DURABLE ET RESSOURCES RENOUVELABLES CP/45 Janvier 2006 . <http://www.belspo.be>
- [140] Pérez-Carrera E, Victor M, Leon, Pablo A. Martin L, Gonzalez- Mazo E, Influence of the hydrophilic moiety of anionic and nonionic surfactant on their aerobic biodegradation in seawater. Science of the total environment (408) 922 – 930. 2010
- [141] AISE. Industrial and institutional sector environmental dossier on professional laundry 2000. [Http. // www.aise.eu/downloads /AISE_pro_laundry_dossier.pdf](http://www.aise.eu/downloads/AISE_pro_laundry_dossier.pdf).
- [142] Cole, H;. Super- clean and super-green: The environmental case for concentrated liquid laundry detergents. Washington, DC, 1994
- [143] Procter & Gamble, Product development for sustainable innovation Pira. 2010. Unpublished.
- [144] Kuta CC, Koch DD, Hildebrandt CC, Janzen DC. Improvement of product and packaging through use life cycle analysis .Resources, Conservation and Recycling, 14:185-198. 1995
- [145] TRS Letter to EPA administrator 6/21/2010.../codes /TRSA NPE Phase out commitment letter – textile rental association,
- [146] Girman, J .R. Volatile organic compounds and building back out. Occupational medicine: State of the art Reviews. October- December; 695-712. 1989. <http://ncbi.nlm.nih.gov>.
- [147] Gary A .Davis, Philip D. Dana D. Barbara Cornel, Household cleaner, environmental evaluation and proposed standards for general purpose household cleaner, prepared for Green Seal, Inc, july 1992.
- [148] Tibor C, Esther F, Gyula O, Biological activity and environmental impact of anionic surfactants, environment international (28) 337-348.2002
- [149] NOVOZYME, Sustainable innovation, cost neutral replacement of surfactants with enzyme, household and personal care today.n.4/2007.
- [150] Christophliemk P, Gerike P, Potokar M, Zeolites in handbook of environmental chemistry, vol3 part I, “detergents”; Ed:NT de Oude) Springer Verlag. Berlin 1992.
- [151]. King JE. Hopping WD, Holman W F, J Water poll control fed.52 (1980) 2875.
- [152] Corvesier N. Les substances médicamenteuses rejetées dans les eaux usées urbaines. Février 2000. [Http : // www.OIEAU.ORG](http://www.OIEAU.ORG)
- [153] PARI- IRAP, CANADA (rapport). Survol du guide de la stratégie de la conception écologique. Programme d'aide à la recherche industrielle.2002
- [154] Etude de comportement et effets des antibiotiques dans les eaux usées : www.cranfield.ac.uk/ecochemistry/eravmis.
- [155] <http://www.pharmacorama.com/Rubriques/Output/Histamine3.php>

Références bibliographiques

- [156] « Antispasmodique - Définition » issu de Sante-Médecine docteur Pierrick HORDE (santemedecine.commentcamarche.net).
- [157] Alahmad A, Daschner F.D, Kummerer K, Biodegradability of Cefotiam, Ciprofloxacin, Meropenem, Penicillin G, and Sulfamethoxazole and inhibition of wastewater bacteria. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 37, 158-163. 1999
- [158] Tixier C, Singer H.P, Oellers S, Muller S.R,. Occurrence and fate carbamazepine, clofibrac acid, diclofenac, ibuprofène, ketoprofène, and naproxen in surface waters. Environ. Sci.Technol. 37, 1061-1068.2003
- [159] Daughton CG, Ternes TA, Pharmaceutical and personal care product in the environment: Agence of subtle change? Environ. Health. Persp.107 supplement, 6, 907- 938.1999
- [160] Heberer T,. Occurrence, fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatique environment: a review of recent research data. Toxicol .Lett, 131, 5-17. 2002
- [161] Lucia H.M. Santo. L.M. Araujo.A.N. Adriano .F .Pena .A. Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. Journal of hazardous materials (175) 45-95. 2010
- [162] Cargouet M, Perdiz D, Mouassimsoual A, Tamisier-Karolak S, Levy Y.Assessment of river contamination by estrogenic compounds in Paris area (France). Sci. Tot. Environ. 324, 55-66. 2004
- [163] Roberto A. Marotta R. Paxéus N.Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photo degradation in aquatic environment, Chemosphere (50) 1319-1330.2003
- [164] Apone D.G, Weson D.P, Miller V, Shoemaker C, Antibacterial residues in marine sediment and invertebrates following chemotherapy in aquaculture. Aquaculture, 145, 55-75. 1996
- [165] Ternes T A. Stumpf.M, Schuppert B, Haberer K, Simultaneous determination of antiseptic and acidic drugs in sewage and river water.Von Wasser, 90, 295-309. 1998B
- [166] Kolpin DW, Furlong ET, Meyer MT, Thurman EM, Zaugg SD,Barber LB and Buxton HT. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in US Stream, 1999-2000: a national reconnaissance. Env. Sci.Technol, 36, 1202-1211.2002
- [167] Buser HR, Poiger T, Muller M.D, Occurrence and fate of the pharmaceutical drug diclofinac in surface water: Rapid photodegradation in a lake.EnvIRON .Sci .Technol. 32, 3449-3456.1998
- [168] Jagannathan M, Franz G, Muthupandian A .Combined advanced oxidation processes for the synergistic degradation of ibuprofen in aqueous environments .Journal of Hazardous Materials (178) 202-208.2010

Annexes

Procédés de fabrication du ciment

I. Cimenterie de Sour El Ghozlane (voie sèche)

a. Localisation

La société des ciments de Sour El Ghozlane (SC-SEG) est une filiale du Groupe Industriel et Commercial de l'entreprise des ciments et dérivés du centre (GIC-ERCC) créée par décret N°82-323 du 30/10/1982.

La filialisation de ses activités, intervenue le 17 septembre 1997, s'est concrétisée par la création de la filiale dénommée : société des ciments de Sour El Ghozlane.

La SC-SEG est une société publique par actions au capital de 1.900.000.000,00 DA.

Elle est située en bordure du CW 127 dans la commune de Sour El Ghozlane qui relève de la Wilaya de Bouira, la cimenterie est implantée au pied Nord du col de Becouche (904 mètres d'altitude) en rase campagne (zone extra-muros) :

- à 06 km au Nord de la localité de Sour El Ghozlane
- à 10 km de celle d'El- Hachimia
- à 31 km de Bouira, chef-lieu de Wilaya

b. Superficie

L'assiette de la cimenterie couvre une superficie de **389.907 m²** dont 111.000 m² de surface bâtie répartis comme suit :

- Chaîne de fabrication : 105.790 m²
- Bâtiments administratifs : 570 m²
- Magasins : 3.440 m²
- Bâtiments sociaux : 1.200 m²

c. Capacité de production

- 3.000 tonnes de clinker / jour
- 1.000.000 tonnes de ciment / an

d. Gisement de matières premières

La cimenterie possède une concession d'exploitation des carrières calcaire, gypse et argile.

✚ La carrière de **calcaire** de DJBEL SENTOUH est localisée à

- Lieu-dit : Col de Becouche
- Commune : Sour El Ghozlane
- Daira : Sour El Ghozlane
- Wilaya : Bouira

Le minerai venant subir un concassage primaire dans un concasseur à marteaux de capacité nominale de 1000 t/h

Les matériaux abattus sont chargés par des chargeurs Caterpillar de capacité 6 m³ et transportés par des Dumpers de 35 à 50 tonne de chaque utile jusqu'au concasseur situé à 500 m de la carrière pour y subir un concassage primaire avant d'être évacués vers l'usine.

✚ Le gisement **d'argile** est localisé sur le territoire de la commune de Sour El Ghozlane, dans la wilaya de Bouira. Il se trouve à environ 7 km du Nord-Est de Sour El Ghozlane et à environ 700 m de l'usine.

Selon l'analyse minéralogique cette argile est constituée par des minéraux argileux tels que : illite, kaolinite, chlorite et quartz. Le feldspath, le meca, la calcite, la dolomite y sont présents en petites quantités. Le diamètre des grains de quartz est très faible (20 microns).

✚ Le gisement de *gypse* d'EL HACHIMIA se trouve à environ 14 Km au Sud-Est de la ville de Sour El Ghozlane et à environ 19 Km de la cimenterie de Sour El Ghozlane Administrativement, le site est situé sur le territoire de la commune d'El Hachimia daïra de Sour El Ghozlane, wilaya de BOUIRA.

Le gisement est représenté par des formations de trias, néogène et du quaternaire.

✚ Les *ressources hydriques* de la wilaya de BOUIRA sont représentées par des barrages : Oued lakhal, Kodiet Acerdoune et Oued Seflet ainsi que le barrage de tilesdit et par 24 retenues colinéaires.

Les ressources hydriques de la zone d'étude sont représentées par le seul barrage de l'Oued Lakhal, situé dans la commune de Ain Bessem dont la capacité est de 30.106 m³ (distant de l'usine de 20 Km).

L'alimentation en eau pour les besoins de la cimenterie est réalisée à partir du barrage d'Oued Lakhal (80 %) grâce à la station de pompage SP2 située à 100 m au sud de l'usine).

Le reste des besoins est assuré par une station de pompage située au lieu-dit Guelt Zerga à 8 Km au Nord-Ouest de l'usine en amont du barrage sur l'Oued Lakhal.

I.1 procédé de fabrication

a. *Matières premières et autres pour les besoins de la cimenterie*

- Calcaire et argile dont les gisements sont situés à proximité de l'usine (respectivement à 700 et 200 mètres)
- Gypse provenant de la carrière d'El Hachimia (propriété de l'usine). L'approvisionnement en gypse est parfois assuré à partir de la carrière de Médéa.
- Pour le grès, la cimenterie dispose d'une carrière située à Sour El Ghozlane (Djebel Mazouze) non exploitée actuellement.
- Le sable est acheminé à partir de Boussaâda.
- Le minerai de fer de Rouina (Ain Defla)
- Le tuf du gisement de Zemouri dans la Wilaya de Boumerdes
- Le gaz naturel est acheminé par pipe à partir des stations de pré-détente et détente de la Sonelgaz
- La sacherie provient du marché national
- Le boulet provient de l'étranger et de l'ENF Tiaret
- Les produits réfractaires (briques et bétons) sont importés de l'étranger

La matière première (calcaire et argile) est acheminée vers l'atelier de concassage matière première d'une capacité de 1000 t/h où elle est transportée par convoyeurs à bandes vers un hall de :

→ Pré-homogénéisation et stockage d'argile (capacité 2 x 3000 t)

→ Pré-homogénéisation et stockage de calcaire (capacité 2 x 35000 t)

- La matière, après incorporation du sable et du minerai de fer est ensuite acheminée vers l'atelier de broyage cru (02 broyeurs) d'une capacité de 140 t/h par broyeur.
- La farine crue sortante est stockée dans deux silos d'homogénéisation d'une capacité

2 x 8000 tonnes et de là, elle rejoint l'atelier de cuisson ou four rotatif avec préchauffeur à 04 étages de cyclones (capacité 3000 t/ jour)

- Après la cuisson, le produit semi fini obtenu (clinker) est stocké dans trois silos à clinker d'une capacité de 15000 x 3 tonnes chacun.
- Les ajouts sont concassés au niveau de l'atelier de concassage des ajouts d'une capacité de 100 t/h (gypse, minerai de fer et calcaire pur).
- Le sable et le minerai de fer sont stockés après concassage au niveau du hall de pré-homogénéisation pour être incorporés au calcaire et à l'argile.
- Le tuf est stocké dans le hall tuf après séchage (le séchage se fait en période d'humidité).
- Les ajouts (gypse et tuf) sont incorporés au clinker (produit semi-fini) par des équipements de dosage (doseurs ajouts).
- Le broyage du mélange (02 broyeurs d'une capacité de 2 x 100 t/h) complète le processus après incorporation des ajouts et obtention du ciment (produit final) qui est acheminé par voie pneumatique vers 04 silos de stockage d'une capacité de 8000 t x4.

II. Cimenterie de Rais Hamidou (voie humide)

a)- localisation

La cimenterie de Rais Hamidou a été mise en service en 1914 par la société « LA FARGE ». Elle a été nationalisée en 1968 et placée sous le tutelle de la société nationale des matériaux de construction (SNMC), et dans le cadre de l'opération de restructuration des sociétés nationales lancée en 1982, la cimenterie de Rais Hamidou s'est trouvée sous la tutelle de l'entreprise régionale des ciments du centre(ERCC) en date du 30 octobre 1982, seulement et après une autre réorganisation du secteur industriel national entamée en 1997 .

Avec la mise en place des holdings, le groupe ERCC a été créé des filiales dont la société des ciments de l'algérois (SCAL) filiale du groupe ERCC en date de 10 janvier 1998 à ce jour, cette société se compose de deux unités, la cimenterie de Rais Hamidou et la carrière de Gypse à MEDEA.

L'unité de Rais Hamidou se trouve sur la côte ouest de la capitale Alger environ 7km à l'ouest d'Alger, commune de Rais Hamidou, Daïra de Bab El Oued, sa capacité annuelle est de 350.000 tonnes. Elle suit un processus de fabrication par voie humide, elle est constitué de :

a- L'USINE SUPERIEURE

Elle est située à 1500m au sud de l'usine inférieure, elle englobe toutes les installations du cru, carrière, atelier de concassage, atelier de broyage, et un hall de stockage.

b- L'USINE INFERIEURE :

Elle comporte toutes les installations du cuit :

- huit cuves (deux de correction et six contenant la patte)
- deux bassins d'homogénéisation (Chapuis)
- deux fours Rotatifs
- un hall de stockage du Clinker (la matière semi-fini)
- trois broyeurs à ciment
- sept silos de stockage du ciment.

II. 1 Procédé de fabrication

La matière première (calcaire et argile) est acheminée vers l'atelier de concassage matière première où elle est transportée par convoyeurs à bandes vers un hall de :

- Pré-homogénéisation et stockage d'argile
- Pré-homogénéisation et stockage de calcaire

- La matière, après incorporation du sable et du minerai de fer est ensuite acheminée vers l'atelier de broyage cru.
- La farine crue sortante est stockée dans deux silos d'homogénéisation et de là est ajoutée une quantité d'eau nécessaire pour l'obtention du slurry, par la suite elle rejoint l'atelier de cuisson ou four rotatif avec préchauffeur à 04 étages de cyclones
- La matière sous forme de pâte arrive à l'usine inférieure par une canalisation de 1500 m de longueur. Cette pâte alimente deux fours rotatifs parallèles pour la production de clinker. L'opération de clinkérisation s'accompagne d'émission de poussières et de gaz de combustion qui sont rejetés à travers une cheminée.
Les fours sont équipés de deux électrofiltres pour retenir les poussières et les

particules

- A la sortie du four N°1, le clinker se déverse sur une grille pour être refroidi sous l'effet de ventilateurs
- A ce stade, les poussières de clinkers sont aspirées par un cyclone, les grosses particules retombent par l'effet de leur poids dans la traînée et les plus fines sont acheminées vers un filtre à manches pour une filtration de l'air rejeté dans l'atmosphère
- Le clinker est ensuite acheminé après refroidissement vers le hall de stockage pour un broyage ultérieur.
- Pour le four N°2, il n'y a que le cyclone et pas de filtre à manches
- Durant le déversement dans le hall, il se produit des émissions de poussières de clinker
- La phase de broyage du clinker s'accompagne également d'émission de poussières au niveau
 - *De l'alimentation de la trémie de broyeur*
 - *Du transport du ciment par élévateur à godet pour être déversé à l'intérieur du séparateur dynamique*
 - *Du transport du produit ainsi séparé vers les silos de stockage du ciment*
- Pendant le stockage du ciment, des filtres à manches disposés au-dessus des silos évitent ainsi l'émanation des poussières vers l'atmosphère.
- Il est également à mentionner les émissions de poussières durant l'ensachage du ciment (remplissage des sacs) et lors du chargement des camions par du ciment en vrac ou en sacs.

Procédés de fabrication des détergents

Il existe deux types de processus de fabrication pour les détergent destiné pour lavage linge, la voie sèche et la voie humide, alors que les formes liquide destinées au lavage de la vaisselle, des sols et multi usage sont produit préparé par voie humide.

- La voie humide

Dans ce cas, il s'agit d'un mélange intime de tous les ingrédients constituant le détergent, notamment les trois types de tensions actifs (anionique, non ionique et cationique) dans un mélangeur en inox avec une forte agitation par hélice à grande vitesse afin d'assurer une meilleure homogénéisation et une viscosité avec un pH bien déterminées.

- La voie sèche

Dans ce cas, tous les ingrédients sont mélangé dans un mélangeur en inox, puis subissent un chauffage par un air chaud, tout en contrôlant la densité et l'humidité du mélange des tensions actifs et les agents de charge jusqu'à obtention d'une poudre granuleuse. Il s'agit donc des étapes suivantes :

a)- Dissolution de silicate de sodium

Dans cette Etape on fait la dissolution de silicate de sodium solide à 85% par l'addition de l'eau à l'aide d'un malaxeur à pression et à vapeur pour la rendre sous forme liquide à 35% puis l'envoyé vers une cuve de stockage.

b)- Préparation du Slurry

Le slurry ou pate détergente : est une suspension de sels minéraux et organiques dans l'eau maintenue constamment à chaud et sous agitation .il est composé des matières suivante :

- Tri poly phosphate de sodium (STPP).
- Silicate de sodium ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_7$).
- Alkyl Sulfonique Linéaire (LAS).
- La soude caustique (NaOH).
- Sulfate de sodium (Na_2SO_4).
- Carbonate de sodium (Na_2CO_3).
- Phosphonate.
- Savon.
- Azurant optique.
- Eau.

Le Slurry doit être maintenu à une température suffisamment chaude pour éviter les variations importante de ses propriétés rhéologique (élévation prompte et importante de la viscosité en particulier). Il constitue l'ultime étape avant la formation du produit à l'état sec. Il ne renferme pas les produits qui sont sensible à la chaleur (parfum, Enzymes, EDTA, Tensio-actif non ionique, Perborate de sodium). Ces derniers étant ajoutés en fin de la fabrication.

Pour cela l'installation comporte :

- Deux cuves (malaxeurs) : à double enveloppe munies de dispositifs d'agitation à pelles, avec introduction de matières élémentaires à l'état solide ou en solutions. La source de chaleur est la vapeur.

- Deux cuves de pesage intermédiaire : Sont situés au-dessus et à la verticale des cuves de préparation dont le cadran d'indication de pesage est située au niveau du poste de travail
La formation de la bouillie nécessite l'addition, dans un ordre bien déterminé dont l'eau en premier, des additifs préalablement pesés. L'agitation doit être maintenue tout au long de

l'addition. Le chauffage préalable du bain liquide initial (eau et solution de silicate de sodium) est nécessaire avant le début d'introduction des matières.

Caractéristique technique du slurry :

- Masse volumique (densité) : 1,1 – 1,2 kg/l.
- Température du slurry : 80 °C.
- Teneur en matière active : 12% \pm 1.
- Teneur en eau : 35% maximum.
- Teneur en matière séché : 65% minimum.
- PH (sur le produit tel quel) : 12 environ.

c)- Séchage de slurry (formation de la poudre vrac)

- *Pulvérisation et séchage du slurry*

Le procédé utilisé au niveau de l'unité est la pulvérisation à chaud donnant une poudre formée de microsphères creuses appelées "beads".

Ce procédé consiste à projeter, sous haute pression et dans un courant d'air chaud ascendant, le "slurry" dans une tour de vaporisation à travers des gicleurs fixes (8 gicleurs) disposés uniformément sur toute la paroi circulaire interne de la tour. Ceci provoque la vaporisation instantanée de l'eau et forme une poudre peu poussiéreuse, contenant le peu d'humidité souhaité, qui se dépose sur le fond de la tour d'où elle est continuellement extraite et acheminée vers les autres étapes de finition.

d)-Addition des produits sensibles à la chaleur

Au niveau de cette étape on ajoute les produits sensibles à la chaleur (80°C) tels que :

- Perborate de sodium.
- Enzymes.
- Ethylène diamine tétra acétique (EDTA).
- Tensio-actifs non ioniques.
- Parfum.

Figure N°80 : Schéma simplifié de processus de production des détergents



Annexe des figures

Figure N°21 : Taux d'émission atmosphérique / tonne de matières premières/ tonne de ciment

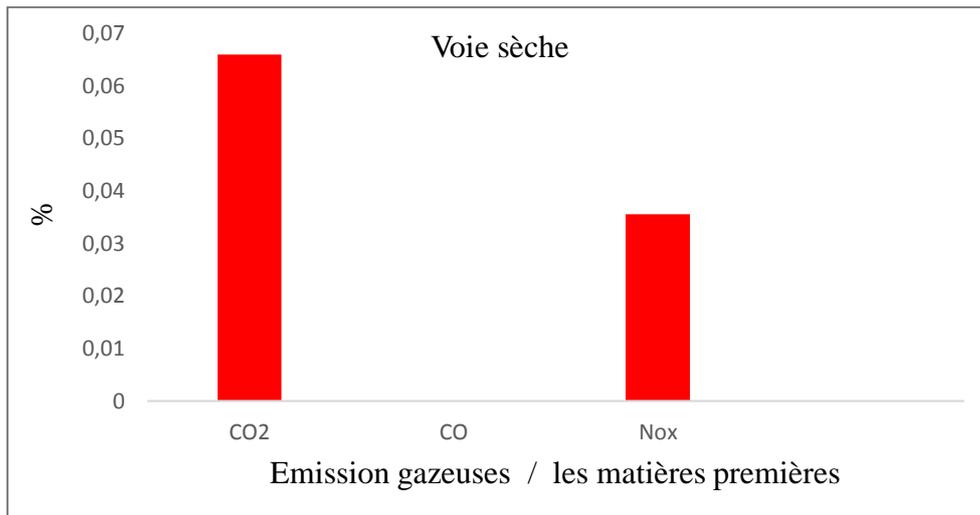


Figure N°22 : Taux d'émission atmosphérique / Tonne de calcaire

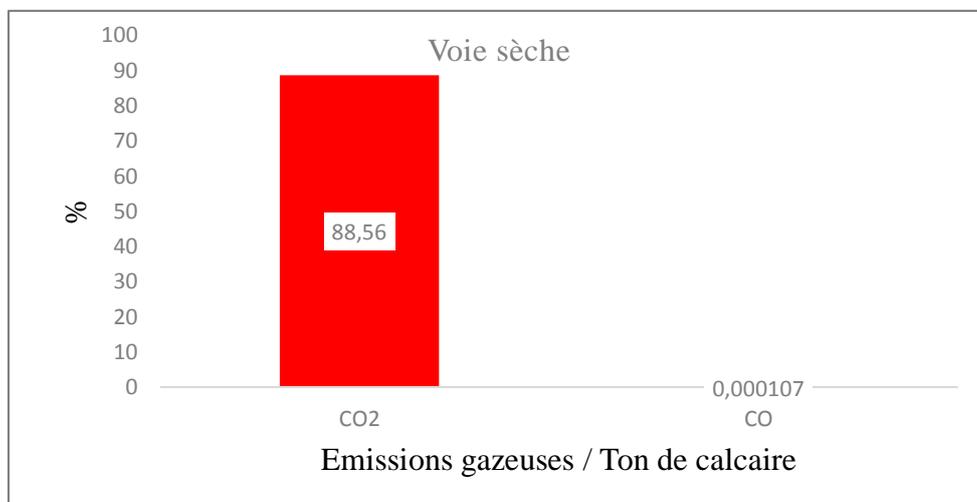


Figure N°23 : Taux de contribution de CO₂ aux impacts liés à l'émission de CO₂

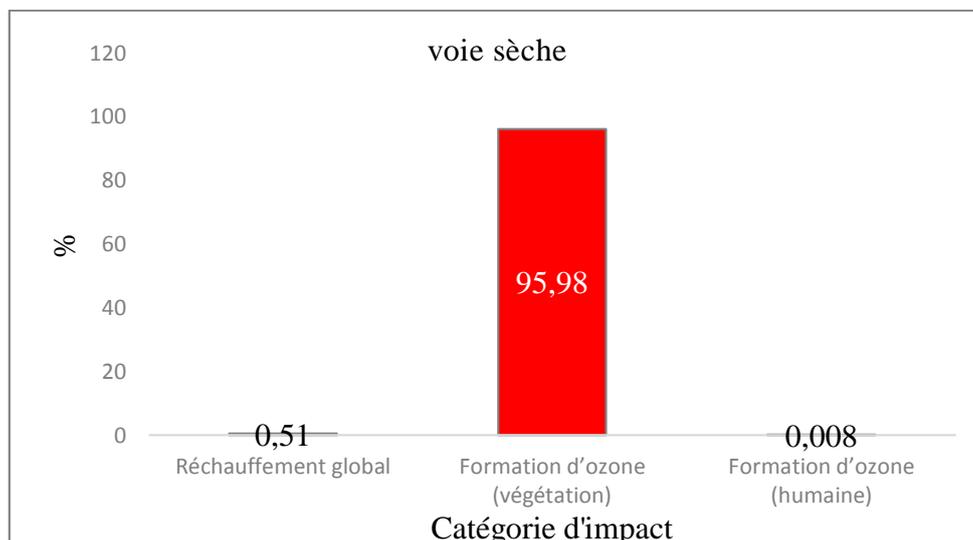


Figure N° 24 : Taux de contribution de CO aux impacts lié à l'émission de CO

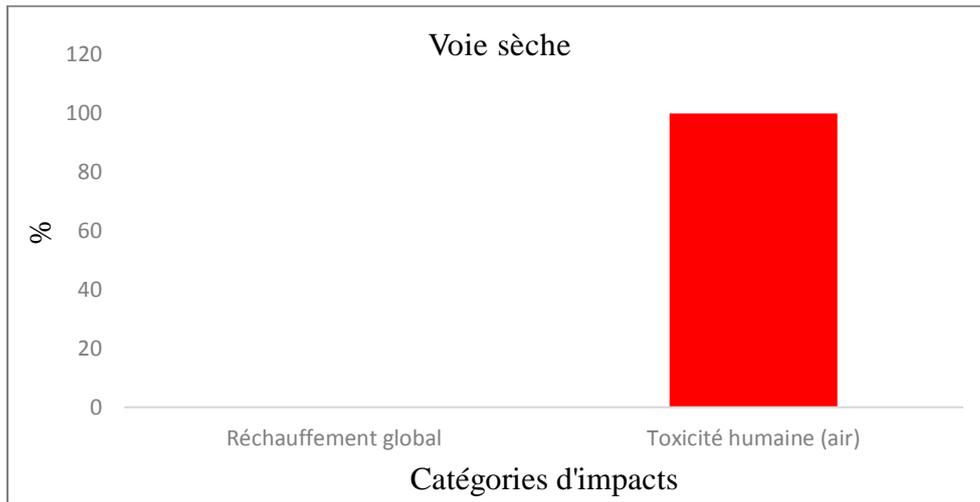


Figure N° 25 : Taux de contribution de NO₂ aux impacts liés à l'émission de NO₂

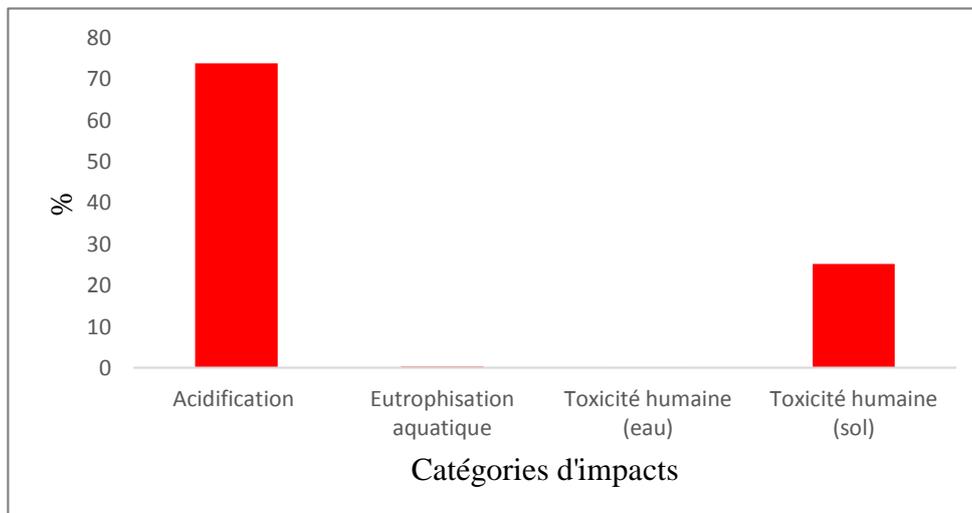


Figure N°26 : Taux de consommation de matières premières / tonne de ciment

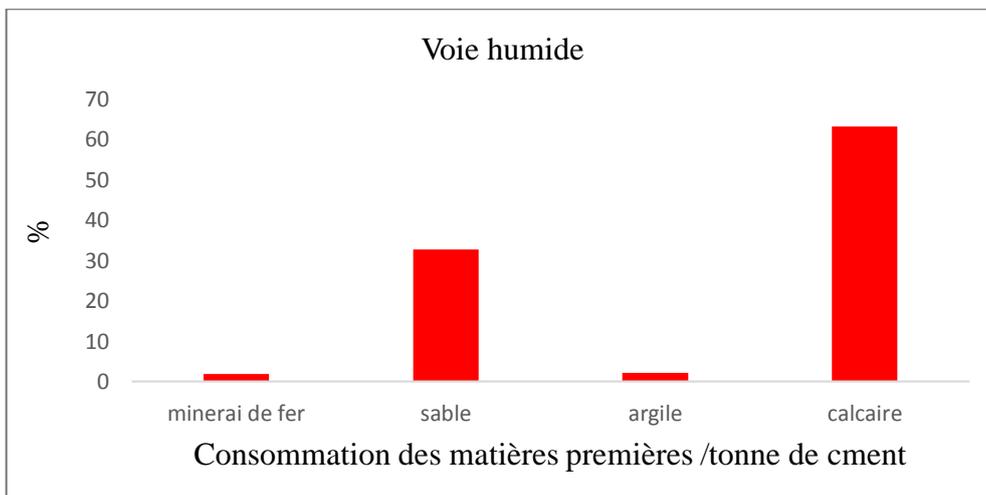


Figure N°27 : Consommation énergétique voie humide

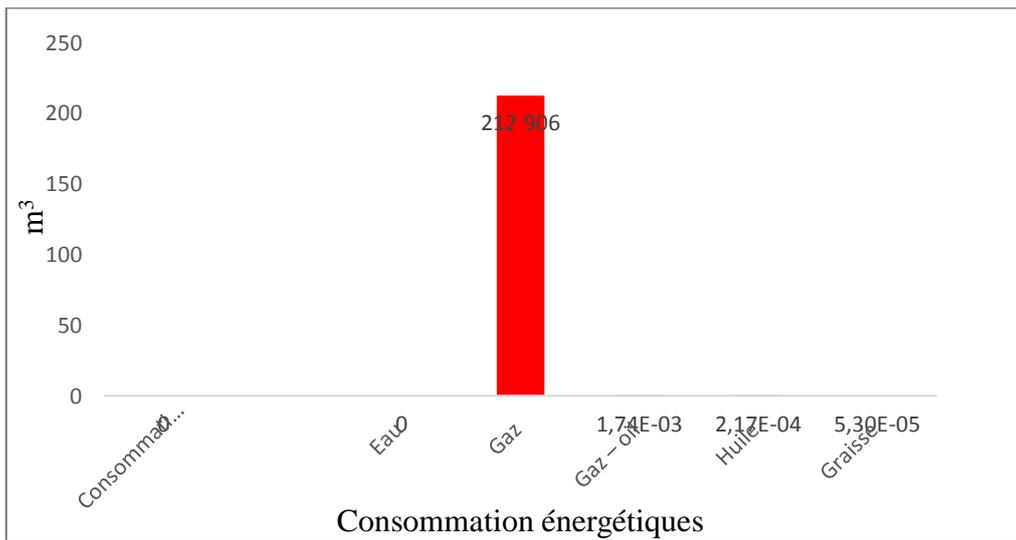


Figure N°28 : Taux d'émission atmosphérique / Matières premières/ Tonne de ciment

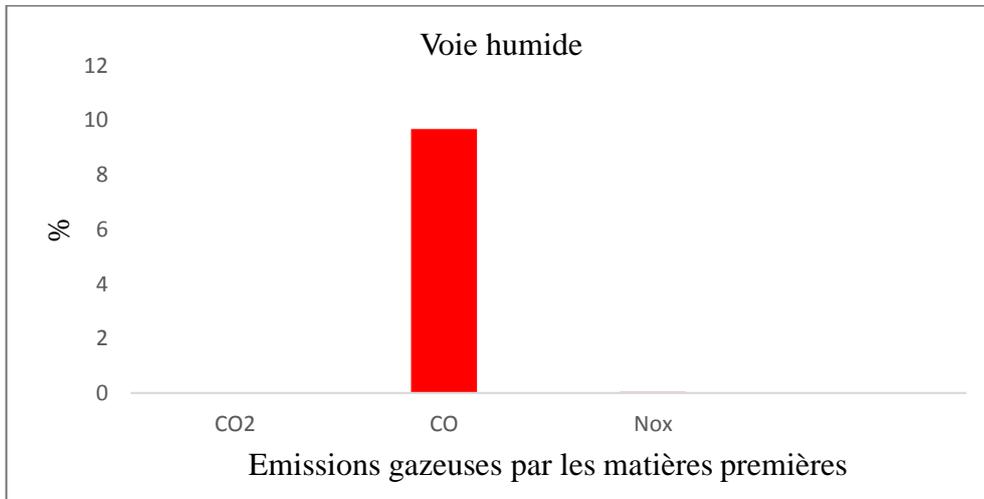


Figure N°29 : Taux d'émission atmosphérique / Tonne de calcaire

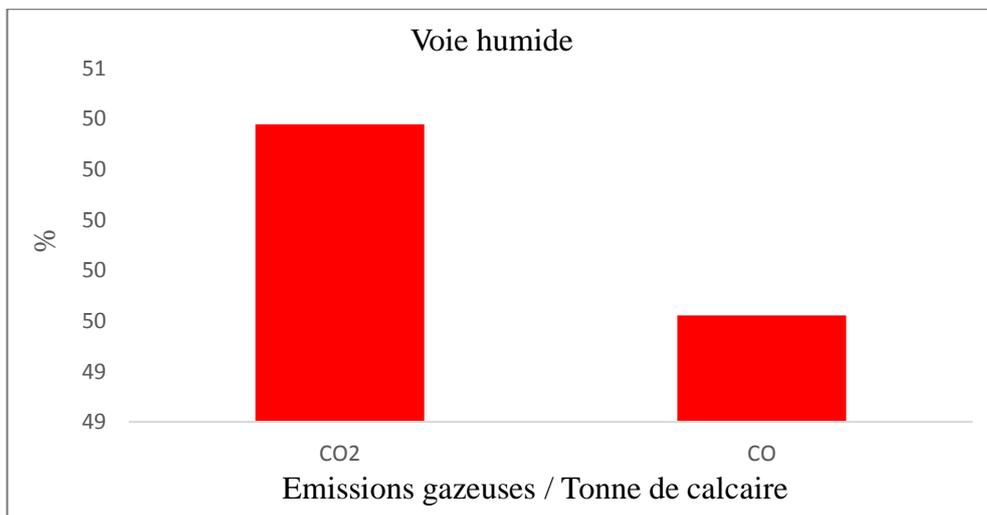


Figure N°30 : Taux de contribution de CO₂ aux impacts liés à l'émission du CO₂

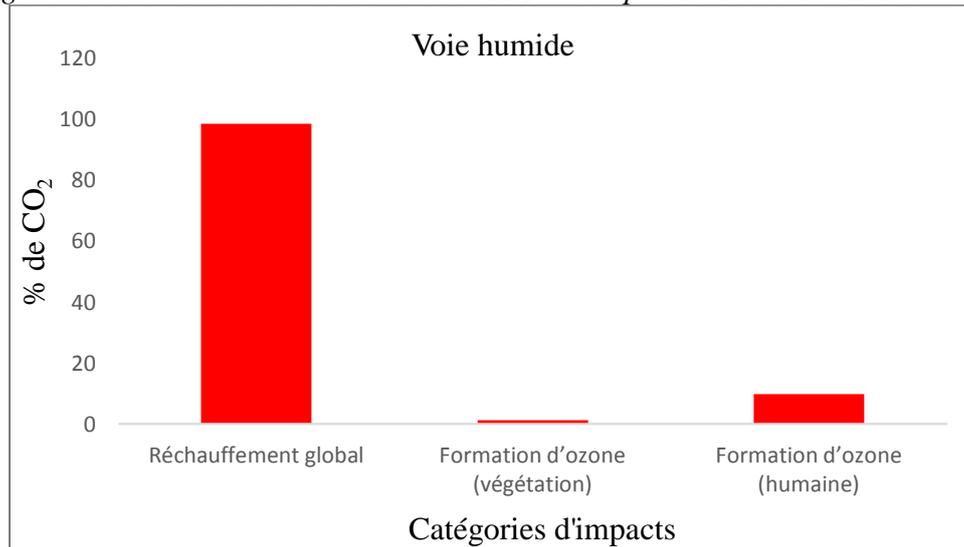


Figure N°31 : Taux de contribution de CO aux impacts liés à l'émission du CO

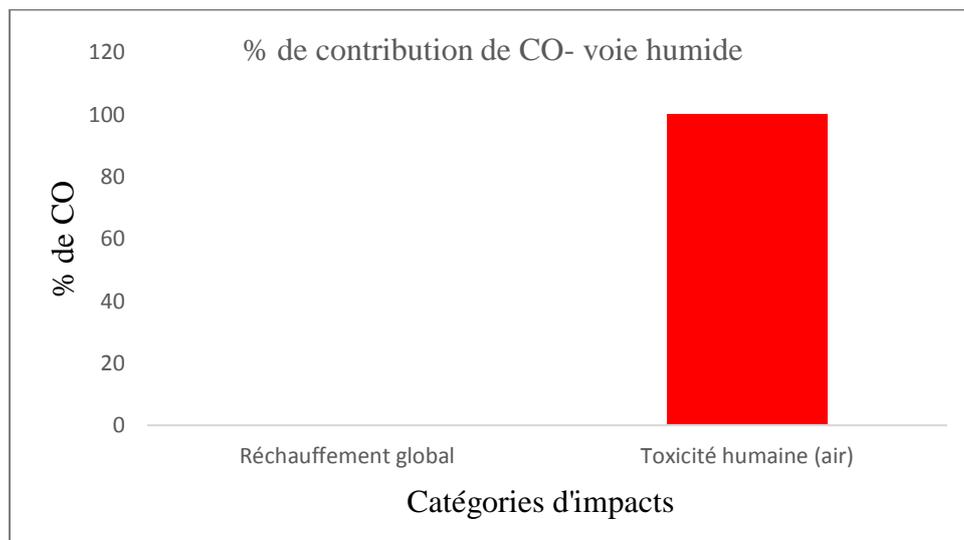


Figure N° 32 : Taux de contribution de NO₂ aux impacts liés à l'émission du NO₂

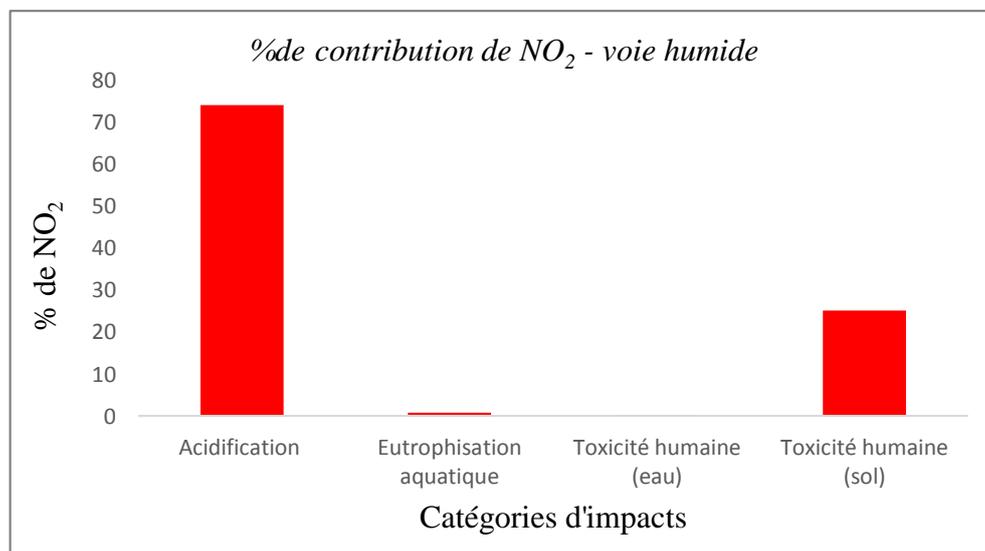


Figure N°33 : Comparaison des consommations des matières premières VS/VH

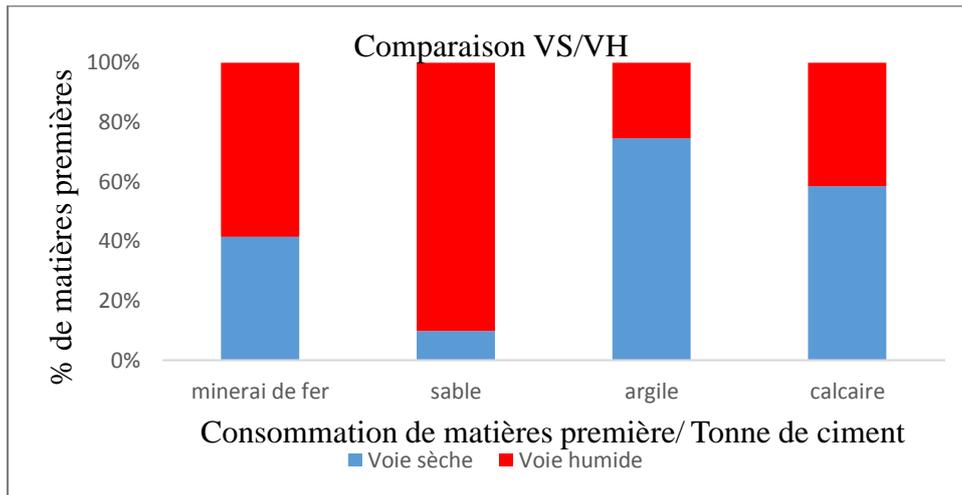


Figure N°34 : Comparaison des émissions atmosphériques / tonne de matières premières VS/VH / tonne de ciment

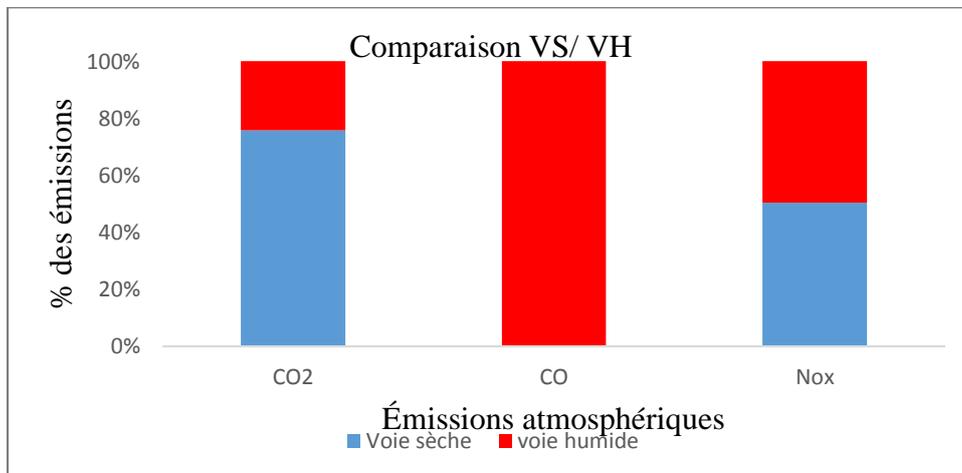


Figure N°35 : Comparaison des émissions atmosphériques / tonne de calcaire VS/VH Par tonne de ciment

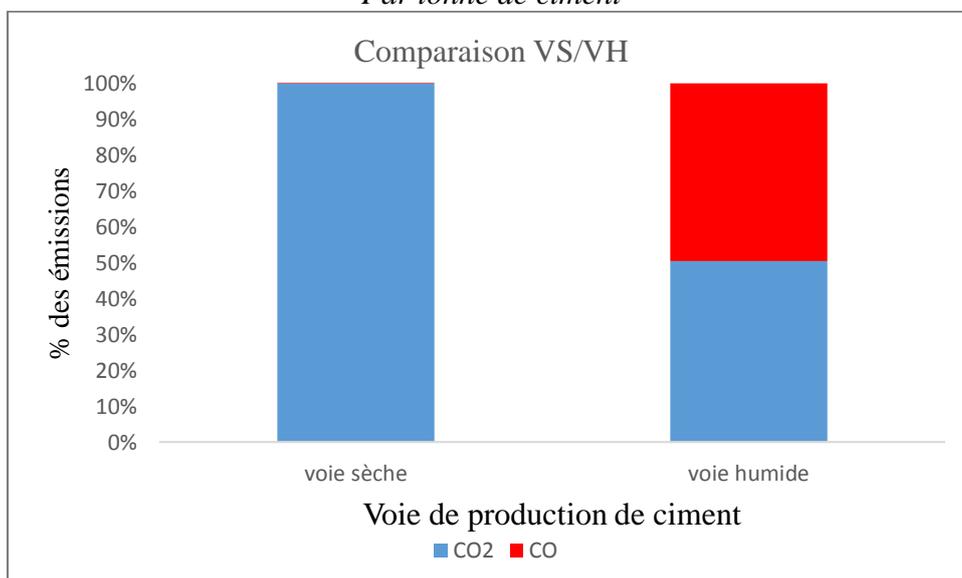


Figure N° 36 : Taux de contribution de CO₂ aux impacts liés à l'émission de CO₂

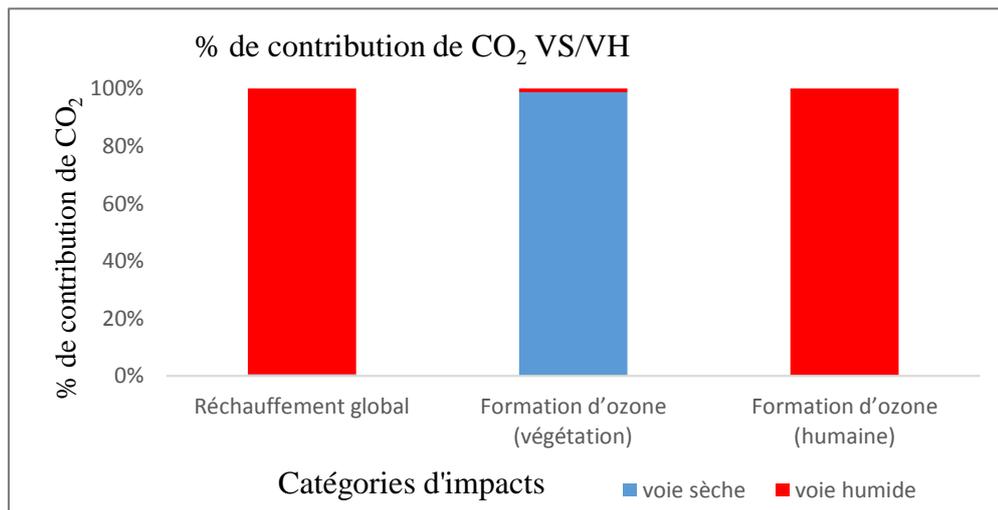


Figure N° 37 : Taux de contribution de CO aux impacts liés à l'émission de CO

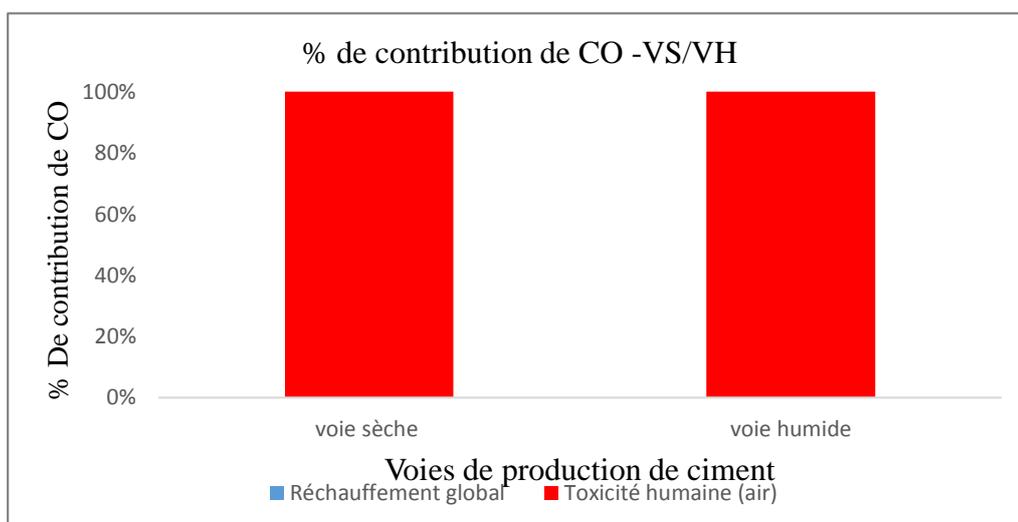


Figure N° 38 : Taux de contribution de NO₂ aux impacts liés à l'émission de NO₂

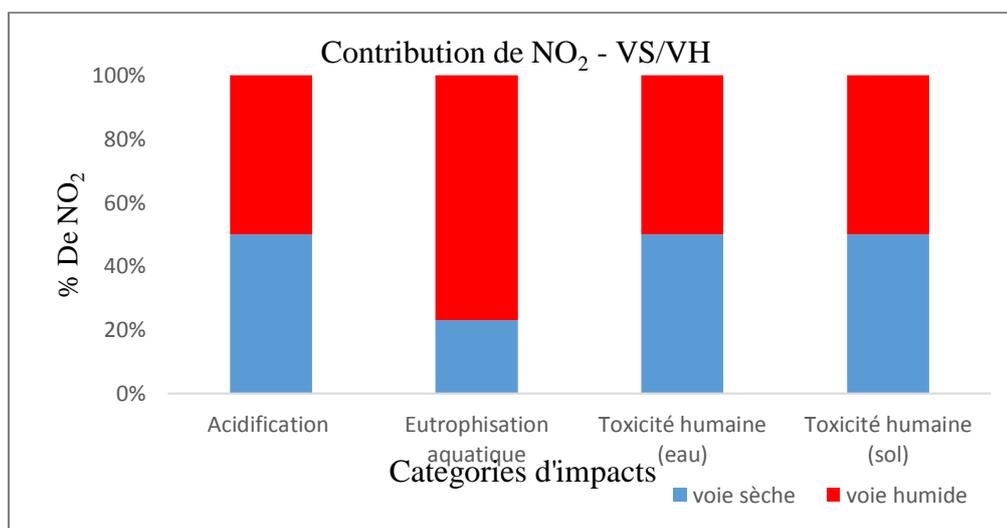


Figure N° 40 : Comparaison des taux de consommation des tensio-actifs

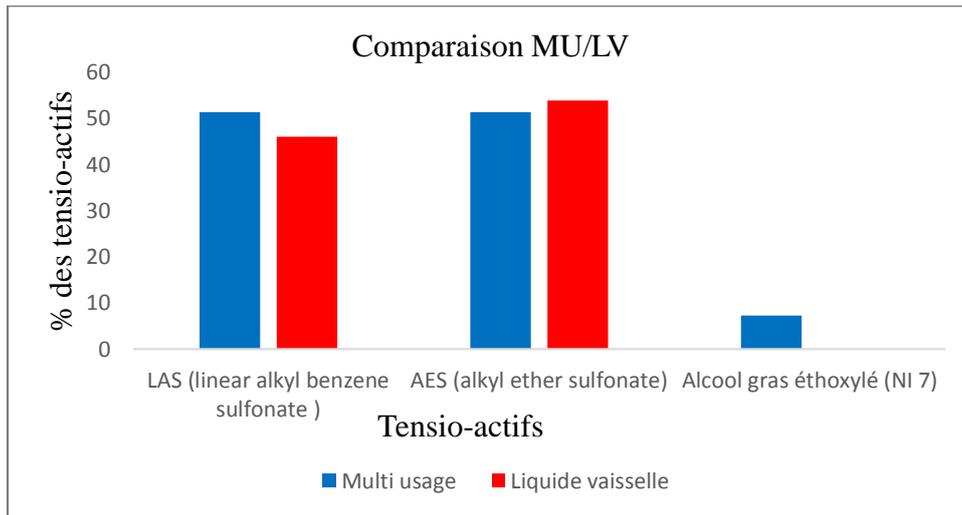


Figure N°41 : Comparaison des consommations d'emballage MU/LV

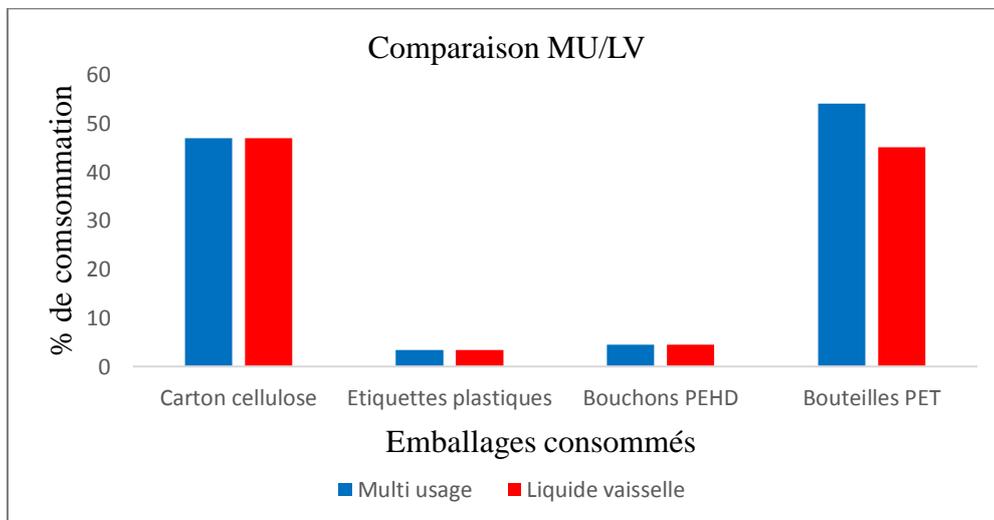


Figure N° 42 : Comparaison des consommations d'électricité MU/LV

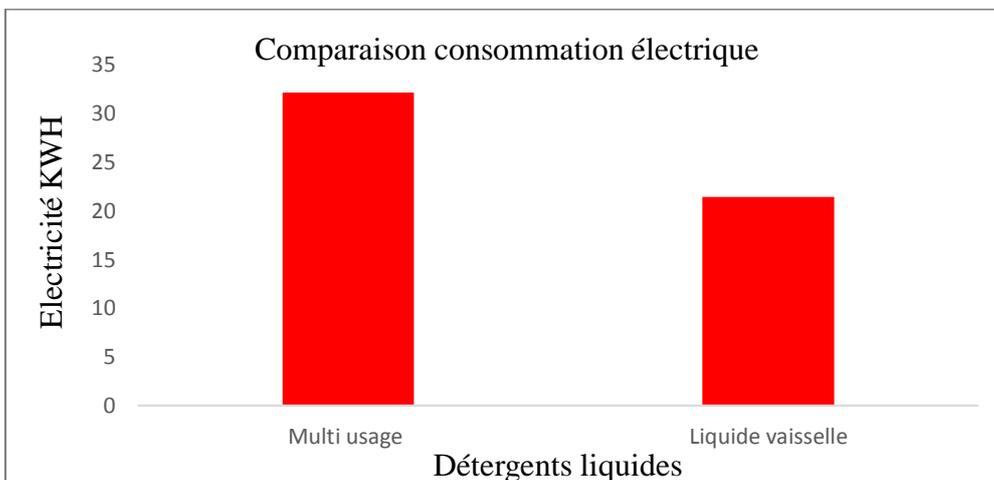
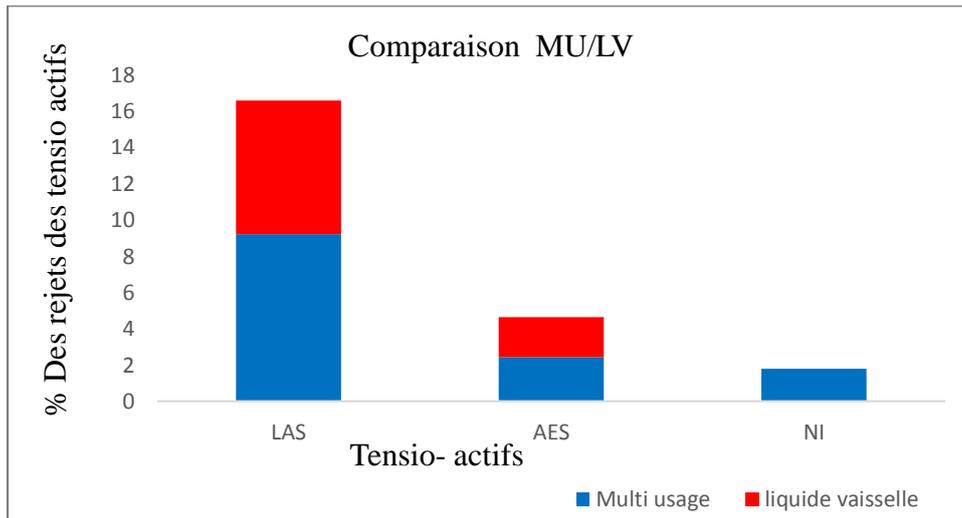
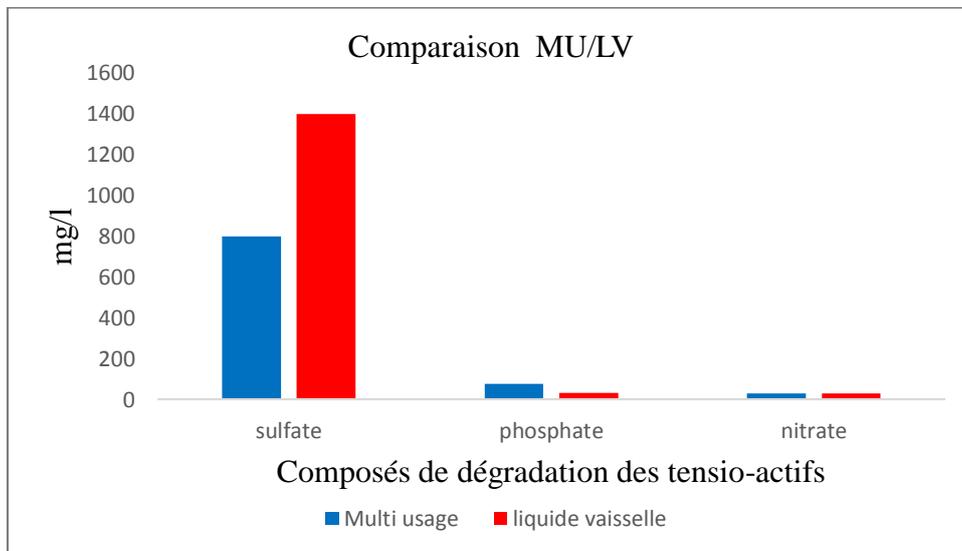


Figure N°43 : Comparaison des rejets –tensio-actifs : MU/LV



FigureN°44 : Comparaison des rejets –composés de dégradation- MU/LV



FigureN°45 : Comparaison des rejets - Charge polluante organique - MU/LV

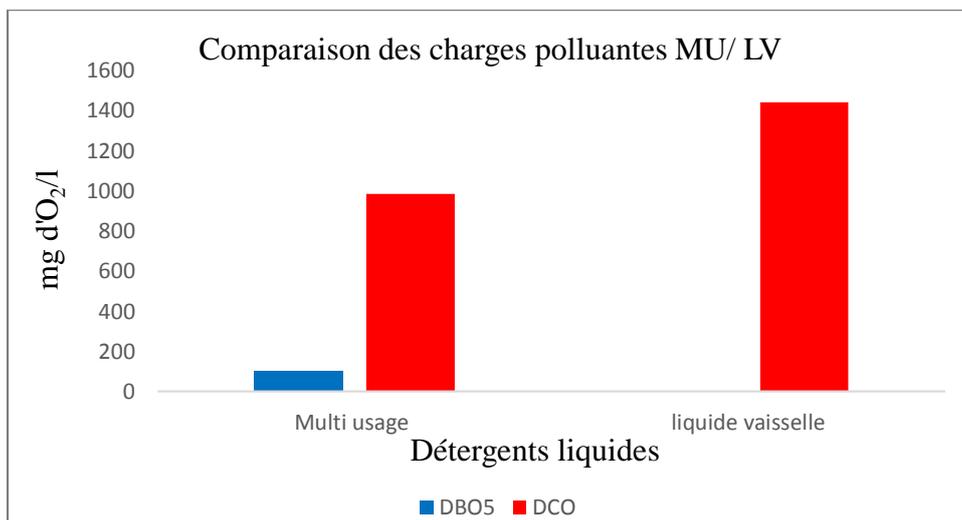


Figure N° 47 : Contribution des tensio-actifs à la toxicité humaine par l'eau

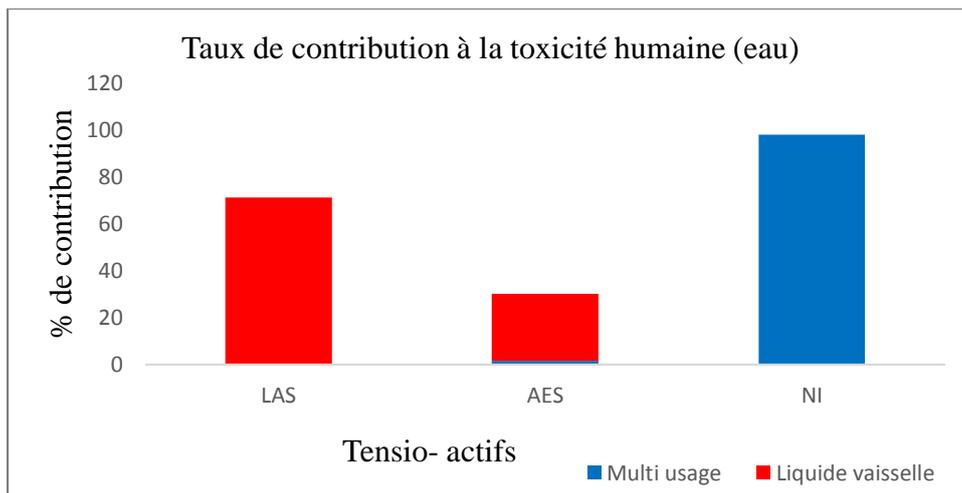


Figure N°48 : Taux de contribution du rejet d'1g/l de tensio-actif utilisé à la toxicité humaine par l'eau MU/LV

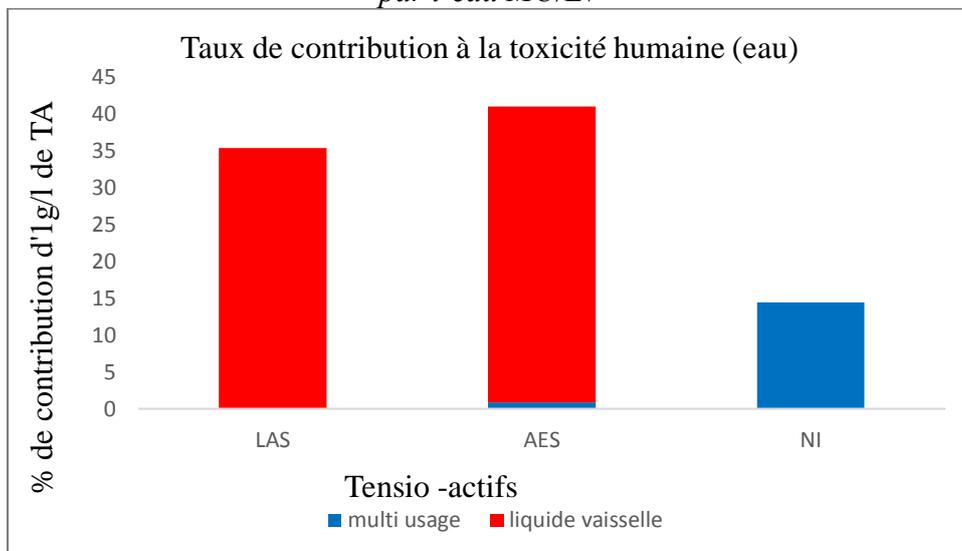


Figure N°49 : Taux de contribution des produits de dégradation à l'eutrophisation aquatique MU/LV

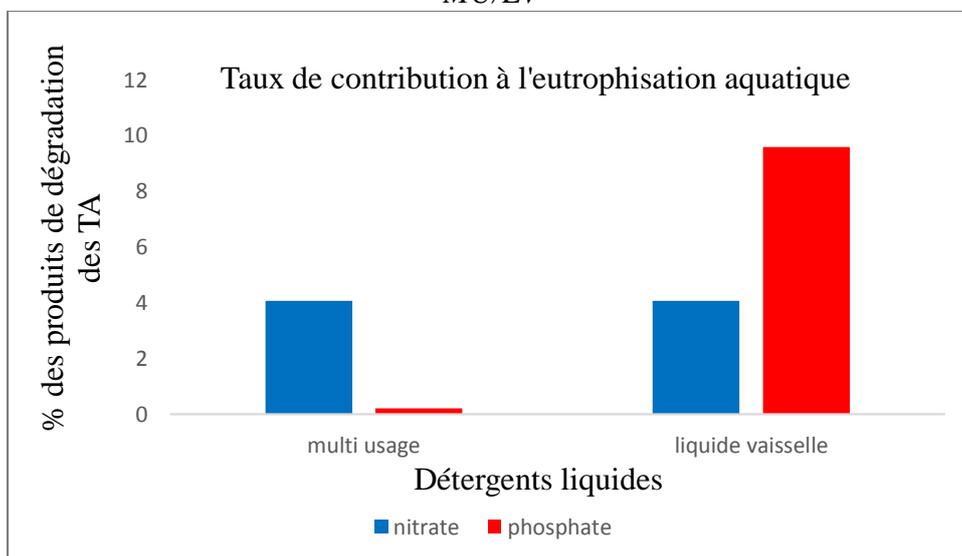


Figure N° 50 : Taux de consommation des tensioactifs LL/PL

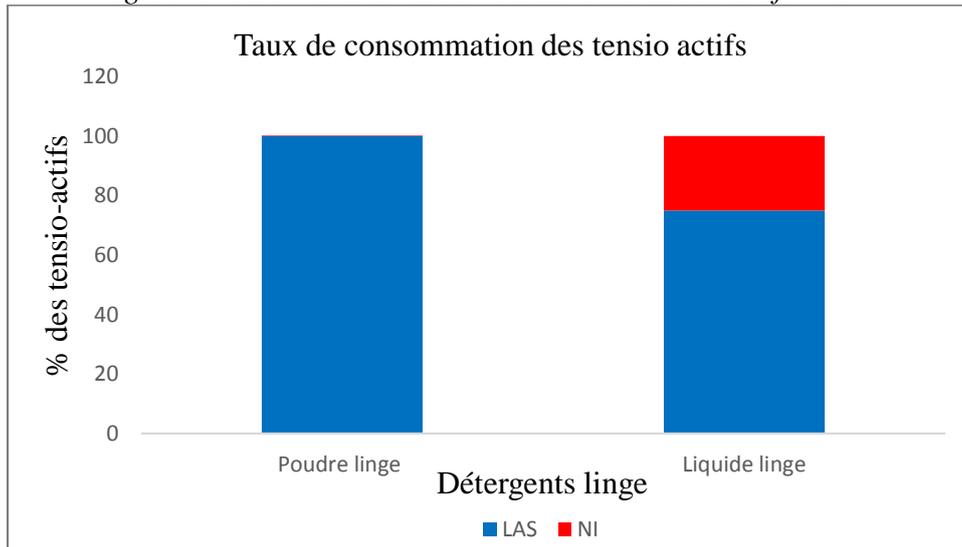


Figure N° 51 : Taux de consommation d'additifs LL/PL

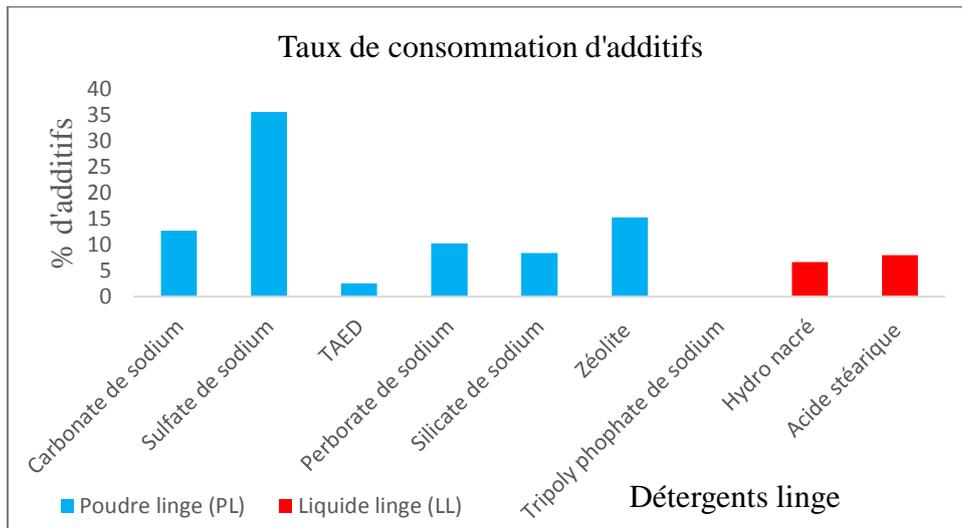


Figure N°52 : Comparaison des charges polluantes LL/PL

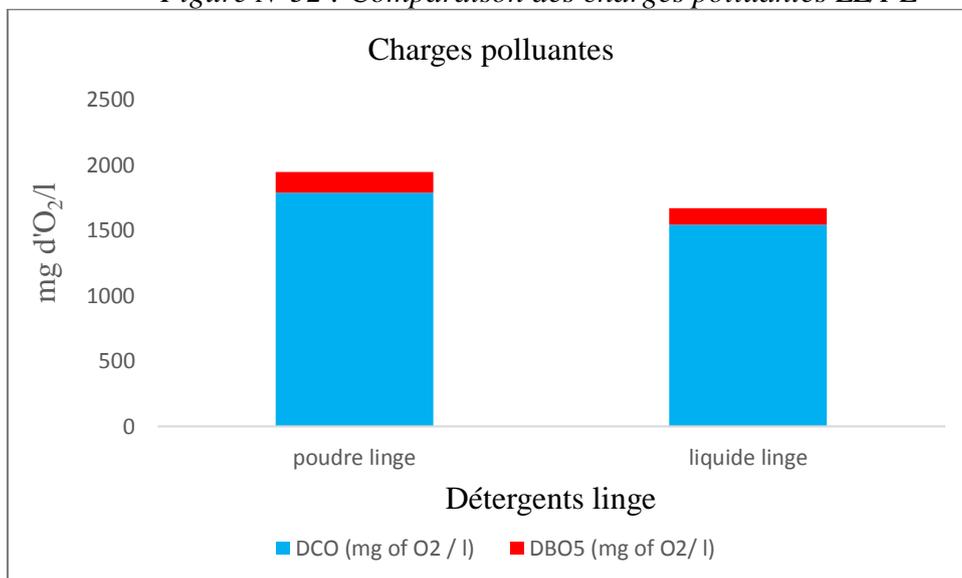


Figure N°53 : Comparaison de rejet de tensioactif (LAS) LL/PL

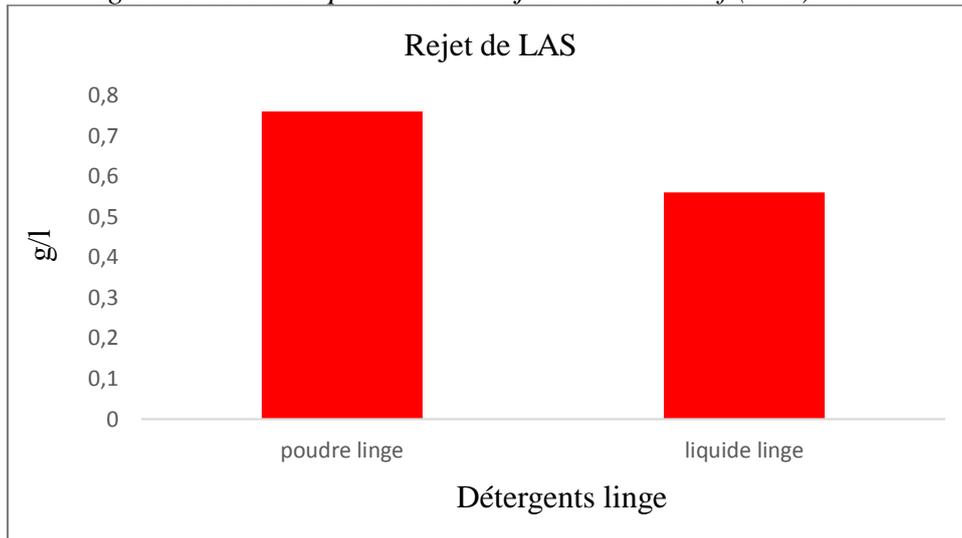


Figure N°54 : Comparaison des produits de dégradation LL/PL

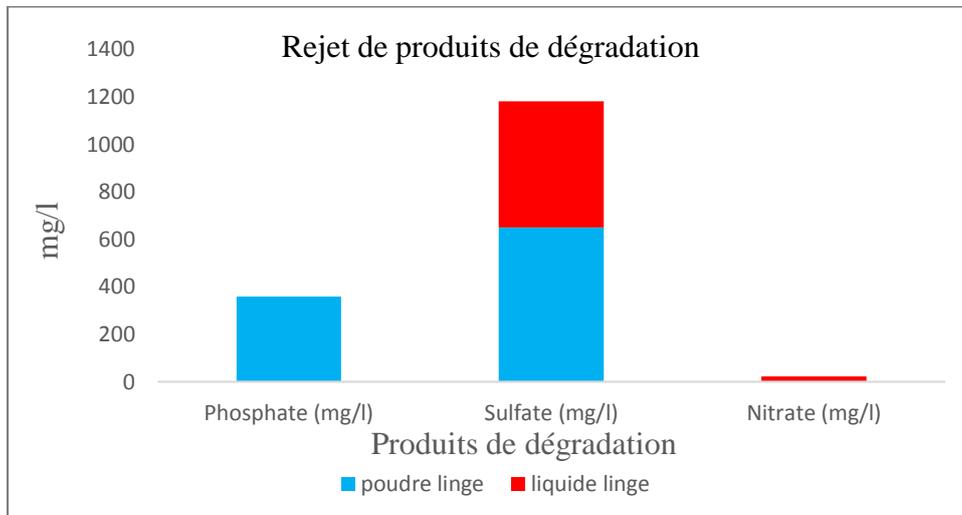


Figure N° 55 : Comparaison des déchets générés LL/PL

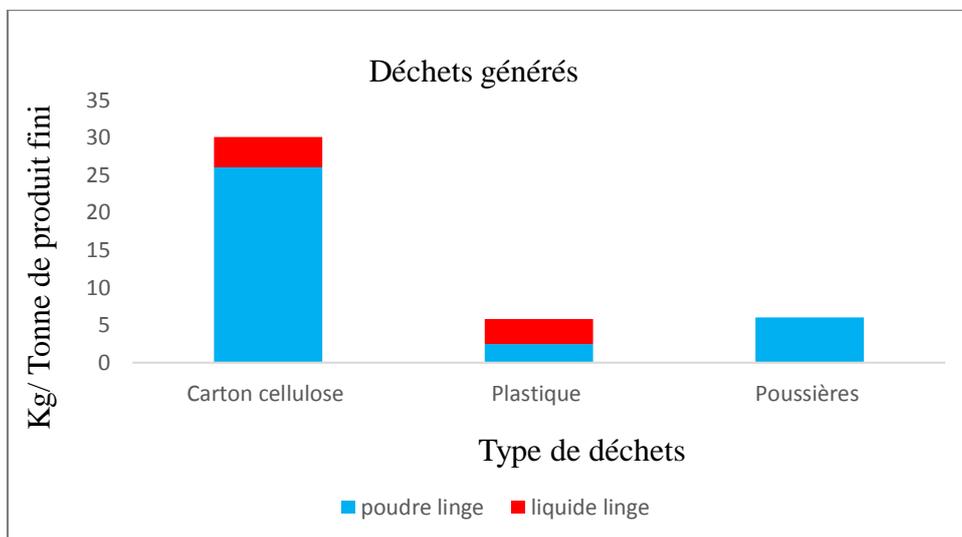


Figure N°56 : Taux de contribution aux impacts globaux LL/PL

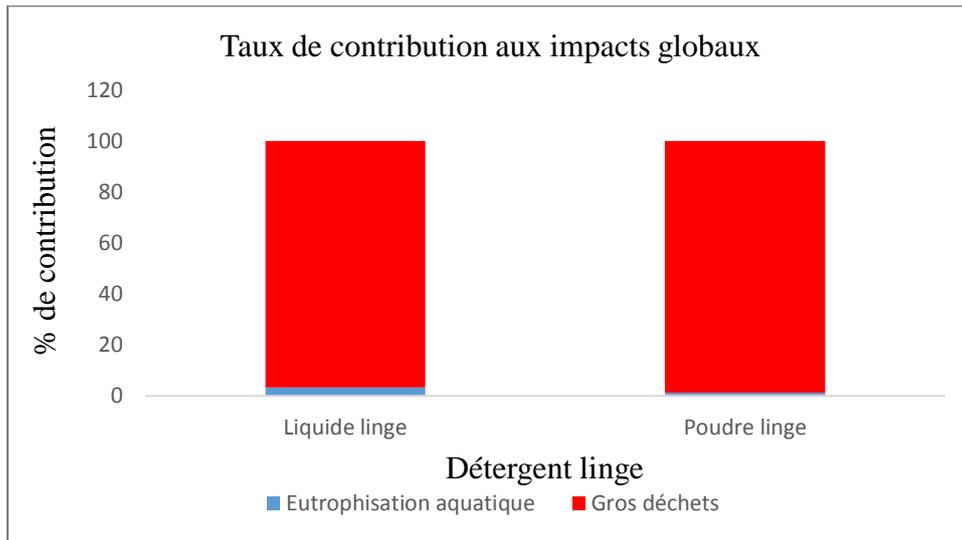


Figure N°57 : Comparaison de consommation des principes actifs- sirop Dénoral

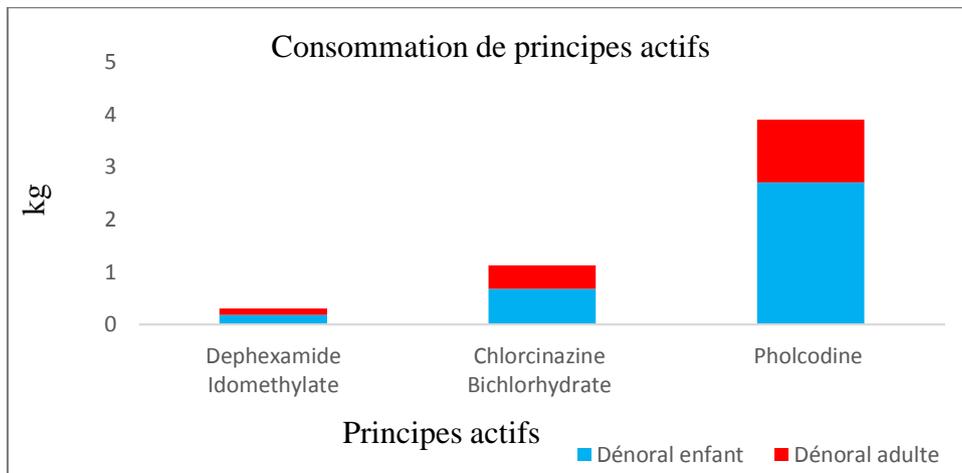


Figure N°58 : Comparaison de consommation des principes actifs Timonal/ Histagan

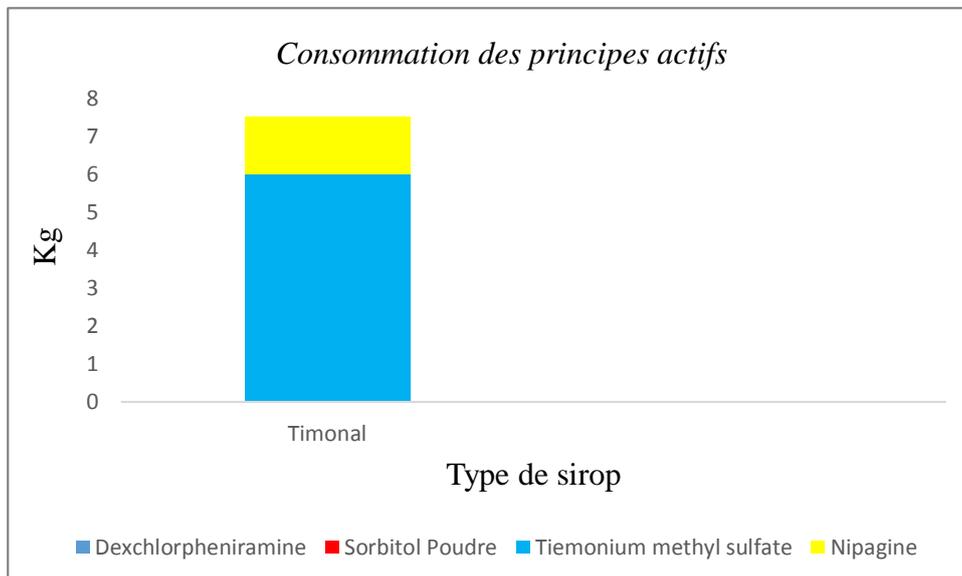


Figure N°59 : Comparaison consommation d'eau-Sirop

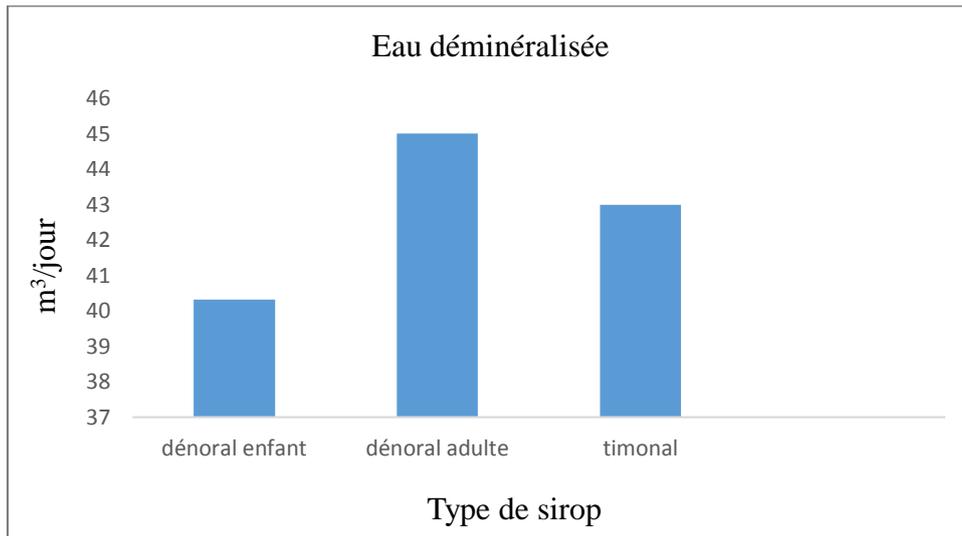


Figure N° 60 : Comparaison des charges polluantes-Sirop

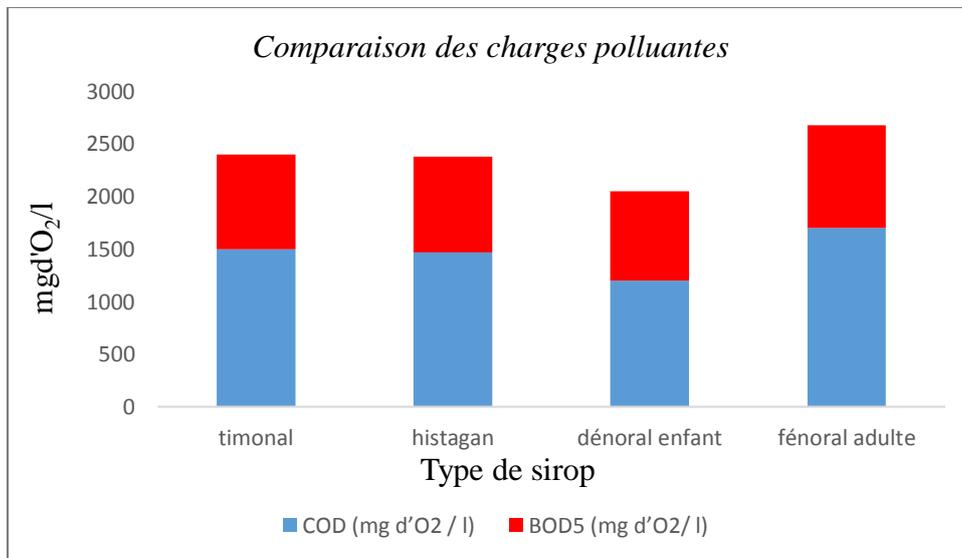


Figure N°66 : Comparaison consommation des principes actifs-pommade

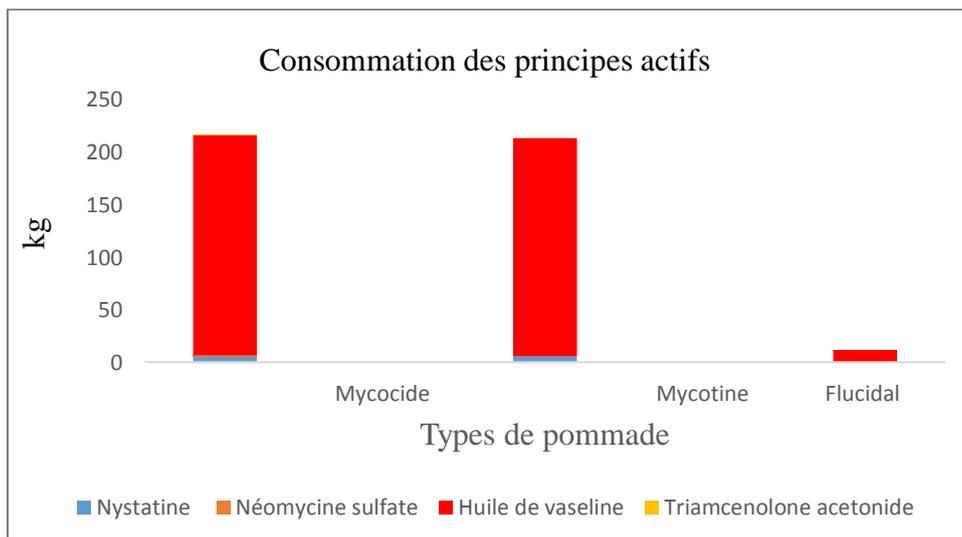


Figure N°67 : Comparaison de consommation d'eau-pommade

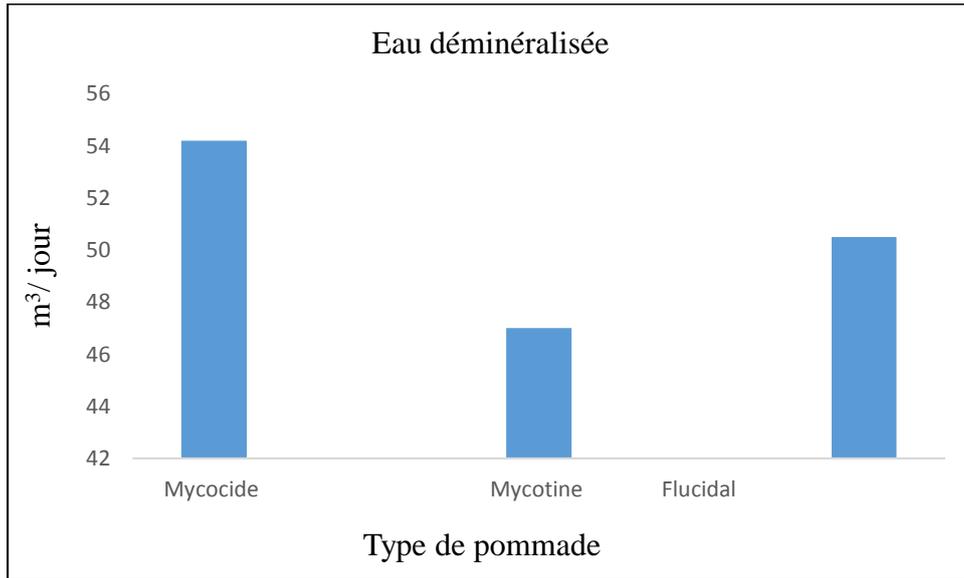


Figure N°68 : Comparaison d'électricité-pommade

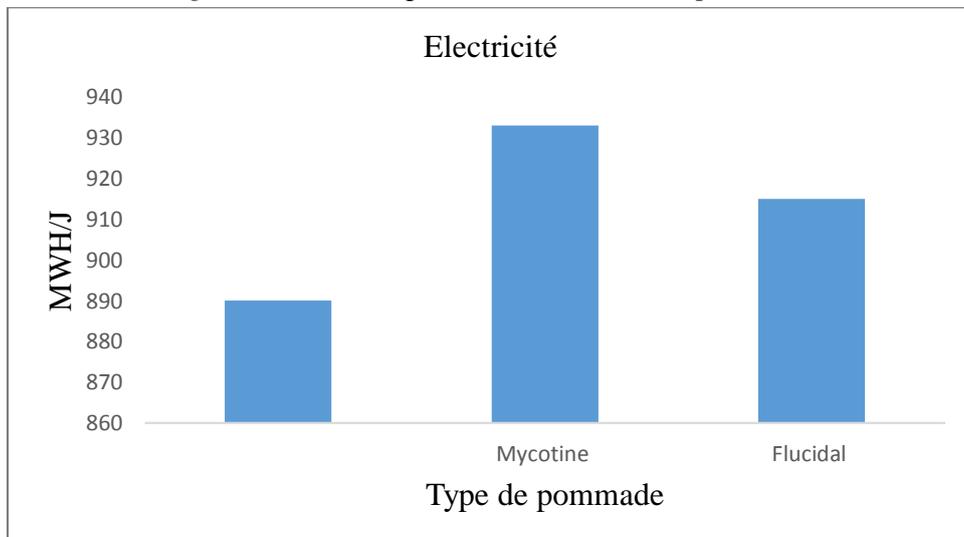


Figure N°69 : Comparaison de gaz naturel -pommade

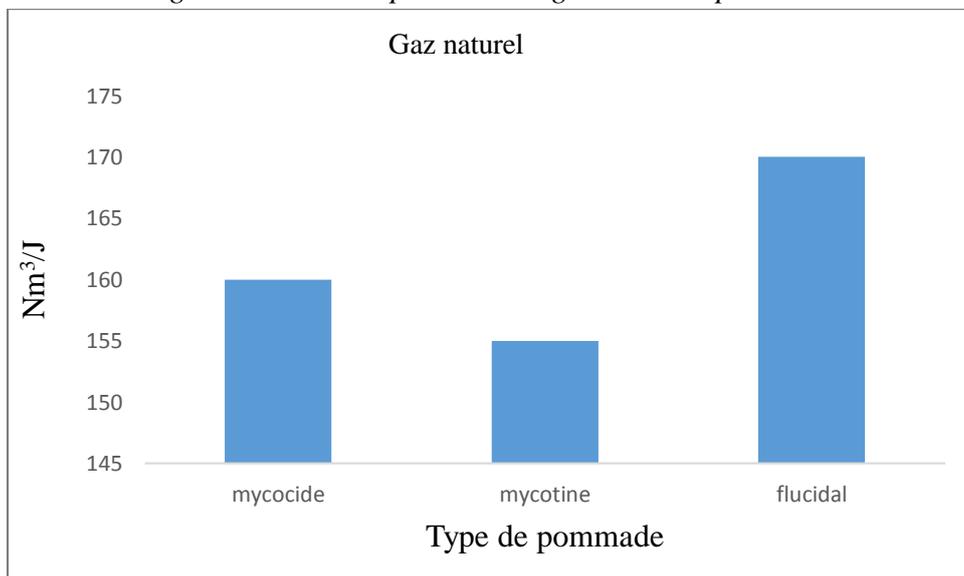


Figure N°70 : Comparaison de la charge polluante-pommade

