



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أمحمد بوقرة ببومرداس
Université M'Hamed Bougara de Boumerdès
كلية المحروقات والكيمياء
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Génie des Procédés Chimiques et Pharmaceutiques

Mémoire de fin d'études en vue d'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie des Procédés

Option : Hygiène Sécurité et Environnement

Thème

**Évaluation environnementale du process de
traitement des eaux usées ONA Boumerdes**

Présenté par :

ARBI SOUAD

Encadré par :

Mme Younsi Ferroudja

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Je remercier en premier lieu Dieu le tout puissant de m'avoir
aidée à bien mener ce travail

Je tiens à exprimer mes remerciements à ma promotrice
Mme YOUNSI FERROUDJA qui a dirigé ce travail et a bien voulu assurer mon
encadrement, pour son suivi et ses orientations

Je suis très reconnaissante à tous ceux qui ont contribué par
leur aide à mon travail de près ou de loin

Au terme de ce travail, je suis heureuse d'exprimer mes sincères remerciements **Mr**
LAMOU mon encadreur au niveau de la station (ONA) de Boumerdes

Sans oublier l'ingénieur de laboratoire **Madame Hassiba** pour son aide

Et je remercie particulièrement mon collègue de travail **Madame Megdoud Imane** qui
m'a beaucoup aidé

Je remercier également les membres de jury

Qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Dédicaces

A la mémoire de mon père

A ma chère maman qui a partagée avec moi mes peines, mes joies et tous mes soucis

A ma grande mère que dieu garde

A mon chère marie qui m'a aidé et m'a souhaité la réussite

A mes chères enfants que dieu garde Celina et Anes

A mon cher frère et sa famille

A tous mes amies et mes collègues de travail

Je dédie ce mémoire

Remerciements

Dédicace

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction.....1

Chapitre1 : Généralité sur les eaux usées

1.1. Introduction3

1.2. Pollution de l'eau.....3

 1.2.1. Origine de la pollution3

 1.2.2. Types de pollution4

1.3. Les eaux usées7

 1.3.1. Paramètres de mesure.....8

 a. Paramètres physico-chimiques8

 b. Paramètres chimiques (indicateurs de pollution)10

 c. Paramètres biologiques11

 1.3.2. Les étapes du traitement.....12

 a. Le pré-traitement12

 b. Le traitement primaire.....13

 c. Le traitement secondaire14

 d. Le traitement tertiaire17

Chapitre2 : Présentation de la méthode Analyse de Cycle de Vie (ACV)

2.1. Historique19

2.2. Définition de l'ACV20

2.3. Cadre méthodologique d'une ACV.....21

 2.3.1. Etape 1 : Définition des objectifs et du champ de l'étude22

 2.3.2. Etape 2 : Inventaire du cycle de vie23

 2.3.3. Etape 3 : Evaluation de l'impact environnemental.....24

 a. La classification24

 b. La caractérisation des impacts.....25

 2.3.4. Etape 4 : Interprétation.....25

2.4. Atouts et limites de l'ACV26

2.5. Comparaison de l'ACV avec d'autres outils27

Table des matières:

2.6. Les impacts environnementaux potentiels considérés en ACV.....	29
2.6.1. Toxicité humaine.....	30
2.6.2. Déplétion de la couche d’ozone... ..	30
2.6.3. Formation d’ozone troposphérique.....	31
2.6.4. Effets respiratoires dus à des composés inorganiques.....	31
2.6.5. Changement climatique.....	31
2.6.6. Ecotoxicité aquatique et terrestre.....	32
2.6.7. Eutrophisation aquatique et terrestre.....	32
2.6.8. Acidification.....	33
2.6.9. Déplétion des ressources biotique et abiotiques.....	33
2.6.10. Utilisation de l’espace naturel.....	34
2.7. Outils de modélisation des impacts utilisés par l’ACV.....	34

Chapitre 3 : Application de l’ACV au process d’épuration des eaux usées (ONA)

3.1. Présentation de la station d’épuration de Boumerdes.....	35
3.1.1. Description et situation géographique.....	35
3.1.2. Définition de la pollution à traiter.....	35
3.1.3. Description de la procédure de traitement de la station de Boumerdés.....	37
a. Arrivée des eaux et bassins d’orage.....	38
b. Dégrillage.....	38
c. Dessablage-dégraissage.....	39
d. Traitement biologique.....	40
e. Clarification finale.....	41
3.2. Application de l’ACV à la station d’épuration de Boumerdes.....	45
3.2.1 Définition des objectifs et du champ de l’étude.....	45
3.2.2. Inventaire du cycle de vie.....	46
3.2.3. Evaluation des impacts et interprétation des résultats.....	49
3.2.4. Synthèse des résultats.....	63
Conclusion générale.....	64

Référence bibliographique

ANNEXES

Liste des tableaux :

Tableau1.1: Décret exécutif de rejets pour l'irrigation... ..	12
Tableau 2.1 : Survol historique des analyses du cycle de vie.....	14
Tableau2.2 : Normes ISO14000 dans le domaine de l'environnement et de l'analyse cycle de vie... ..	15
Tableau 2.3 : Classification des différentes catégories d'impacts.....	19
Tableau 2.4 : Résumé non exhaustif des quatre phases de l'ACV	26
Tableau 2.5 : Avantages et inconvénients des différents outils d'évaluation environnementale	29
Tableau 2.6 : Logiciels utilisés par la démarche ACV	34
Tableau 3.1 : consommation en réactif de la station	47
Tableau 3.2 : Informations concernant le transport des différents produits	47
Tableau 3.3 : Paramètres de l'eau d'entrée de la station	48
Tableau 3.4 : Paramètres de l'eau de sortie de la station	48
Tableau 3.5: Paramètres de l'eau de sortie de la station (rendement).....	48
Tableau 3.6 : Résultats des analyses des éléments traces métalliques (ETM).....	48
Tableau 3.7 : Résultats de l'analyse des boues déshydratées	49
Tableau 3.8 : Résultats de l'analyse des déchets.....	49

Listes des figures :

Figure 2.1 : Phases de l'analyse de cycle de vie (ISO, 2006a).....	16
Figure 2.2 : Arbre de processus et principales étapes du cycle de vie d'un produit.....	17
Figure 2.3 : Amélioration de l'étape la plus impactante entraînant un transfert d'impact	27
Figure 2.4 : Cadre du PNUE/SETAC permettant de faire le lien entre inventaire des pressions, impacts à mi-parcours et dommages sur les aires de protection	30
Figure 3.1 : position géographique de la STEP de Boumerdes.....	35
Figure 3.2 : Synoptique de la station de Boumerdes	36
Figure 3.3 : L'épuration des eaux	37
Figure 3.4 : Bassin d'orage.....	38
Figure 3.5 : Le dégrilleur automatique	39
Figure 3.6 : Dégraisseur-dessableur	40
Figure 3.7 : Ouvrage de répartition	40
Figure 3.8 : Bassin d'aération.....	41
Figure 3.9 : Clarificateur.....	42
Figure 3.10 : Bassin de chloration.....	42
Figure 3.11 : Epaisseur	44
Figure 3.12 : L'appareil de déshydratation.....	44
Figure 3.13 : Frontières du système étudié	46
Figure 3.14 : impacts d'eau traité par la méthode Eco – indicator (99) I/ caractérisation...	50
Figure 3.15 : impacts d'eau traité par la méthode Eco – indicator (99) I/ score unique.....	51
Figure 3.16 : contribution des différents métaux lourds à l'impact « cancérigène »	51
Figure 3.17 : contribution des différents métaux lourds à l'impact « écotoxicité ».....	52
Figure 3.18 : Contribution au « changement climatique ».....	53
Figure 3.19 : Contribution au « acidification/ eutrophication ».....	53
Figure 3.20 : Contribution au « minéraux ».....	54

Listes des figures :

Figure 3.21: impacts d'eau traitée par la méthode impact 2002+ /caractérisation.....	55
Figure 3.22 : Contribution aux « cancérigènes ».....	55
Figure 3.23 : Contribution à la « destruction de la couche d'ozone ».....	56
Figure 3.24 : Contribution à la «respiration des substances organiques ».....	56
Figure 3.25 : Contribution à «l'eutrophisation ».....	57
Figure 3.26 : Contribution au «rayonnement ionisant ».....	57
Figure 3.27 : Contribution à «énergie non renouvelable »	58
Figure 3.28: impacts d'eau traitée par la méthode CML 2 Baseline 2000/caractérisation ...	58
Figure 3.29 : Contribution à «Ecotoxicité aquatique marine »	59
Figure 3.30 : Contribution à «Ecotoxicité aquatique d'eau douce ».....	59
Figure 3.31 : Contribution à «toxicité humaine »	60
Figure 3.32 : Contribution à «Oxydation photochimique ».....	60
Figure 3.33 : Contribution à «Ecotoxicité aquatique marine »	61
Figure 3.34 : Contribution à «Ecotoxicité aquatique d'eau douce ».....	61
Figure 3.35 : Contribution à «toxicité humaine »	62
Figure 3.36 : Contribution à «Destruction de la couche d'ozone».....	62
Figure 3.37 : Contribution à «Oxydation photochimique».....	63

Liste des abréviations

ACV : analyse de cycle de vie

COV : composés organiques volatils

COT : Carbone organique total

CFC : Chlorofluocarbure

DBO : demande biologique en oxygène

DCO : demande chimique en oxygène

EICV : évaluation de l'impact du cycle de vie

ETM : Eléments traces métalliques et organiques

GHG: Green House Gas

GES : gaz à effet de serre

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

HFC : Hydrofluorocarbure

HCFC : Hydrochlorofluorocarbure

ICV : inventaire du cycle de vie

ISO: international organization for standardization

LCA: life cycle assessment

MIPS: Material Input Per Service Unit

MES : matières en suspension

NO_x : Oxydes d'azote

NMCOV : Composés organiques volatiles non méthaniques

NTK: Azote total Kjeldahl

N-NH₄: Azote ammoniacal

N-NO₃: Azote nitrate

N-NO₂: Azote nitrite

ONA : Office Nationale d'Assainissement

PT: Phosphore totale

P-PO₄: phosphate

SETAC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry

STEP : station d'épuration

SO_x : Oxydes de soufre

WWF: association World Wild Fund

INTRODUCTION

L'eau a une valeur incontestable, qu'elle soit utilisée pour la consommation humaine, l'agriculture, les loisirs, le transport ou la production d'énergie. La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures. La révolution industrielle a été un grand succès en termes de technologie, de société et de fourniture de services multiples, elle a également introduit la production d'énormes quantités de polluants émis dans l'air, le sol et l'eau. Ce dernier est l'un des types de pollution les plus dangereux car l'homme dépend de l'eau dans tous les domaines pour survivre.

La pollution est définie comme l'introduction dans l'environnement de substances nocives pour l'homme et d'autres organismes vivants. Les polluants sont des solides, des liquides ou des gaz nocifs produits à des concentrations plus élevées que d'habitude qui réduisent la qualité de notre environnement.

La pollution de l'eau est le changement qui se produit dans les éléments internes de sa composition, ce qui nuit à la santé publique et à la vie aquatique et rend l'eau inutilisable, et ce type de pollution a de nombreuses sources dont: l'agriculture (à cause des pesticides et des engrais), des rejets ménagers, les marées noires, les eaux usées de diverses industries.

L'épuration de l'eau usée est une opération importante car elle représente une source d'eau renouvelable et fiable. Les eaux résiduaires peuvent être chargées par de nombreux polluants et constituent des milieux parfois très complexes. L'analyse de ces eaux résiduaires permet d'identifier la ou les substances indésirables qu'on doit éliminer à priori lors d'un traitement d'épuration au niveau des stations d'épurations (STEP). Cependant, ces opérations présentent plusieurs impacts sur l'environnement d'où l'objectif de notre travail qui consiste à évaluer les impacts générés par l'office national d'assainissement (ONA) Boumerdes. Pour atteindre cet objectif nous allons utiliser un outil d'évaluation environnementale (analyse de cycle de vie).

Notre travail s'articule autour de trois chapitres :

-chapitre I : généralités sur les eaux usées, quelques définitions, les types de pollution et les paramètres de mesures.

- chapitre II : dans ce chapitre on a étudié la méthodologie de l'analyse de cycle de vie (ACV), on essayant de donner des notions de base sur l'approche (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.

- Chapitre III : Dans ce chapitre on a commencé par une présentation de l'ONA, la réalisation de l'ACV sur la station d'épuration, les méthodes d'évaluation utilisées, ainsi que les différents outils d'analyse ou les logiciels utilisés pour la détermination des impacts sur l'environnement et l'humain, l'interprétation des résultats.

Ce travail a été finalisé par une conclusion générale permettant sélectionner l'une des méthodes utilisées, lesquelles sont la plus flexible, la plus simple, la plus rapide, et l'exposition des alternatives pour l'amélioration environnementale du processus de traitement des eaux usées et donner des recommandations .

CHAPITRE 1 :
GENERALITES
SUR LES EAUX
USÉES

1.1. Introduction

L'utilisation des eaux usées épurées est devenue une exigence et il faut qu'elle fasse partie intégrante de la stratégie de mobilisation de toutes les ressources disponibles. En Algérie, la consommation en eau s'accroît de manière soutenue depuis cette dernière décennie. C'est ainsi qu'une politique de mobilisation et d'utilisation des eaux non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer, eaux saumâtres, eaux usées) a été mise en place récemment. Dans le cadre de la gestion des eaux usées épurées, plusieurs moyens sont mis en place pour une meilleure protection de l'environnement aquatique.

Les stations d'épuration urbaines ont pour rôle d'éliminer la pollution contenue dans les effluents domestiques, avant leur rejet dans le milieu naturel. Le principe consiste à éliminer les matières minérales et organiques en suspension et en solution, afin d'obtenir une eau épurée, conforme aux normes de rejets. La procédure du traitement des eaux usées urbaines est définie comme l'ensemble des processus biogéochimiques par lesquels un environnement aquatique pollué retrouve après l'arrêt des rejets et après un laps de temps variable sa pureté initiale. [1]

On collecte les eaux usées à l'aide d'un réseau d'assainissement d'une agglomération qui seront acheminés vers la station d'épuration pour obtenir un effluent épuré pour lequel la pollution soit limitée à un degré, tel que le rejet ne crée aucune nuisance à la faune ni à la flore du milieu récepteur.

La réutilisation des eaux usées épurées agit à deux niveaux. [2]

- Elle évite les rejets d'eaux issues de la station d'épuration dans le milieu naturel.
- Elle constitue un approvisionnement supplémentaire.

1.2. Pollution de l'eau

On appelle pollution de l'eau toute modification des caractéristiques de l'eau ayant un caractère gênant ou nuisible pour les usages humains, la faune ou la flore.

1.2.1. Origine de la pollution

Il existe trois sources principales de pollution :

- **Domestique**

Résulte les eaux ménagères qui se composent surtout de pollution organique (matières fécales, urines, graisses, déchets organiques, papier, ...), microbiologique ('microbes' dans les eaux vannes principalement) et chimique (détergents, produits domestiques divers, ...).

- **Agricole**

Engendre des rejets de matières organiques (fumiers), d'engrais chimiques (nitrates et phosphates) et de pesticides très divers.

Ces produits sont très rarement rejetés directement dans les eaux de surface, mais leur épandage en excès (pour des raisons d'agriculture intensive) entraîne leur lessivage par les eaux de pluie et une pollution diffuse des eaux de surface et des eaux souterraines.

- **Industrielle**

Reflète la diversité des usages, elle peut se composer principalement des déchets organiques (industrie agro-alimentaire,...), mais également de multiples polluants chimiques tels que hydrocarbures (pétrochimie), métaux lourds (pétrochimie, métallurgie, construction mécanique, teinturerie, tannerie,...), de dissolvants (phénols ...), de produits azotés (industrie des engrais, explosifs, ...).

1.2.2. Types de pollution

- **Pollution physique**

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau, ainsi que les rejets d'eau chaude des centrales électriques et les nappes pétrolières et les radiations ionisantes.

Les apports des eaux chaudes diminuent la solubilité de l'oxygène dissous du milieu, ainsi provoquant des perturbations dans le métabolisme phytoplanctonique par inhibition de la photosynthèse.

- **Pollution mécanique**

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES. [3]

- **Pollution thermique**

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes. Il se trouve qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution. [3]

- **Pollution radioactive**

La pollution des eaux par des substances radioactive pose un problème de plus en plus grave, a un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérogènes et mutagènes de ses rayonnements.

- **Pollution chimique**

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle, domestique et agricole. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories:

- ✓ Organique (hydrocarbures, pesticides, détergents..).
- ✓ Minérale (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...).

➤ **Pollution organique** : C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...), et par les effluents domestique (déjections humaines, graisses,...etc.). La première conséquence de cette pollution consommation d'oxygène dissous de ces eaux. Les polluants organiques ce sont principalement les détergents, les pesticides et les hydrocarbures.

**Les détergents* : Sont des composés tensioactifs synthétiques dont la présence dans les eaux est due aux rejets d'effluent urbains et industriels. Les nuisances engendrées par l'utilisation des détergents sont : - L'apparition de goût de savon. - La formation de mousse qui freine le processus d'épuration naturelle ou artificielle. - Le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau.

**Les pesticides* : On désigne généralement comme des produits utilisés en agriculture les conséquences néfastes dues aux pesticides sont liées aux caractères suivants :

- Rémanence et stabilité chimique conduisant à une accumulation dans les chaînes alimentaire.

-Rupture de l'équilibre naturel.

**Les hydrocarbures* : Provenant des industries pétrolières et des transports, qui sont des substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables, leur densité inférieure à l'eau les fait surnager. En surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère. [4]

➤ ***Pollution minérale*** : La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Les polluants minéraux sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs. [5]

**Les métaux lourds* : Sont essentiellement le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le plomb l'argent (Ag), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Ces éléments, bien qu'ils puissent avoir une origine naturelle (roches du sous-sol, minerais), proviennent essentiellement de la contamination des eaux par des rejets d'activités industrielles diverses. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique. [6]

**Les éléments minéraux nutritifs* : (Nitrates et phosphates) : provenant pour l'essentiel de l'agriculture et des effluents domestiques, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

○ ***Pollution microbiologique***

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. [7]

➤ ***Les virus*** : Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation. [8] On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus entériques humains les plus importants, il faut citer les

entérovirus (exemple : polio), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. [9]

➤ **Les bactéries :**

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10¹² bactéries/g. [9] Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont 10⁵ proteus et entérobactéries, 10³ à 10⁴ streptocoques et 10² à 10³ clostridium.

Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonelles dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ce sont les coliformes thermo tolérants. [10]

➤ **Les protozoaires:** Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'unnoyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées. [7] Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer Entamoebahistoltyca, responsable de la dysenterie amibienne et giardialambliia. [9]

1.3. Les eaux usées

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées en matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique. L'eau usée est l'eau qui a été utilisée et qui doit être traitée avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'elles ne causent pas la pollution de ces autres sources. Les eaux usées proviennent de plusieurs sources. Tout ce que vous évacuez en tirant la chasse d'eau et lorsque vous utilisez vos éviers sont considérés comme une eau usée.

Les eaux usées, qui sont un mélange de plusieurs types d'eaux et pour éviter la pollution, sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées. [11]

1.3.1. Paramètres de mesure

Pour une meilleure appréciation de la composition des eaux usées, il existe des critères d'évaluation de la pollution qui sont : la température de l'eau, le potentiel hydrique (pH), la conductivité électrique, les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO), l'azote, le phosphore et autres critères microbiologique tels que les coliformes fécaux. On trouve aussi les métaux lourds qui peuvent représenter une nuisance potentielle.[12]

a. Paramètres physico-chimiques

➤ *La température*

C'est un paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, mais qui devrait être plus souvent mesuré surtout dans le cas de rejets industriels dans le réseau. La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau. [13]

Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration est très sensible à des températures trop élevées, ainsi tout rejet doit être inférieur à 30° C.[14]

➤ *Le potentiel hydrique*

Le pH permet d'exprimer le degré d'acidité des eaux usées. Sa mesure est très importante pour juger le bon fonctionnement d'une étape de traitement

➤ *La conductivité*

C'est une mesure simple, qui se pratique avec une électrode et fournit une indication précise sur la concentration totale en sels dissous. Par comparaison avec la conductivité de l'eau potable, il est ainsi possible de juger rapidement si des apports importants, en particulier industriels, ont lieu dans le réseau d'assainissement.[14]

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement.

➤ ***Les matières en suspension***

Les MES représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc qui sont retenues par un filtre. Les MES, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel.[13]

De nombreuses particules peuvent constituer des impuretés d'une eau (matières décantables). Les techniques analytiques nécessaires à leurs déterminations dépendent des dimensions de ces particules. Les impuretés présentes dans l'eau ont pour origine soit des substances minérales, végétales ou animales. Les matières décantables sont les matières des grandes tailles, entre 40 micromètres et 5 millimètre et qui se déposent sans traitement physique et chimique.

La réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes est dite « turbidité ». Elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérale. [15]

➤ ***Oxygène dissous***

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux microorganismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.

➤ ***Carbone organique total (COT)***

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en

oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO). Certaines matières organiques échappent à ces mesures ; dans ce cas, le dosage du COT est mieux adapté. Il est indépendant de l'état d'oxydation de la matière organique et ne mesure pas les éléments inorganiques tels que l'azote et l'hydrogène qui peuvent être pris en compte par la DCO et la DBO. La détermination porte sur les composés organiques fixés ou volatils, naturels ou synthétiques, présents dans les eaux résiduaires (celluloses, sucres, huiles, etc.). Suivant que l'eau a été préalablement filtrée ou non, on obtiendra le carbone dissous (DCO) ou le carbone organique total (COT). Cette mesure permet de faciliter l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets, et d'établir éventuellement une corrélation avec la DBO et la DCO.[16]

➤ ***La demande chimique en oxygène***

La DCO est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elles représentent la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales).

Le rapport DCO/DBO₅ renseigne sur la qualité de la biodégradation. Un rapport DCO/DBO₅ inférieur à 2,5 indique que ces eaux sont susceptibles de subir un traitement biologique. [17]

➤ ***La demande biochimique en oxygène***

La Demande Biologique en Oxygène (DBO₅) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées par les microorganismes du milieu. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées.[18]

b. Paramètres chimiques (indicateurs de pollution)

➤ ***L'azote***

Il est mesuré sous différentes formes, les types d'analyses dépendant des formes chimiques recherchées, on peut les diviser en deux grandes familles (pour ce qui concerne l'épuration) : l'azote *réduit* et l'azote *oxydé*.

Le premier correspond à l'azote organique que l'on trouve dans les eaux usées provenant notamment des déchets métaboliques (protéine, urée) d'origine humaine.

L'azote oxydé se retrouve de façon marginale dans les eaux usées, il s'agit des nitrites (NO_2^-) et des nitrates (NO_3^-), produits de la transformation chimique (oxydation) de l'azote réduit.

➤ **Nitrites (NO_2^-)**

Les ions nitrites (NO_2^-) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions nitrates (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitrification. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification. Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température.[19]

➤ **Nitrates (NO_3^-)**

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitrifiantes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrites. [19]

➤ **Phosphore**

Il peut se retrouver sous forme minérale ou organique. Ces différents composés se trouvent soit à l'état dissous dans la phase liquide, soit fixés sur les matières en suspension.[20]

Dans les eaux résiduaires urbaines le phosphore provient du métabolisme et des détergents, mais cette dernière origine tend à diminuer par la réduction des composés phosphorés dans les lessives.

c. Paramètres biologiques

La détermination de la flore aérobie mésophile totale, des coliformes totaux, coliformes fécaux, staphylocoque, streptocoque, salmonelles et les shigelles, ainsi que certains pathogènes peuvent donner une indication sur les risques liés à l'utilisation de certains types d'eaux. [21]

➤ **Nématodes**

Ce sont des vers filiforme non segmentés, recouvert d'une couche chitineuse transparente.

Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C. Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur, des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire.

Tableau 1.1: Décret exécutif de rejets pour l'irrigation.

<i>Paramètres</i>	<i>Unité</i>	<i>Concentration maximale</i>
Température	°C	<30 ⁰
Ph	-	6.5 à 8.5
MES	mg/l	30
CE	ds/m	3
DBO5	mg/l	30
DCO	mg/l	90
SAR = 0-3 CE		0.2
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	30
Phosphate (P-PO ₄)	mg/l	02
Coliforme Fécaux	Nombre de CF/100ml	<1000 CF/100ml
Métaux lourds		20
Nématodes intestinaux	Œufs /l	Absence

1.3.2. Les étapes du traitement

Les technologies utilisées se développent et se perfectionnent constamment par la recherche de technologies ou de procédés nouveaux et par la mise en place de nombreux automatismes pouvant diminuer efficacement la dégradation environnementale de ressources précieuses en eau et détruire les agents pathogènes potentiels [22]. Les quatre étapes principales du traitement sont détaillées comme suit :

a. Le pré-traitement

Le pré-traitement a pour objectif l'extraction des matières les plus grossières (brindilles, feuilles, tissus, ...) et des éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement. Il comprend :

➤ ***Le dégrillage***

Le dégrillage consiste à retenir les objets trop volumineux et encombrants qui pourraient dégrader les pompes ou obstruer les canalisations. Les dégrilleurs sont habituellement implantés en tête de la station [23].

➤ ***Le relevage***

La conception du poste de relevage d'une station de traitement des eaux usées est en grande partie similaire à la conception du poste de relèvement placé dans le réseau d'assainissement. généralement le poste de relevage est équipé de pompes centrifuges [24].

➤ ***Le dessablage***

Il a pour but d'extraire des eaux brutes les sables, les graisses et particules minérales plus ou moins fines en suspension, de manière à éviter l'abrasion des pompes et conduites en aval [25]. Les sables récupérés sont essorés et lavés avant d'être envoyés en décharge ou réutilisés, selon la qualité du lavage.

➤ ***Le dégraissage-déshuilage***

Effectuée dans le même bassin que l'étape de dessablage, la récupération des graisses et huiles se fait en surface. Les composés collectés seront alors incinérés (cas du traitement d'un effluent urbain) ou recyclés pour la fabrication de savons ou détergents (cas de certains effluents industriels) en fonction de leur qualité [25].

b. Le traitement primaire

Le traitement s'effectue par voie physico-chimique, a pour but d'extraire le maximum de matières en suspension et de matières organiques facilement décantables. Trois voies de traitement sont possibles :

➤ ***La décantation (processus physique) :***

Le principe de séparation solide-liquide est la pesanteur, les matières en suspension ou colloïdales tendent à se séparer du liquide par sédimentation ;

➤ ***La flottation (processus physique) :***

Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide- liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient ;

• La décantation associée à l'utilisation d'un coagulant-floculant (voie physico-chimique):

Le principe est de favoriser l'agrégation des molécules en suspension grâce aux techniques de coagulation et de floculation de façon à augmenter la sédimentation grâce à l'obtention de floccs plus gros. Cette étape est généralement suivie d'une filtration qui est un procédé physique qui consiste à faire passer l'eau à travers un milieu poreux afin de retenir les solides en suspension [26]. Durant la phase de traitement primaire, une quantité importante de la pollution totale est éliminée (abattement des matières en suspension pouvant atteindre 90 % et de la demande biochimique en oxygène de l'ordre de 35 % [27]. La DCO et la concentration en azote peuvent également être réduits durant cette phase de traitement. Les matières solides extraites représentent ce que l'on appelle les boues primaires [25].

c. Le traitement secondaire

Le traitement secondaire a pour objectif principal l'élimination des composés solubles d'origine organique. Parallèlement, la floculation de la biomasse permet de piéger les matières en suspension restant à l'issue du traitement primaire.

Le principe de ce traitement est de mettre en contact la matière organique contenue dans les eaux usées avec une population bactérienne. Celle-ci assimile alors la matière organique pour son propre développement. Ces dispositifs permettent d'intensifier et de localiser sur des surfaces réduites les phénomènes de transformation et de dégradation des matières organiques tels qu'ils se produisent en milieu naturel. Ils sont la reconstitution d'un écosystème simplifié et sélectionné faisant intervenir une microflore bactérienne et une microfaune de protozoaires et de métazoaires [25].

Plusieurs techniques peuvent être distinguées, le choix de l'une ou l'autre est fonction de l'emplacement disponible pour le procédé de traitement, de la charge de l'effluent et de la quantité de pollution à traiter. Les procédés biologiques de traitements, peuvent être classés en procédés aérobies et anaérobies [28].

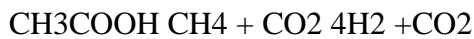
➤ Le traitement secondaire anaérobie

Le traitement anoxique est typiquement employé pour traiter des eaux usées contenant de grandes quantités de matières organiques insolubles, telles que les fibres, la cellulose résultant des industries laitières et agroalimentaires. Le processus de dégradation anoxique proprement dit se déroule dans de grands réservoirs clos appelés digesteurs ou bioréacteurs [29].

Le principe de la digestion anaérobie est décrit comme la conversion de la matière organique en biomasse et en biogaz, composé essentiellement de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂).

La digestion anaérobie d'un produit organique complexe comporte quatre étapes différentes, à savoir : l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogénèse et la méthanogènes [30].

Grâce à l'action des microorganismes anaérobies présents, les composés macromoléculaires des eaux usées sont d'abord digérés par des polysaccharases, des protéases et des lipases pour donner des composés solubles. Ces derniers sont alors fermentés pour fournir un mélange d'acides gras volatils, qui sont ensuite fermentés en acétate, CO₂ et H₂, ces produits sont alors utilisés comme substrats par les Archaea méthanogènes, capables de réaliser les réactions suivantes :



➤ *Les traitements secondaires aérobies*

Les bactéries utilisées exigent un apport permanent d'oxygène. Deux grandes familles peuvent être distinguées : les procédés à cultures fixes (microorganismes fixés sur des supports), les procédés à culture libre (micro-organismes maintenus en suspension dans le mélange à épurer). Nous pouvons citer les plus courantes selon [31].

- Les cultures fixées

- ✓ Le lit bactérien

Le principe de ce procédé consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes épurateurs.

L'aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produit par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gaz [32].

✓ Les disques biologiques

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées, elle est constituée par des disques biologiques tournant, les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée [33].

• Les cultures libres

✓ Les boues activées

Traitement en deux phases, contact de la biomasse et de l'eau usée dans un réacteur puis séparation des solides de la phase liquide épurée par décantation. Le processus d'épuration par boues activées est le plus répandu. Son développement est dû à ses excellentes performances de dépollution (rendement supérieur à 95 %) par rapport aux autres procédés existants. En contrepartie, suivant le type d'effluents à traiter, ce procédé peut être difficile à maîtriser notamment pour le traitement de l'azote et du phosphore ou en cas de variations importantes des flux à traiter [27].

✓ Le lagunage

L'utilisation d'étangs naturels ou artificiels comme milieux récepteurs de l'effluent brut ou traité remonte à des temps ancestraux. On trouve des lagunes naturelles et aérées. Dans les lagunes naturelles, l'eau à épurer est stockée dans un bassin de faible profondeur. Des bactéries aérobies se développent et utilisent la matière organique comme source de nourriture et aboutissent à la formation d'une boue activée dispersée. L'oxygène est fourni par l'activité photosynthétique des algues. Le fond de la lagune est anaérobie. Les lagunes aérées sont un dispositif très proche du procédé à boues activées où l'oxygène est apporté avec des aérateurs artificiels pour le maintien des conditions aérobies des bactéries épuratrices [34].

✓ Infiltration percolation sur sable

C'est un traitement biologique par fixation des bactéries sur des grains de sable. Après une décantation anaérobie des eaux usées, celles-ci sont déversées et étalées sur des lits de sable, les eaux sont d'abord débarrassées des matières en suspension par filtration superficielle, puis leur matière organique est dégradée et leurs composés azotés sont oxydés sous forme de nitrates par les bactéries qui colonisent le sable [35].

d. Le traitement tertiaire

Des traitements plus poussés sont effectués lorsque la nature des milieux recevant l'eau dépolluée l'exige : les zones sujettes aux phénomènes d'eutrophisation, les lieux de baignade etc... [36].

➤ *L'élimination de l'azote*

Les stations d'épuration prévues pour éliminer les matières carbonées n'éliminent qu'environ 20% de l'azote présent dans les eaux usées. Pour respecter les normes de rejet en zones sensibles, des traitements complémentaires doivent être mis en place. L'azote organique se transforme dans les eaux usées en azote ammoniacal NH_4^+ .

L'élimination de l'azote ammoniacal est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de "nitrification dénitrification". La nitrification consiste en une transformation, par des cultures bactériennes, de l'azote ammoniacal en nitrates (NO_3), une forme oxydée de l'azote.

Une seconde phase, la dénitrification, complète le processus. Les nitrates, sous l'action de bactéries "dénitrifiantes", sont transformés en azote gazeux. Ce gaz s'échappe alors dans l'atmosphère comme le CO_2 produit par l'élimination des matières carbonées.

Ces procédés sont aujourd'hui les plus compétitifs et les mieux adaptés, puisqu'ils peuvent, notamment, être combinés avec l'élimination de la pollution carbonée. Il suffit pour cela que les volumes des bassins et les dispositifs d'aération soient suffisants [36].

➤ *L'élimination du phosphore*

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physicochimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 % et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues [22].

➤ *La désinfection*

Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques.

Un abaissement de la teneur des germes, parfois exigé pour les rejets dans des zones spécifiques (zones de baignade, zones de conchylicoles). Ou dans le cadre d'une réutilisation, il sera réalisé par des traitements de désinfection chimique par:

- Le chlore

Est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes. Les composés utilisés dans le traitement des eaux usées sont : le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium (NaClO) appelé communément "eau de Javel", l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), le chlore de chaux ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{OCl}_2$) et le chlorite de sodium (NaClO_2)

- L'ozone (O_3)

Est un oxydant puissant, il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus.

- Les ultraviolets (UV)

Sont de plus en plus utilisés, depuis quelques années, pour désinfecter les eaux usées urbaines. Assurant un bon rendement de désinfection, les UV nécessitent un investissement important, mais présentent l'avantage de ne pas entraîner l'apparition de sous-produits.

➤ ***Le lagunage naturel " tertiaire " :***

Assure l'exposition des micro-organismes pathogènes au rayonnement solaire. Ce rayonnement provoque une destruction des germes d'autant plus efficace que le temps de séjour des eaux traitées dans la lagune est élevé (50 à 60 jours). Cependant, l'efficacité de ce traitement s'amointrit lorsque l'exposition aux rayons du soleil se réduit, pendant l'hiver ou lors de remise en suspension de sédiments à l'occasion de fortes précipitations. Des lagunes de finition peuvent par contre être installées en aval d'une station biologique classique.

Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce chapitre ses caractéristiques et les différentes étapes utilisées pour leur épuration. L'intérêt consiste à la réutilisation rationnelle et optimale de ces eaux dans le domaine agricole [36].

CHAPITRE 2 :
PRÉSENTATION DE
LA MÉTHODE
ANALYSE DE
CYCLE DE VIE (ACV)

2.1 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'année 1960 et début de l'année 1970 L'ACV a été utilisée 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 . [37]

Un nombre important de publications portées 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 Volume.
- International journal of life cycle assessment dédié pour les recherches sur LCA en 1996.
- Environnemental science and technology and ressources, 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 aux entreprises de biens ou de services de gérer l'impact de leurs activités sur l'environnement et de mesurer leurs performances environnementales.

Les normes ISO14000 sont développées dans six secteurs, dont celui de l'analyse du cycle de vie (Tableau 2.1) ; une première norme ISO14040 établit les lignes directrices pour la pratique des ACV, les normes complémentaires (ISO14041, ISO14042, ISO14043) détaillent les étapes d'inventaire, d'évaluation de l'impact et de l'interprétation.

Les normes ISO14047 et ISO 14049 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.

Tableau 2.1 : Survol historique des analyses du cycle de vie. [38]

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 reprend 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+

2.2. Définition de l'ACV

L'analyse de cycle de vie est une technique d'évaluation des performances environnementales d'un produit, d'un service ou d'un système en relation à une fonction particulière et ceci en considérant toutes les étapes de son cycle de vie. C'est une méthode normalisée par deux normes (ISO 14040, 2006) et (ISO 14044, 2006) (Tableau 2.2). L'ACV estime les charges environnementales d'un produit, d'un service ou d'un système « du berceau à la tombe » en agrégeant ses émissions et utilisations de ressources, exprimées dans un inventaire des flux de matière ou d'énergie (ex : émissions de nitrate, méthane, dioxyde de soufre, consommation d'électricité), dans quelques indicateurs d'impact. Ces indicateurs

peuvent refléter des flux vers l'air (ex: changement climatique provoqué par des GES), vers l'eau (ex: eutrophisation provoquée par les nitrates) et vers le sol (ex: toxicité terrestre provoquée par des métaux lourds).

Tableau2.2 : Normes ISO14000 dans le domaine de l'environnement et de l'analyse cycle de vie. [38]

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

2.3. Cadre méthodologique d'une ACV

Selon la définition des normes ISO et de la SETAC, l'analyse de cycle de vie s'effectue en quatre phases: *la définition des objectifs et du champ de l'étude, l'inventaire du cycle de vie, l'évaluation de l'impact et l'interprétation* (Figure 2.1).

Le détail de ces étapes est présenté dans les sections suivantes.

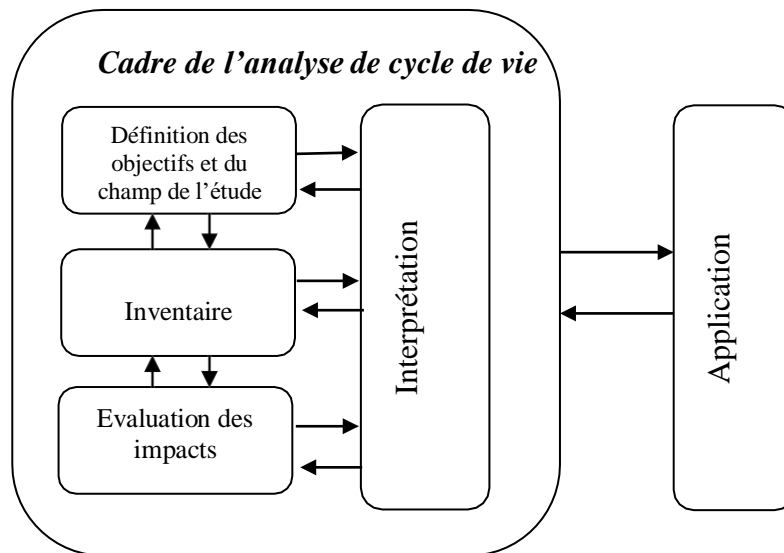


Figure 2.1- Phases de l'analyse de cycle de vie (ISO, 2006a)

2.3.1 Etape 1 : Définition des objectifs et du champ de l'étude

Selon la norme ISO 14044/2006, *la définition des objectifs* comprend les éléments suivants:

- les raisons à l'origine de la réalisation de l'étude,
- application envisagée des résultats de l'étude,
- le public visé lors de la communication des résultats, et,
- la forme de cette communication, notamment en cas d'utilisation des résultats à des fins comparatives.

Quant à *la définition du champ de l'étude*, celle-ci concerne plus spécifiquement la réalisation pratique de l'ACV; parmi ses éléments constitutifs, il doit notamment être cité:

- le système à étudier, ses fonctions et ses frontières,
- l'unité fonctionnelle retenue,
- les exigences relatives à la qualité des données,
- les règles d'affectation choisies,
- les catégories d'impact sélectionnées ainsi que leurs méthodes d'évaluation,
- les différentes hypothèses et limitations de l'étude,
- le cas échéant, le type de revue critique, et enfin,
- les spécifications de type et de format propres au rapport de l'étude.

- **Le système à étudier et processus à considérer**

Il s'agit de délimiter *les frontières du système à étudier*. La norme ISO 14044/2006 recommande une représentation des processus du système et de leurs connexions sous forme de diagramme (Figure 2.2).

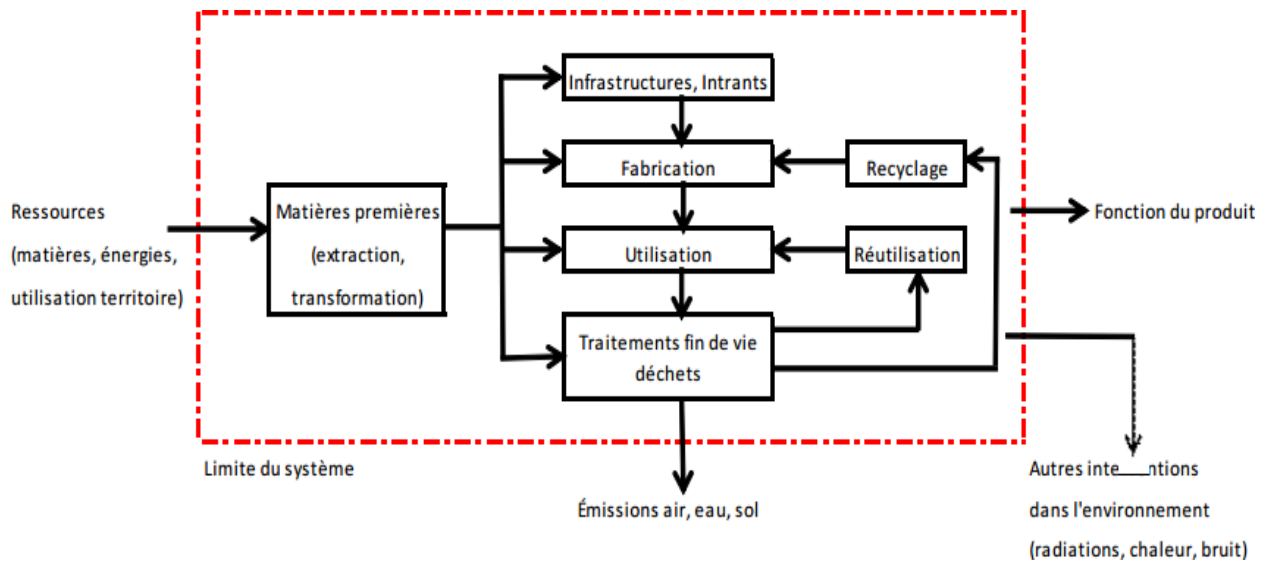


Figure 2.2 : Arbre de processus et principales étapes du cycle de vie d'un produit

- **L'unité fonctionnelle et flux de référence**

L'unité fonctionnelle (UF) se définit comme étant *la grandeur quantifiant la fonction du système*. Elle est destinée à être utilisée comme unité de référence à laquelle les entrants et les sortants sont liés.

2.3.2 Etape 2 : Inventaire du cycle de vie

La deuxième phase de l'ACV consiste à quantifier les flux de matière, énergie et polluants traversant les limites du système. Il regroupe donc les quantités de substances polluantes émises ainsi que les ressources extraites (minerais, vecteur énergétique, surfaces de sol) au cours du cycle de vie du produit ou service analysé.

L'inventaire prend en compte, en général, les diverses consommations d'énergie (exprimées en kWh), les éventuels transports de matières premières jusqu'à l'usine de production du produit...etc.

2.3.3 Etape 3 : Evaluation de l'impact environnemental

Cette troisième étape permet de faire le lien entre les données de l'inventaire et les impacts environnementaux auxquels elles peuvent théoriquement contribuer.

La norme ISO 14044/2006 définit au cours de la phase d'évaluation des impacts, différentes étapes successives dont deux sont considérées comme obligatoires: *la classification* et *la caractérisation*, tandis que les étapes de *normalisation*, de *regroupement* et de *pondération* sont facultatives.

a. La classification

La classification des impacts vise à lister les catégories d'impact intermédiaires (*midpoint*) auxquelles sont assignées les données des émissions et extractions obtenues lors de l'inventaire. Cette étape permet donc de rassembler les résultats de l'ICV ayant des effets identiques ou similaires dans des catégories intermédiaires d'impact. Tableau 2.3 nous donne un aperçu de la classification des catégories d'impact.

a. La caractérisation des impacts

Troisième étape de l'évaluation des impacts, la caractérisation consiste à *affecter les flux de l'inventaire* dans *différentes catégories d'impacts* : c'est la quantification proprement dite des impacts.

Tableau 2.3 : Classification des différentes catégories d'impacts

<i>Domage</i>	<i>Classe</i>	<i>Sous-classe</i>	<i>Echelle géographique de l'impact</i>
<i>Épuisement des ressources naturelles</i>	Abiotique (non renouvelable)	Energie fossile Minerais	Globale et régionale
	Biotique (renouvelable)	Forêts, etc.	
	Ressources en eau	Lacs, eaux souterraine, rivières	
	Occupation de l'espace	/	
<i>Impacts sur la santé humaine</i>	Toxicité humaine	Aigue, chronique, etc.	Locale
	Smog d'été	/	Régionale
	Nuisances	Auditives	Locale
		Olfactives	
Visuelles			
<i>Impacts sur l'écosystème</i>	Effet de serre	/	Globale
	Détérioration de la couche d'ozone	/	Globale
	Ecotoxicité	Ecotoxicité aquatique et terrestre	Locale
		Eutrophisation aquatique et terrestre	Locale ou régionale
		Acidification	Régionale
		Altération physique de l'écosystème	/

2.3.4 Étape 4 : Interprétation

Cette étape a pour but d'identifier les étapes du cycle de vie sur lesquelles il faut intervenir pour réduire l'impact environnemental du système ou produit étudié. Cette phase de l'ACV permet d'analyser les résultats obtenus, tirer des conclusions, expliquer les limites de l'étude et apporter des recommandations basées sur les résultats des phases précédentes. Jolliet et al, 2010 conseillent de réaliser l'étape d'interprétation de manière systématique après la fin de chaque phase de l'ACV.

Tableau 2.4 : Résumé non exhaustif des quatre phases de l'ACV

<i>Phase de l'ACV</i>	<i>Description</i>	<i>Points clés</i>
Définition des objectifs et du champ de l'étude	<p>Définir les objectifs de l'étude</p> <p>Déterminer la frontière du système</p> <p>Définir l'unité fonctionnelle</p>	<p>Analyser la fonction du produit pour définir l'unité fonctionnelle et le flux de référence.</p> <p>Comparer les systèmes ou produits sur la base d'une fonction commune.</p> <p>Les limites du système recouvrent la même réalité fonctionnelle dans les différents scénarios.</p> <p>Les processus contribuant à plus de x% sont retenus dans le système.</p>
Inventaire du cycle de vie (ICV)	<p>Collecte de données (bilans matière et énergie).</p> <p>Assigner tous les flux traversant le système aux produits principaux et aux coproduits.</p>	<p>Allocation (respecter l'ordre de préférence) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Eviter l'allocation</i> - <i>Allocation physique</i> - <i>Allocation financière</i> <p>Qualité des données (fiabilité et exhaustivité)</p>
Évaluation de l'impact du cycle de vie (EICV)	<p>Sélection des catégories d'impact</p> <p>Classification</p> <p>Caractérisation</p> <p>Étapes optionnelles</p>	<p>Appliquer plusieurs méthodes d'évaluation en parallèle pour tester la robustesse des conclusions</p>
Interprétation du cycle de vie	<p>Identifier les étapes qui génèrent le plus grand impact</p> <p>Examiner la contribution de chaque polluant émis</p>	<p>Identifier les faiblesses de l'étude</p> <p>Étude de sensibilité</p> <p>Recommandations</p>

2.4. Atouts et limites de l'ACV

Au regard de sa méthodologie complexe mais conceptualisée par l'intermédiaire des normes, l'ACV présente des forces mais également des faiblesses.

Une des principales forces de l'ACV est son caractère holistique qui permet d'identifier les déplacements de charges environnementales entre les différentes étapes du cycle de vie, dans le temps et l'espace. Il s'agit de la notion de transfert de pollution. Ces transferts de pollution peuvent apparaître lors d'une tentative d'amélioration d'un système en agissant sur une étape du cycle de vie. L'amélioration d'une étape peut donc entraîner des conséquences néfastes sur une autre étape (Figure 2.3).

Les spécificités de l'ACV sont de deux ordres: **la pensée cycle de vie** et la **quantification des impacts**. La pensée « cycle de vie » permet de prendre en compte toutes les étapes du cycle de vie d'un système allant de l'extraction des matières premières, en passant

par l'étape de fabrication, l'étape d'utilisation jusqu'à sa fin de vie. Tout au long du cycle de vie, les flux entrants et sortants de l'environnement sont identifiés et quantifiés afin d'identifier et quantifier les impacts environnementaux associés. Ainsi, contrairement aux autres outils d'évaluation environnementale, L'ACV est un outil qui évalue de manière quantitative et scientifique les impacts potentiels sur l'environnement d'une manière exhaustive.

Un autre point fort de l'ACV est son *caractère itératif*, en d'autres termes, à chaque étape, il est possible et recommandé de revenir aux étapes précédentes en affinant, par exemple, le niveau de détail de l'étude, les objectifs et les frontières du système afin de contribuer aux exigences de complétude et de cohérence de l'étude.

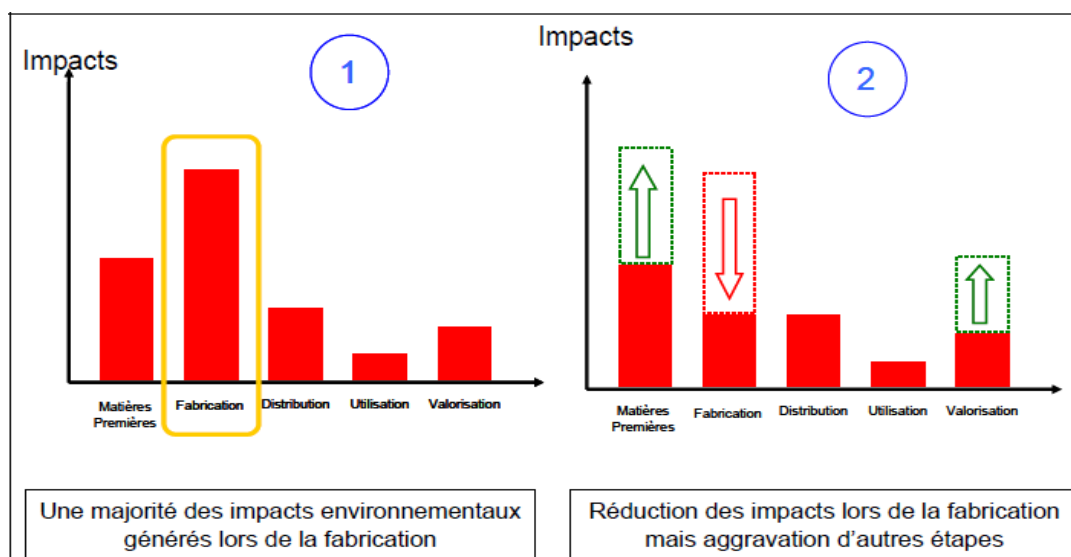


Figure 2.3 : Amélioration de l'étape la plus impactante entraînant un transfert d'impact. [39]

Quant aux *limites* de l'ACV, nous pouvons les résumer comme suit:

- L'étude ACV est longue, fastidieuse et coûteuse et les licences de logiciels sont souvent très onéreuses,
- Les résultats d'une ACV sont très fortement soumis aux hypothèses posées et aux méthodes de calcul utilisées,
- Les données d'inventaire ne sont pas toujours disponibles.

2.5. Comparaison de l'ACV avec d'autres outils

D'autres outils d'analyse environnementale sont disponibles, chacun ayant un rôle spécifique et fournissant des informations complémentaires. La section suivante répertorie les trois outils

d'évaluation environnementale les plus couramment utilisés. Le Tableau 2.5 résume les avantages et inconvénients de ces différents outils.

- **Le bilan carbone® ou bilan GES**

Le Bilan Carbone®, développé par l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), est sans doute un des outils les plus connus et les plus utilisés pour l'évaluation de l'impact environnemental d'un produit ou service en quantifiant les émissions de GES du système étudié.

Cette méthode est compatible avec la norme ISO 14064, l'initiative Green House Gas (GHG) Protocol et les termes de la directive relative au système d'échanges de quotas de CO₂.

Le principe de la méthodologie repose sur l'identification et la quantification des postes émetteurs de GES et le calcul de leur impact sur l'augmentation de l'effet de serre par l'intermédiaire d'un Facteur d'Emission permettant d'exprimer les résultats en kg équivalent CO₂ ou carbone.

- **L'empreinte écologique**

L'Empreinte Ecologique a été développée par des chercheurs canadiens dans les années 90 et a été longtemps portée et utilisée par l'association World Wild Fund (WWF), en diffusant tous les ans, un rapport des résultats d'empreinte selon les comptes des différentes nations et permettant ainsi de connaître l'empreinte écologique de différents pays en termes d'utilisation des sols et des ressources biotiques.

L'empreinte permet de quantifier la surface productive nécessaire à une population pour vivre durablement. Cette intensité d'exploitation par l'Homme de la bio-capacité naturelle de son environnement – l'Empreinte – s'exprime en unité de surface et notamment l'hectare.

Il s'agit de déterminer si les milieux naturels sont capables de répondre durablement aux besoins de la société humaine en assurant le maintien de son niveau de consommation et en permettant son développement. Le déficit peut être mesuré en comparant donc la consommation des ressources naturelles renouvelables (l'Empreinte) à la capacité biologiquement productive de la nature (la Bio-capacité). Pour le calcul de l'empreinte écologique d'un système, un inventaire des flux entrants et sortants, matière et énergie doit être réalisé.

- **La méthode MIPS**

L'indicateur MIPS (Material Input Per Service Unit) a été développé en Allemagne afin d'estimer l'impact des intrants matière et énergie pour la fabrication d'un produit ou le fonctionnement d'un service sur la globalité du cycle de vie du système étudié. [40]

L'inventaire consiste en la comptabilisation massique des flux intrants du système (produit/ service rendu) en fonction de: la consommation de matières premières abiotiques et biotiques, du changement d'usage des sols, de la consommation d'eau et d'air. Ainsi pour comparer plusieurs alternatives, le praticien examine les résultats pour chacune de ces catégories et peut prendre sa décision au regard de l'alternative consommant le moins de ressources.

Tableau 2.5 : Avantages et inconvénients des différents outils d'évaluation environnementale

<i>Méthode</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
Bilan Carbone® ou Bilan GES	<ul style="list-style-type: none"> - « Simplicité » de l'outil - Résultats exprimés en une unité « parlante » l'équivalent CO2 - Prise en compte possible de la totalité du cycle de vie 	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluation mono-critère limitée aux émissions de GES. - Pas d'identification de transferts de pollution entre impacts environnementaux
MIPS	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte de la totalité du cycle de vie 	<ul style="list-style-type: none"> - Limité à la phase d'inventaire, pas de caractérisation des impacts. - N'étudie pas les flux sortants du système (émissions air, sol et eau).
Empreinte Ecologique	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de communication grâce à des résultats exprimés dans une unité « parlante » en global hectares (gha) ou équivalent CO2 	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluation quasi mono-critère (consommation et épuisement des ressources renouvelables et changement climatique)
ACV	<ul style="list-style-type: none"> - Outil normalisé ISO 14040 et 14044 - Quantifie sur tout le cycle de vie un grand nombre d'impacts différents. - Elle est la seule méthode qui lie l'impact environnemental et la fonction du produit service ou système. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise évaluation des impacts locaux tels que la toxicité du fait de la non prise en compte des caractéristiques locales - Résultats sous forme multicritères parfois peu lisibles pour le décideur - Difficile prise en compte d'impacts évalués qualitativement tels que les nuisances.

2.6. Les impacts environnementaux potentiels considérés en ACV

Le lien entre les données d'inventaires des pressions et les impacts finaux n'est pas établi de manière directe, il se fait en deux étapes : dans un premier temps, par l'évaluation

d'impacts à mi-parcours, dans un deuxième temps, les impacts finaux sont évalués. Les liens entre impacts à mi-parcours et impacts finaux ne sont pas tous quantifiables en ACV à ce jour, d'où la représentation de certaines flèches en pointillé sur la figure ci-dessous.

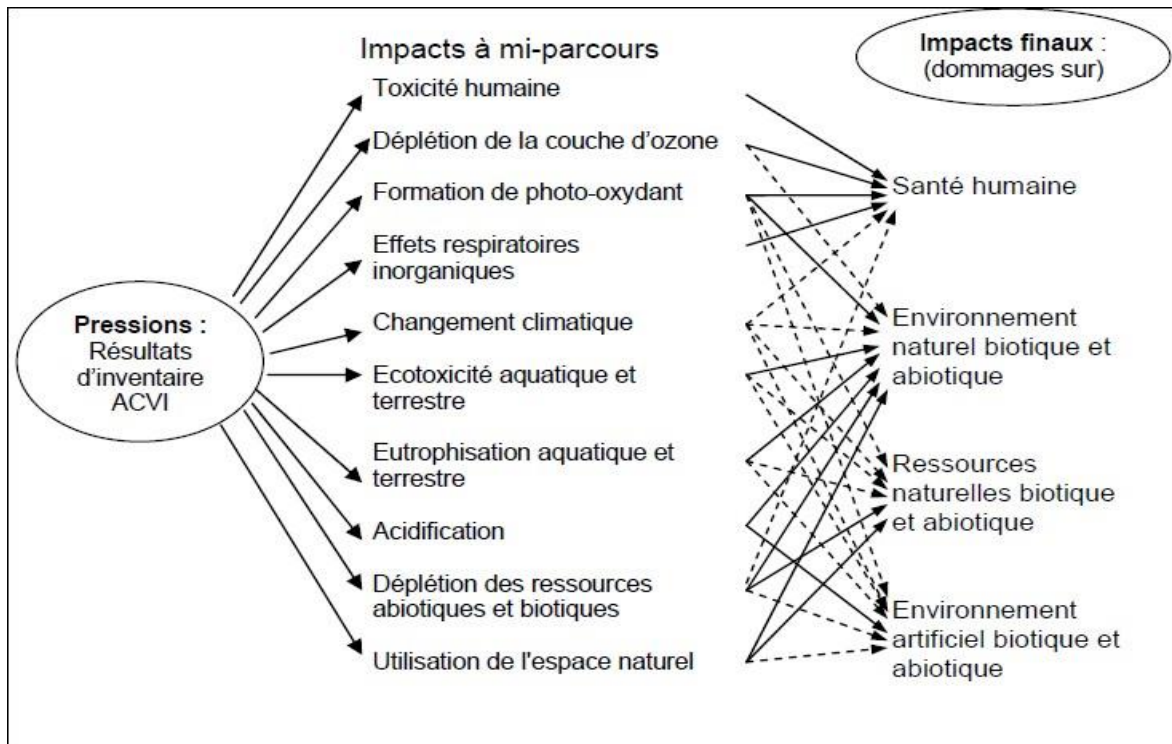


Figure 2.4 : Cadre du PNUE/SETAC permettant de faire le lien entre inventaire des pressions, impacts à mi-parcours et dommages sur les aires de protection

2.6.1 Toxicité humaine

Cette catégorie d'impact couvre l'effet toxique de certaines substances sur la santé humaine que ce soit des effets cancérigènes ou non-cancérigènes. Cette catégorie d'impact suscite encore beaucoup de débat et fait l'objet de nombreuses recherches en raison de la mauvaise connaissance des phénomènes en jeu et du caractère sensible de cette catégorie notamment dans les processus décisionnels.

Les principales substances contributrices à cet impact sont : nombreux composés chimiques (NO_x, SO_x, NH₃, CO, HAP, COV, métaux lourds...etc.)

2.6.2 Déplétion de la couche d'ozone

La déplétion de la couche d'ozone se réfère à l'amincissement de la couche d'ozone stratosphérique, résultant des émissions anthropiques. Par conséquent, une plus grande fraction du rayonnement UV-B solaire atteint la surface de la terre pouvant donc entraîner des effets potentiellement nocifs sur la santé humaine, la santé animale, les écosystèmes terrestres et aquatiques, les cycles biochimiques et les matériaux.

Les principales substances contributrices à cet impact sont : CFC, HFC, SF6

2.6.2 Formation d'ozone troposphérique

La formation de photo-oxydants se caractérise par la génération de composés chimiques réactifs tels que l'ozone en basse atmosphère (la troposphère) par l'action du rayonnement solaire (les photons) sur certains polluants atmosphériques primaires appelés précurseurs. Cet ozone en basse altitude peut être préjudiciable pour la santé humaine, pour les écosystèmes et peut également endommager les cultures.

Les principales substances contributrices à l'impact sont : COV, CO, NOX.

2.6.3 Effets respiratoires dus à des composés inorganiques

Cet impact représente les effets respiratoires des polluants atmosphériques inorganiques et leurs conséquences sur l'Homme. L'évaluation de l'impact est basée sur les données épidémiologiques des effets respiratoires de la pollution. Cette catégorie d'impact affecte l'aire de protection santé humaine ; dans certaines méthodes d'analyse des impacts elle peut être englobée dans la catégorie toxicité humaine. Cette catégorie est redondante à la catégorie « formation d'ozone troposphérique » car elle implique le plus souvent les mêmes substances engendrant les mêmes effets.

Les principales substances contributrices à cet impact sont : SOX, NOX, CO, O3, NH3 ...

2.6.4 Changement climatique

Le changement climatique est défini comme l'impact sur le « forçage radiatif » des émissions humaines dans l'atmosphère. Le forçage radiatif est le changement d'équilibre entre les radiations pénétrant l'atmosphère et celles qui s'en échappent. Un forçage radiatif positif tend à réchauffer la surface de la terre, et un forçage négatif tend en moyenne à refroidir la surface.

Les gaz dits « à effet de serre » permettent, grâce à leur structure moléculaire dissymétrique, d'absorber le rayonnement solaire et de réémettre ce rayonnement en infrarouge. Il s'agit d'un phénomène naturel d'« effet de serre ». Lorsque la concentration de ces gaz augmente dans l'atmosphère du fait des rejets anthropiques, ce phénomène est amplifié et est appelé « augmentation de l'effet de serre ». Celui-ci peut conduire à terme à une augmentation de la température moyenne de la Terre, un dérèglement climatique et entraîner de nombreux effets néfastes sur la qualité des écosystèmes et la santé humaine.

Les principales substances contributrices à cet impact sont : CO_2 , CH_4 , N_2O , CFC et HCFC.

2.6.5 Ecotoxicité aquatique et terrestre

Cette catégorie d'impact caractérise les impacts des substances toxiques sur les écosystèmes aquatiques, terrestres et les écosystèmes des sédiments. L'aire de protection concernée par cette catégorie d'impact est l'environnement naturel et les ressources naturelles. De même que pour la toxicité humaine, le calcul de l'écotoxicité fait encore débat.

Les principales substances contributrices à l'impact sont : Pb, Cd, Hg, PCB, HAP...

2.6.6 Eutrophisation aquatique et terrestre

L'eutrophisation résulte d'un apport trop important de nutriments (notamment azote et phosphore) dans les eaux de surface entraînant une prolifération des algues, une stratification des eaux avec un appauvrissement en oxygène et une activité microbienne en condition anaérobie croissante. L'enrichissement en nutriment peut provoquer une modification indésirable de la composition des espèces et une production de biomasse algale et microbienne trop importante dans les écosystèmes aquatiques et terrestres perturbant la photosynthèse. De plus, des concentrations élevées en nutriments peuvent rendre les eaux de surface impropres à la consommation.

Les conséquences exactes de l'eutrophisation pour les milieux terrestres sont moins bien connues. Cependant, on peut relever parmi celles-ci, à l'instar de l'eutrophisation aquatique, que l'élévation du niveau de nutriments dans les sols peut occasionner des bouleversements dans la dominance des espèces.

Les principales substances contributrices à l'impact sont : Composés azotés (NO_x , NH_4^+) et phosphorés (PO_4^{3-}) et les matières organiques biodégradables.

Remarque : le terme d' 'eutrophisation terrestre', s'il est pratique, n'est pas exact ; en effet, le terme 'eutrophisation' se réfère, par définition, au milieu aquatique.

2.6.7 Acidification

L'acidification des milieux naturels est essentiellement due à l'émission de polluants atmosphériques acides en atmosphère sèche ou engendrant des acides en l'atmosphère humide. Les polluants acidifiants contribuent à l'appauvrissement du sol en nutriments et à la solubilisation des métaux lourds dans les eaux entre autres. Les exemples d'impacts de l'acidification sont, la mortalité des poissons dans les lacs, le dépérissement des forêts ou encore l'effritement des matériaux de construction. Les aires de protections touchées sont : l'environnement naturel, l'environnement artificiel, la santé humaine et les ressources naturelles.

Les principales substances contributrices à cet impact sont: NOX, NH₃ et SO₂

2.6.8 Déplétion des ressources biotique et abiotiques

Les ressources abiotiques sont les ressources naturelles considérées comme non-vivantes telles que le pétrole, le charbon, l'uranium, les minerais. La consommation de ces ressources entraîne leur épuisement car leur vitesse de renouvellement est très largement inférieure à leur vitesse de consommation, ce qui en fait des ressources considérées comme non-renouvelables. Il existe d'importantes différences dans la caractérisation de cet impact résultant de définitions variées/ non-identiques du problème. Selon les définitions, la catégorie d'impact peut influencer uniquement sur l'aire de protection ressources naturelles ou sur les aires de protections ressources naturelles, santé humaine et environnement naturel.

Les ressources biotiques sont les ressources naturelles vivantes ou issues du vivant. Cette catégorie d'impact couvre les consommations de telles ressources exemple : la forêt tropicale.

Remarque:

La catégorie d'impact 'Consommation énergétique', transversale à celles de l'épuisement des ressources abiotiques et biotiques, est également couramment utilisée. Elle se limite alors généralement aux ressources fossiles (dépôts abiotiques), et aux sources dites d'énergie renouvelable (fonds et écoulements abiotiques et biotiques). Le domaine de protection associé est celui des ressources naturelles.

2.6.9 Utilisation de l'espace naturel

Cette catégorie d'impact couvre les conséquences de l'utilisation du sol faite par l'homme. Une distinction a été faite en fonction du compartiment impacté : les ressources, la biodiversité, les fonctions supports de la vie, etc.

Différentes sous-catégories impacts sont explicitées:

- Compétition des usages du sol ;
- Perte de biodiversité ;
- Perte de fonctions supports de la vie ;

Parmi ces catégories, seule la perte de biodiversité est généralement caractérisée dans les méthodes de caractérisation des impacts.

2.7. Outils de modélisation des impacts utilisés par l'ACV

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

Tableau 2.6 : Logiciels utilisés par la démarche ACV

Logiciel ACV	Caractéristiques	Langues	Écoinvent	Fournisseurs
Sima Pro	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

CHAPITRE 3 :
APPLICATION DE
L'ACV AU PROCESS
DE TRAITEMENT
DES EAUX
USEES (ONA)

3.1. Présentation de la station d'épuration de Boumerdes

3.1.1. Description et situation géographique

La ville de Boumerdes est située à une cinquantaine de kilomètres à l'Est d'Alger ; elle est située au bord de la mer méditerranée. La wilaya de Boumerdes compte environ 786 602 habitants. La mise en place du système de management environnemental concerne le système d'assainissement de l'unité de Boumerdes à savoir : la STEP de Boumerdes est située à la limite, Sud de la commune de Boumerdes dans un bas fond sur la rive gauche de l'oued TATAREG sur le chemin reliant Boumerdes à Corso. Elle s'étend sur une superficie de 34966.15 m², sa capacité est de 75 000 Eq/hab, conçue pour protéger le milieu récepteur, en l'occurrence la mer méditerranée [41].



Figure 3.1 : position géographique de la STEP de Boumerdes.

3.1.2. Définition de la pollution à traiter

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes :

- Volume journalier 15 000 m³
- DCO journalière..... 5062.5 kg/j.
- Débit moyen 24h.....625 m³
- DBO5 journalière.....4050 kg/j.

- Débit de pointe temps sec ... 1063 m³
- MES journalières 5250 kg/j.
- Débit de pointe temps de pluie1944 m³
- Coefficient de rejet.....80%.

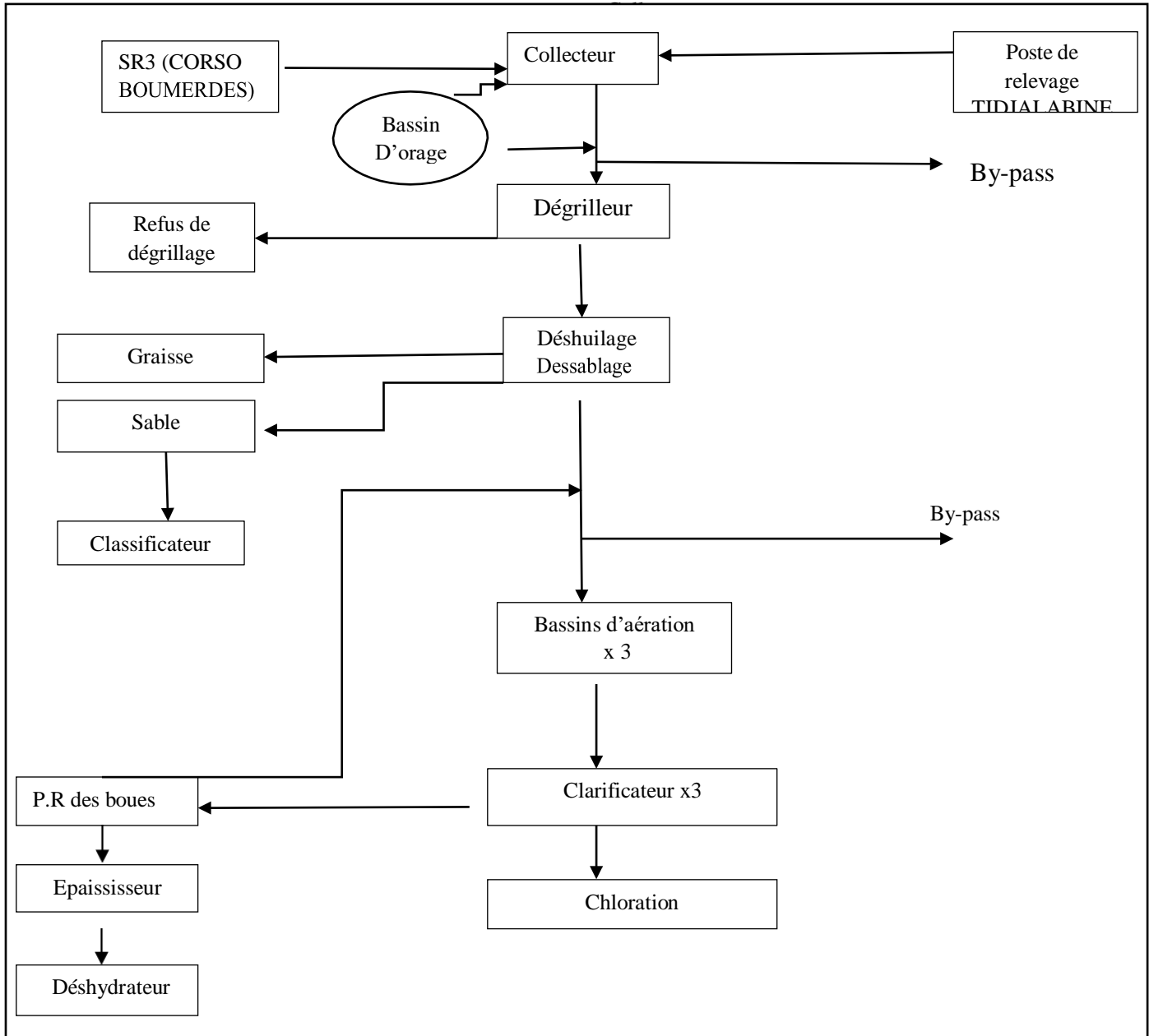


Figure 3.2. : Synoptique de la station de Boumerdes

a. Arrivée des eaux et bassins d'orage

Une partie des effluents sont envoyés par pompage directement dans le canal d'alimentation du prétraitement d'une part et par gravité dans la bache de relèvement, ceci par deux conduites de 600 mm de diamètre, ce poste de relèvement permet l'alimentation du prétraitement en aval. Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au débit accepté par l'installation suivant le nombre de bassins d'aération en service. Deux pompes submersibles permettent de relever ces eaux vers le prétraitement, sur la base de la vidange du bassin plein, laissant ainsi rapidement le volume disponible pour réguler le débit entrant, sans toutefois surcharger le traitement ultérieur.



Figure3.4 : Bassin d'orage.

b. Dégrillage

L'ensemble du dégrillage comporte un dégrilleur automatique fin du type à champ courbe, avec espacement entre barreaux de 20 mm, le dégrillage grossier ayant déjà été assuré dans les stations de pompage en amont.

-Les refus sont évacués par convoyeur à vis vers une benne ou tout autre dispositif de stockage.



Figure3.5: Le dégrilleur automatique.

c. Dessablage-dégraissage

Les ouvrages circulaires de dessablage-dégraisseur ont pour but

- L'élimination par décantation de la plus grande partie de sable de dimensions supérieures à 150-200 mm
- L'élimination d'une grande partie de matières flottantes (graisse.....) en partie supérieure des ouvrages.

La rétention des particules sableuses contenues dans l'eau résiduaire urbaine est indispensable, car elle permet :

- D'éviter l'abrasion des engins mécaniques.
- D'éviter les surcharges dans les étapes suivantes du traitement, notamment en cas de pluie, ou la quantité journalière de sable arrivant sur la station peut être multipliée de 3 à 7 fois.
- D'éviter l'accumulation de sables dans les étapes ultérieures du traitement.
- La quantité de sable piégé soit de l'ordre de 15 à 40 mg/l (étude France).

L'élimination des graisses permet :

- D'améliorer la quantité visuelle de la surface des ouvrages ultérieurs.
- De limiter la quantité de flottants et graisses susceptibles de se coller, de s'agglutiner ou de flotter dans les ouvrages situés en aval et qui peuvent créer des problèmes de colmatage et de fermentation.



Figure 3.6 : Dégraisseur-dessableur.

- **Ouvrage de répartition**

Un ouvrage de répartition permet d'aiguiller l'eau à traiter vers les différentes files de traitement par l'intermédiaire de batardeaux.



Figure 3.7 : Ouvrage de répartition

d. Traitement biologique

- **Bassins d'aération**

Les eaux prétraitées sont dirigées vers 3 bassins d'aération munis de turbines type " acti-retor" (machine destinée à épurer l'eau en y faisant pénétrer de l'air à travers sa couche superficielle) permettant l'aération prolongée et la culture bactérienne à l'origine du traitement. Les bassins reçoivent d'autre part la "liqueur mixte" constituée par la recirculation des boues provenant des clarificateurs finaux.

- Nombre de bassins 3
- Volume unitaire 3600 m³
- Profondeur 4,5 m
- Nombre d'aérateurs 9



Figure 3.8 : Bassin d'aération.

e. Clarification finale

L'eau sortante des ouvrages d'aération est dirigée vers 3 clarificateurs de diamètre 24 m la base de dimensionnement étant de 0.8 m/h par pointe de temps sec, la surface requise est de 1330 m², les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide d'un racleur vers un puits central de collecte. Elles sont reprises par une tuyauterie les acheminant vers la bêche de recirculation avoisinante aux bassins d'aération. Une partie des boues est recirculée en tête d'aération sous le nom de liqueur mixte et une partie est extraite pour être envoyée vers l'épaississeur.

Les eaux décantées sont recueillies par sur verse dans une rigole périphérique pour être dirigées vers la désinfection et le canal de comptage.



Figure 3.9 : Clarificateur

-Bassin de chloration (Bassin chicane)

L'eau clarifiée transite vers un ouvrage en béton comportant un certain nombre de chicanes (passage en zigzag). Un premier canal permet de mesurer le débit d'eau traité. Une série de canaux en chicane permet d'assurer un contact prolongé entre l'eau à désinfecter et l'eau chlorée.

Caractéristique générale

- Largeur des canaux 1 m
- Volume total 385
m³
- Temps de séjour au débit de pointe temps sec 20min

La dose de chlore prévue est de 9.5 g/m³ et est assurée par un ensemble de chloration à partir de chlore gazeux.



Figure 3.10 : Bassin de chloration.

-Traitement des boues

Le traitement des boues issues de la décantation clarification comporte deux étapes :

- Un épaissement statique.
- Une déshydratation mécanique.

✓ **Épaissement des boues**

Avant transfert en déshydratation, il est nécessaire d'épaissir au maximum les boues dans le but essentiellement de traiter des plus faibles volumes et donc d'avoir des ouvrages et équipements plus compacts. L'épaississeur n'est pas le "dépotoir" final du traitement de l'eau mais l'ouvrage intermédiaire indispensable entre la chaîne de traitement d'eau et la chaîne de traitement des boues. Son but est de :

- Soulager le traitement de l'eau en captant au maximum les boues produites par cette chaîne de traitement en lui restituant une surverse peu chargée dite "claire" afin d'éviter tous les stockages préjudiciables de boues dans les ouvrages de traitement d'eau.
- Fournir à la chaîne de traitement des boues un "produit" rassemblant le maximum de quantité tant en concentration qu'en fraîcheur afin d'assurer les conditions optimales de déshydratation.

L'épaississeur doit être considéré comme un ouvrage à part entière remplissant les mêmes fonctions qu'un décanteur (qu'il soit primaire ou secondaire), c'est-à-dire qu'il réalise une séparation solide liquide.

Caractéristiques dimensionnelles :

- Diamètre intérieur 13 m

Caractéristique fonctionnelles :

- Charge massique 30 kg/m²
- Concentration de sortie moyenne minimum 20 g/l
- Volume journalier à transférer en déshydratation 792 m³

Les boues épaissies sont reprises au fond de l'ouvrage pour être refoulées vers la déshydratation à l'aide d'une pompe à vitesse variable afin d'ajuster le débit de boues à déshydrater.



Figure3.11. : Epaisseur

✓ *Déshydratation mécanique*

Les boues épaissies sont d'abord floculées avant d'être envoyées sur une bande presseuse, l'ajout de polymère en faible quantité est nécessaire afin d'améliorer la filtrabilité des boues.

Caractéristiques générales de la presseuse :

- | | |
|---|--------------------|
| ➤ Longueur de bande | 2 m |
| ➤ Capacité unitaire | 150 kg MS/m/h |
| ➤ Temps de fonctionnement journalier avec 1 seule machine | 13.6 h44 |
| ➤ Consommation de polymère moyenne | 20 kg/j |
| ➤ Siccité des boues déshydratées | 15± 1 % |
| ➤ Masse journalière de boues produites | 4 t/j boues sèches |

Le poste automatique et de dosage de polymère liquide à partir de polymère en poudre et d'eau potable.



Figure 3.12 : L'appareil de déshydratation

3.2. Application de l'ACV à la station d'épuration de Bouterdes

3.2.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude

L'objectif principal de la présente étude de fournir une analyse environnementale du process de traitement des eaux usées. De manière plus spécifique, les objectifs sont :

-Evaluer les impacts sur l'environnement du traitement des eaux usées en utilisant l'approche ACV

-Déterminer les impacts les plus significatifs

-Déterminer la contribution des différents flux aux impacts significatifs

- **Unité fonctionnelle**

La fonction d'une STEP est de traiter les eaux usées d'un espace donné. L'unité fonctionnelle est donc :

Le volume d'eau usée à traiter arrivant à la station durant une journée.

137949 m³

- **Frontières du système étudié**

Au sens de l'ACV (notion de cycle de vie), le système étudié comprend la station et les activités qu'elle engendre : production de réactifs et d'énergie, transports divers.

Le scénario étudié a été découpé en :

- La station,
- L'électricité,
- L'utilisation des réactifs (polymère dans notre cas).

- Les transports des boues, les déchets

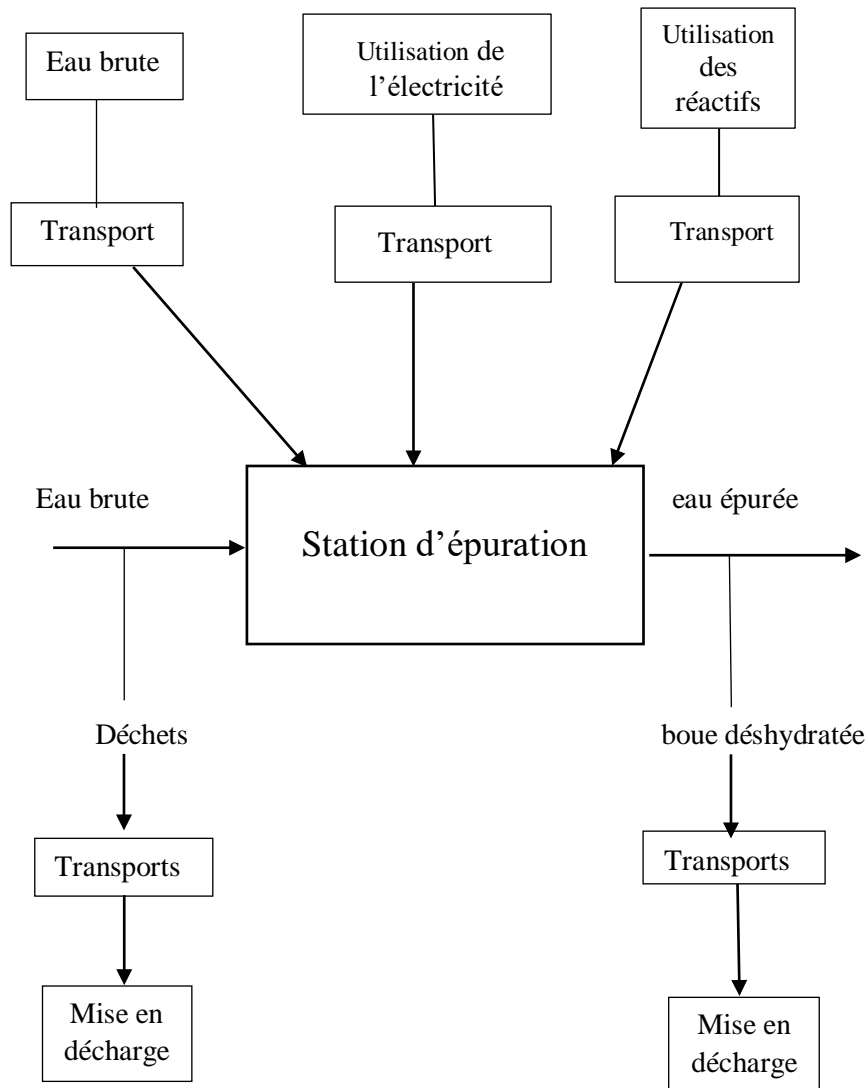


Figure .3.13 : Frontières du système étudié

3.2.2. Inventaire du cycle de vie

Les données de la STEP sont tirées de l'évaluation statistique basée sur les relevés de l'exploitant pour le mois d'avril l'année 2022.

- **Consommation en réactifs**

Les consommations en réactifs sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau .3.1 .consommation en réactif de la station

Réactif	Unité	Quantité
Polymère (adipicacid)	Kg/j	16,536

- **Consommation en énergie**

L'énergie électrique de la station est celle relevée par SONELGAZ. La valeur totale considérée est **92504 kWh/j**.

- **Transport**

L'impact environnemental d'un véhicule dépend essentiellement des émissions de la combustion de carburant. Trois paramètres conditionnent cet impact :

- le type de véhicule,
- la distance parcourue,
- la quantité de produit transporté.

Dans le Transport, ces trois informations sont nécessaires. Pour le type de véhicule, Simapro dispose d'une base de données adaptée aux différentes catégories de véhicules. Ces bases de données dépendent d'un seul facteur : le nombre de tonne. Kilomètre (t.km), qui est le produit des deux autres paramètres. Le transport pour le but de transporter les déchets et surtout la boue jusqu'au centre d'enfouissement de CORSO. Le tableau 3.2 résume ces informations pour le transport du système étudié.

Tableau 3.2 : Informations concernant le transport des différents produits

Transport	Type	Capacité	Distance
	Camion delta	2 m ³ 2,5tonnes	11 kilomètre

- **Emissions de la station dans l'eau à traiter (eau brute)**

Les paramètres analytiques considérés dans cette étude sont présentés dans les tableaux 3.3 et 3.4. Les valeurs considérées sont les moyennes des paramètres sur la période avril 2022, calculées à partir des données fournies par l'exploitant.

Tableau 3.3. Paramètres de l'eau d'entrée de la station

Paramètre	Débit	Ph	T°C	MES	DBO5	DCO	N-NH4	N-NO2	N-NO3	NTK	PT	P-PO4
Unité	m ³ /j	/	/	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Quantité	4598,3	7,31	18,79	279,44	258	360	37,65	0,10	0,55	53,10	6	4,35

Les paramètres de l'eau rejetée (eau épurée) à la rivière sont les suivants :

Tableau 3.4. Paramètres de l'eau de sortie de la station

Paramètre	Débit	Ph	T°C	MES	DBO5	DCO	N-NH4	N-NO2	N-NO3	NTK	PT	P-PO4
Unité	m ³ /j	/	/	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Quantité	4530,34	7,27	18,61	17	11,80	26,33	2,25	2,75	15,7	4,75	3,05	2,85

Tableau 3.5: Paramètres de l'eau de sortie de la station (rendement)

Paramètre	MES	DBO5	DCO	NTK
Flux (kg /j)	255	177	394,95	71,25
Rendement (%)	94	95	39	91

- **Inventaire des métaux lourds (éléments traces métalliques ETM)**

Les métaux lourds sont toxiques, d'une part pour le milieu naturel ou ils peuvent être accumulés le long de la chaîne alimentaire et d'autre part pour les processus d'épuration biologique. C'est ainsi qu'il est nécessaire de procéder aux analyses de ces métaux provenant essentiellement des rejets industriels.

Tableau 3.6. Résultats des analyses des éléments traces métalliques (ETM)

Paramètre	Unité	Quantité
Cuivre	mg	106,3
Nickel	mg	25
Chrome	mg	40,4
Cadmium	mg	2
Plomb	mg	62
Zinc	mg	603
Mercure	mg	1,7

- **Données des boues déshydratées**

Les résultats de l'analyse des boues sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3.7. Résultats de l'analyse des boues déshydratées

Paramètre	Volume (m ³)	Flux (T/j)
Boue déshydratée	6	7,207

- **Inventaire des déchets solides (dégrillage, dessablage, dégraissage)**

Tableau 3.8. Résultats de l'analyse des déchets

Prétraitement	Unité	Valeur
Dégrillage	m ³	1,5
Dessablage	m ³	0,4
Dégraissage	m ³	0,3

3.2.3. Evaluation des impacts et interprétation des résultats

- **Logiciel et méthodes**

Dans cette étude, nous avons utilisé le logiciel Sima pro 7 (développé par Pré Consultants, Pays Bas) pour modéliser les filières, recenser les flux, établir les inventaires et calculer les impacts à partir des différentes méthodes de calcul d'impact.

Les méthodes utilisées dans cette étude sont les suivantes :

- Eco-indicator (version 1999)
- CML 2 Baseline 2000
- Impact 2002+

Utiliser plusieurs méthodes pour évaluer chacun des impacts et voir s'il y a convergence ou non des résultats permet de vérifier la validité des résultats. La comparaison de ces méthodes permettra également d'analyser l'influence de celles-ci sur les conclusions de l'étude.

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.

❖ La méthode Eco – indicator 99(I) :

La méthodologie d'Eco-indicator 99 a été développée de haut en bas (top-down), en partant des dommages (sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes et les ressources minérales et fossiles) pour identifier les effets générant les impacts les plus importants et les relier aux émissions de l'inventaire.

Les impacts donnés par cette méthode sont :

- Cancérogènes
- Respiration des substances organiques
- Respiration des substances inorganiques
- Changement climatique
- Radiation
- Couche d'ozone
- Ecotoxicité
- Acidification/eutrophication
- L'utilisation des terres
- Minéraux

Ces résultats sont présentés sur les figures suivantes.

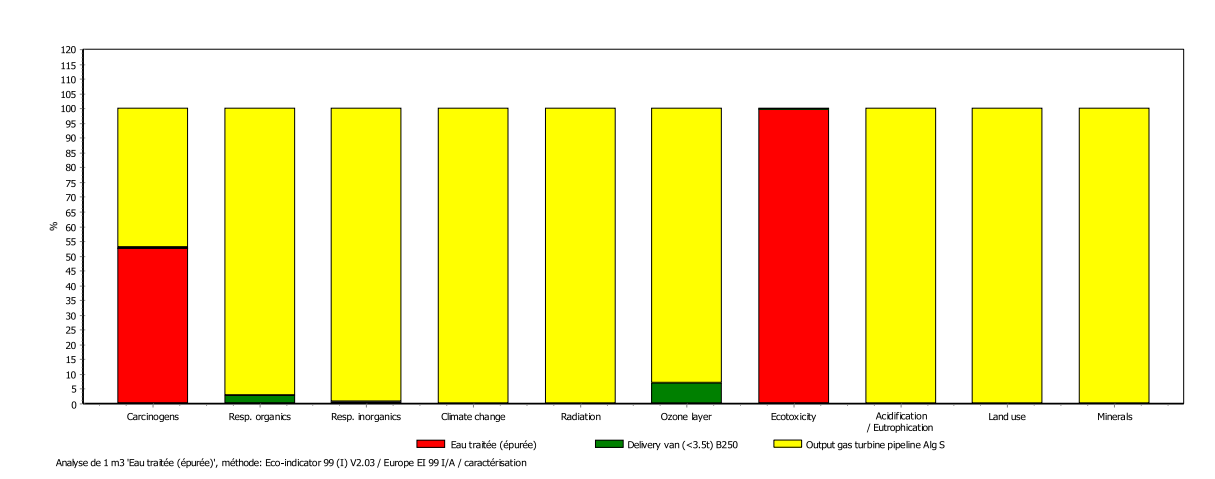


Figure 3.14 : impacts d'eau traité par la méthode Eco – indicator (99) I/ caractérisation

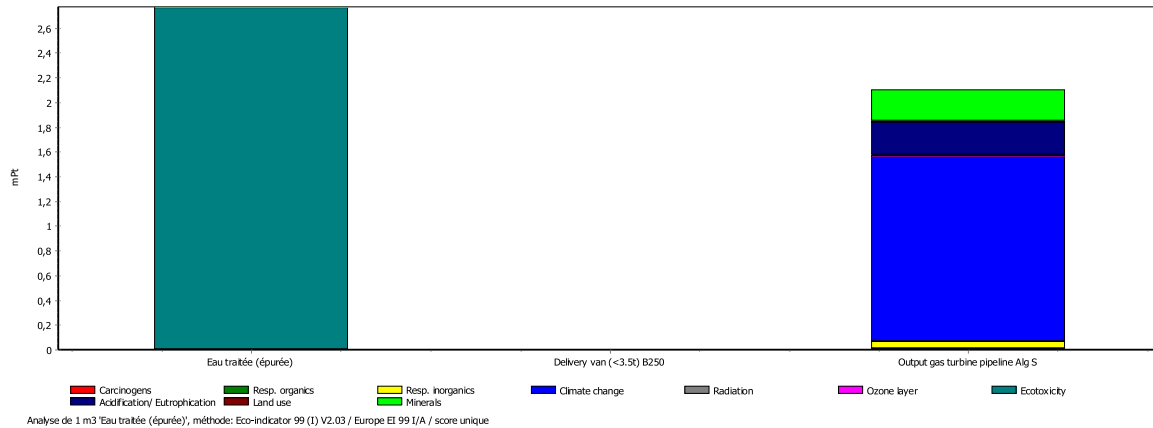


Figure 3.15 : impacts d'eau traité par la méthode Eco – indicator (99) I/ score unique

Nous remarquons que les impacts les plus significatifs sont dus à l'eau épurée et la consommation énergétique.

- Impacts de l'eau traitée

Les deux catégories d'impact « cancérogène » et « écotoxicité » sont dues à l'eau traitée de l'ordre de 55% et 98 % respectivement ; ceci s'explique par la présence des métaux lourds dans l'eau comme le montre la figure suivante .

On remarque que les principaux métaux lourds qui interviennent dans ces deux impacts sont le cadmium et l'arsenic pour le premier impact et le zinc, nickel, cuivre et le cadmium.

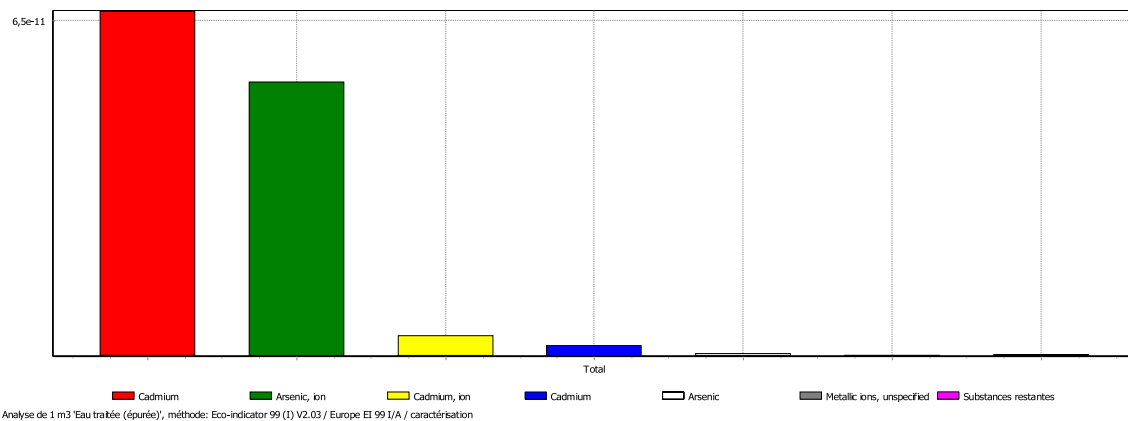


Figure 3.16 : contribution des différents métaux lourds à l'impact « cancérogène »

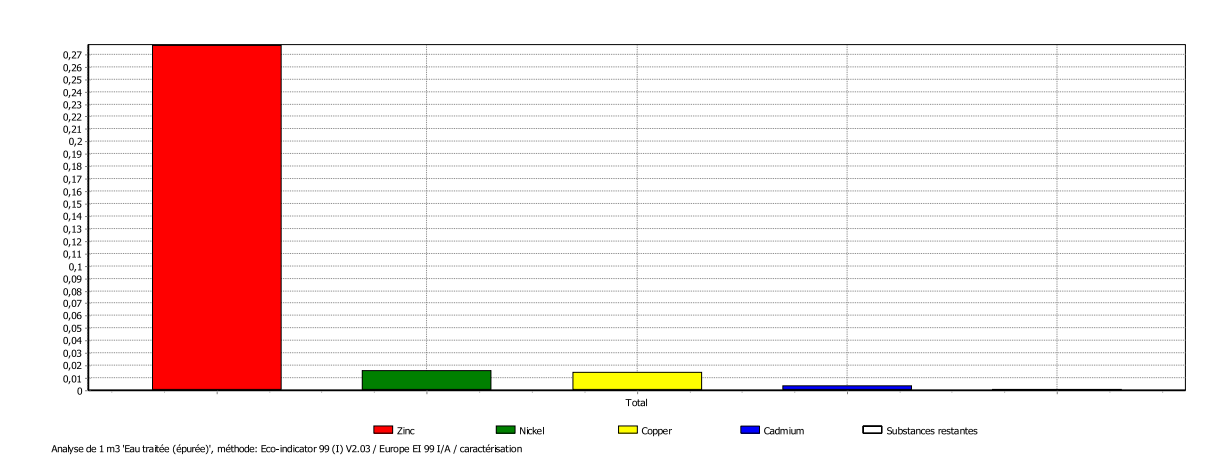


Figure 3.17: contribution des différents métaux lourds à l'impact « écotoxicité »

• Impacts de la consommation énergétique

On constate 6 catégories d'impacts : « utilisation des terres », « acidification / eutrophisation », « radiation », « changement climatique », et « respiration des substances inorganiques ». Elles sont dues à la consommation énergétique de l'ordre de 98%. Quant aux autres impacts « cancérigène », « respiration des substances organiques » et « couche d'ozone » l'énergie intervient à : 45%, 95%, 85% respectivement.

- L'acidification /eutrophisation est dû principalement aux oxydes d'azote (NO_x)

-Le changement climatique est dû au gaz carbonique(CO₂) et le méthane (CH₄)

-La respiration des substances inorganiques est due aux oxydes d'azote, les particules <10um (stationnaires et mobiles), oxydes de soufre (SO_x).

-La couche d'ozone est due au méthane.

-Les cancérogènes sont dus à la présence des deux métaux lourds qui sont l'arsenic et le cadmium.

-La respiration des substances organiques est due à la présence des composés organiques volatiles non méthaniques (NMCOV), l'éthane et le propane.

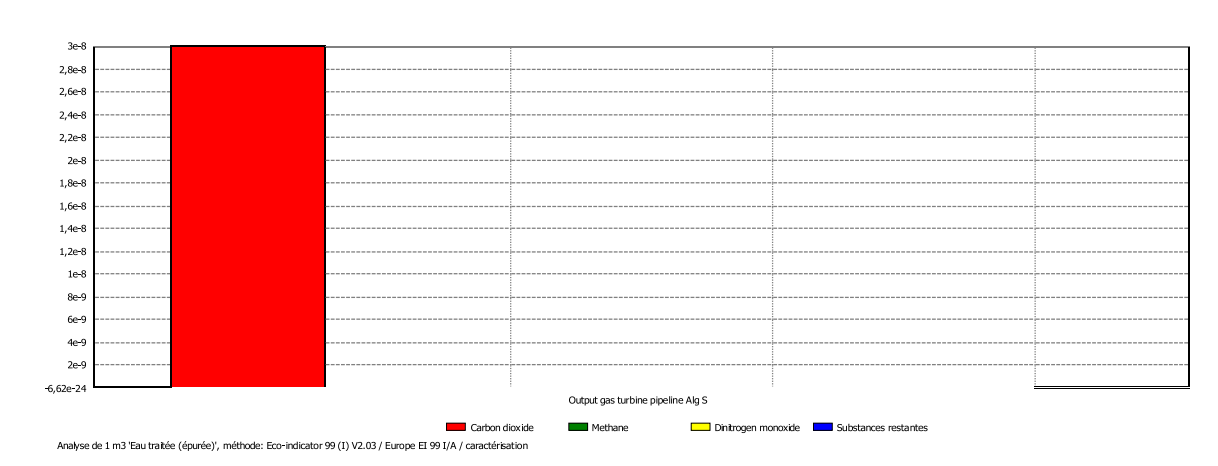


Figure 3.18 : Contribution au « changement climatique »

Changement climatique est dû aux émissions de gaz à effet de serre (GES).
 Nous remarquons que le gaz carbonique (CO₂) l'élément le plus impactant.

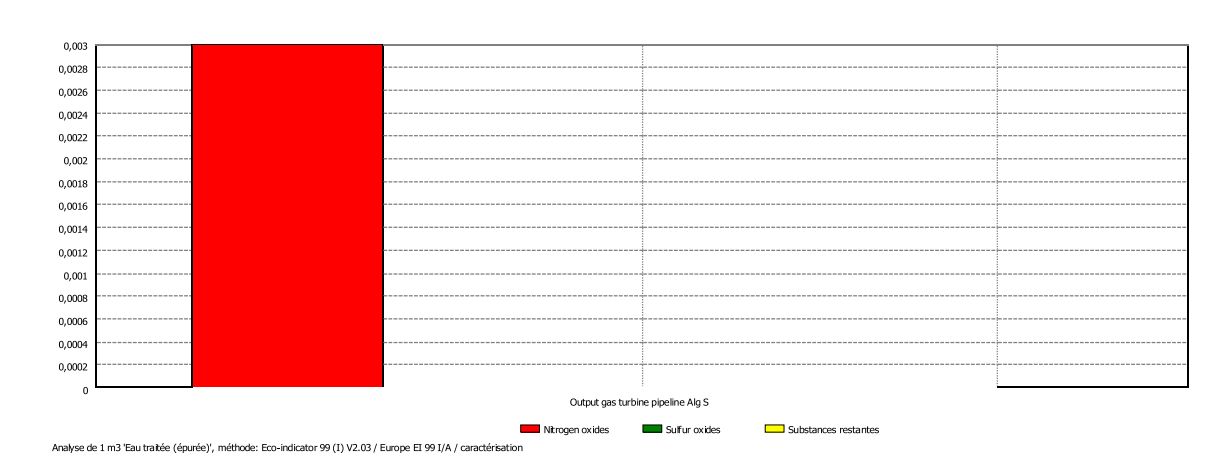


Figure 3.19 : Contribution au « acidification/ eutrophication »

Acidification /eutrophication est due principalement aux oxydes d'azote (NO_x).

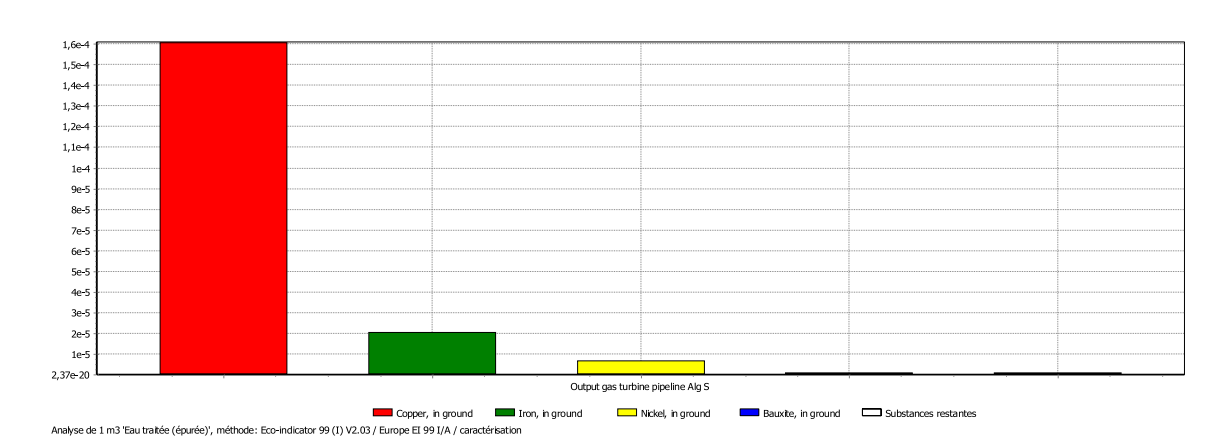


Figure 3.20 : Contribution au « minéraux »

Les minéraux sont dus principalement aux métaux lourds tels que le cuivre, le fer et le nickel.

❖ La méthode Impact 2002+

Elle permet d'obtenir un score environnementale global, par la normalisation et la pondération elle comprend ainsi 14 facteurs d'impact, regroupés en 4 catégories de dommages : l'impact sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes, le changement climatique et sur les sources.

Les impacts donnés par cette méthode sont :

- Cancérogènes
- Non cancérogènes
- Respiration des substances inorganiques
- Rayonnement ionisant
- Destruction de la couche d'ozone
- Respiration des substances organiques
- Ecotoxicité aquatique
- Ecotoxicité terrestre
- Acide/nutriment terrestre
- Occupation des terres
- Acidification aquatique
- Eutrophication aquatique
- Le réchauffement climatique
- Energie non renouvelable
- Minéraux d'extraction

Les résultats sont présentés sur les figures suivantes.

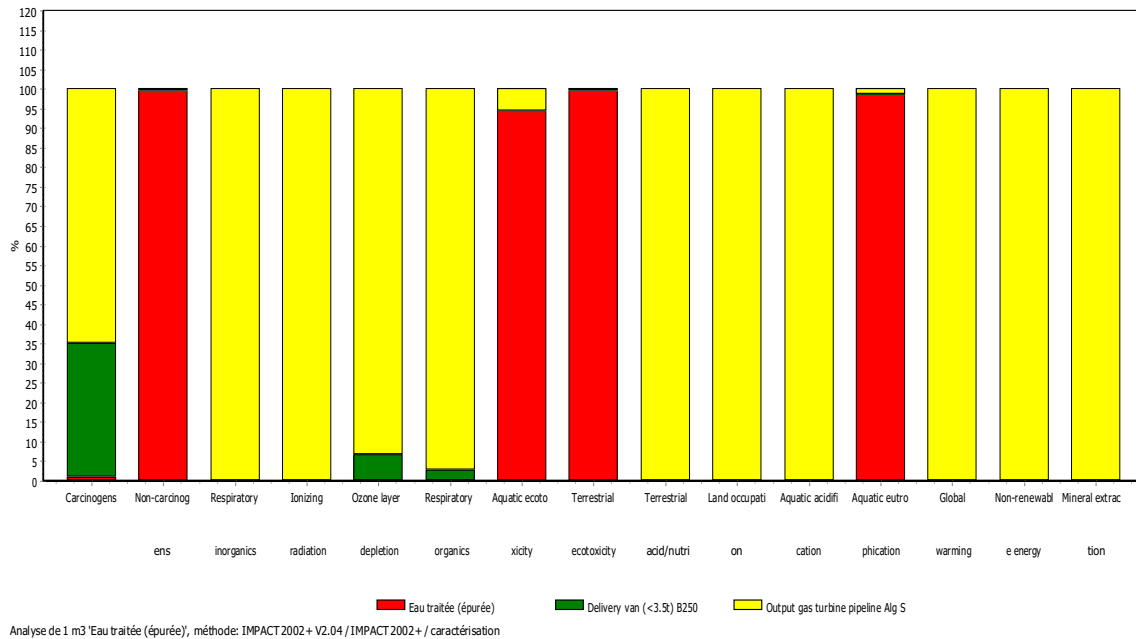


Figure 3.21: impacts d'eau traitée par la méthode impact 2002+ /caractérisation

D'après les résultats donnés sur la figure précédente (III-8), la méthode impact 2002+ nous donne les impacts du transport en plus de l'eau traitée et ceux de l'énergie.

• Impacts de transport

On constate trois (03) impacts importants : « cancérogènes », « destruction de la couche d'ozone » et « respiration des substances organiques ».

-Les cancérogènes sont dus principalement aux hydrocarbures aromatiques.

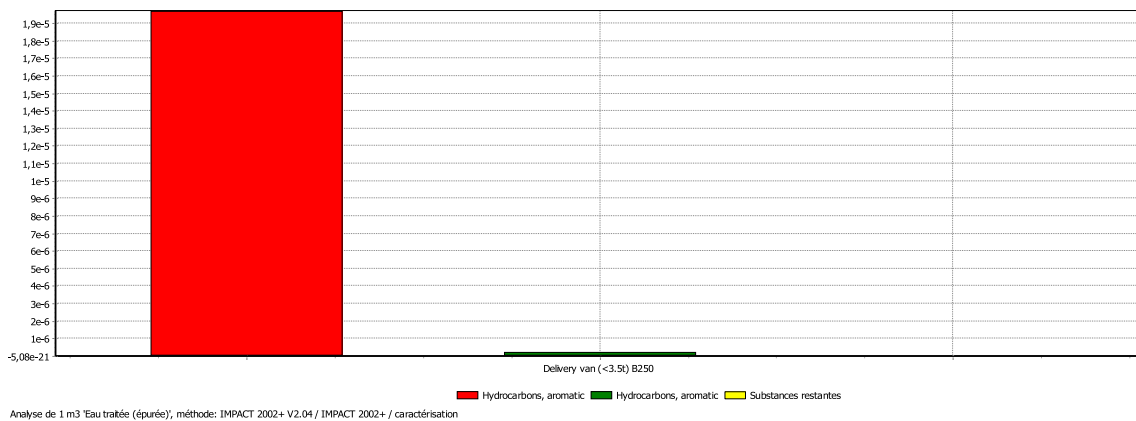


Figure 3.22 : Contribution aux « cancérogènes »

-La destruction de la couche d'ozone est due au méthane (bromotrifluoro).

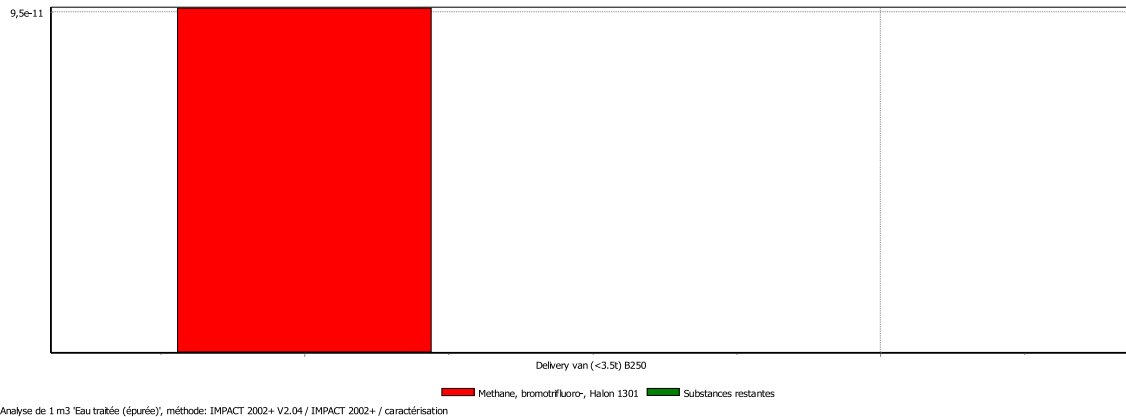


Figure3.23 : Contribution à la « destruction de la couche d'ozone »

La respiration des substances organiques est due essentiellement aux NMVOC (composés organiques volatiles non méthaniques) et les hydrocarbures aromatiques.

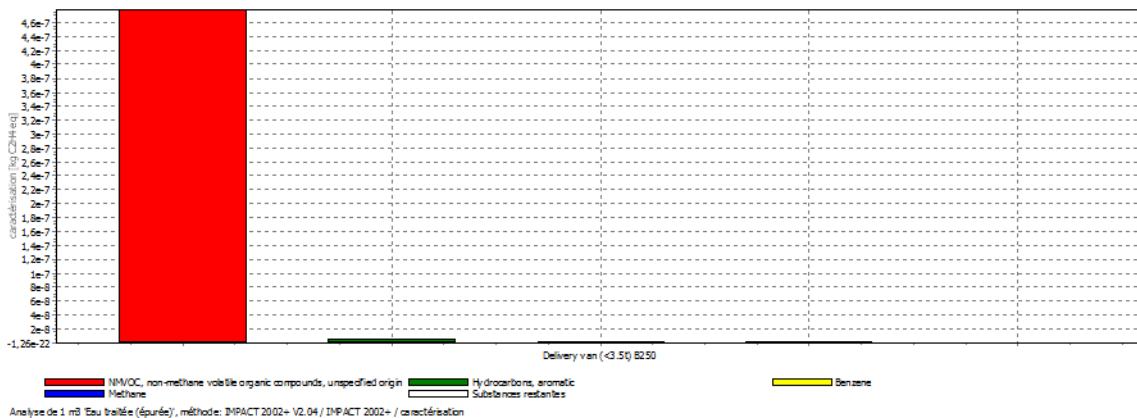


Figure 3.24 : Contribution la «respiration des substances organiques ».

- Impacts de l'eau traitée

Dans cette méthode l'impact écotoxicité est divisé en deux catégories à savoir « écotoxicité terrestre » et « aquatique ».

– L'eutrophisation est due au phosphore total et les phosphates.

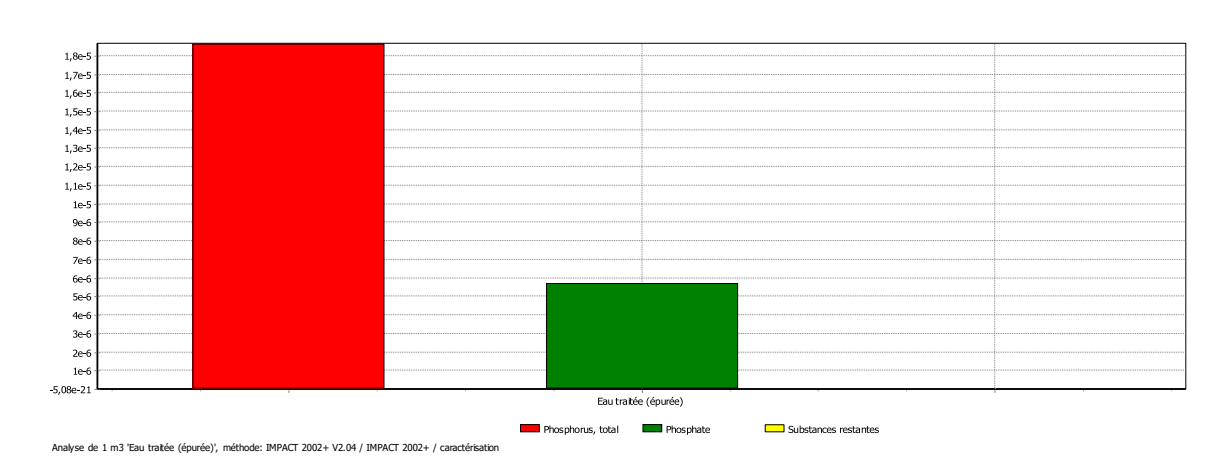


Figure 3.25 : Contribution à «l'eutrophisation ».

- Impacts de la consommation énergétique

On constate deux (02) catégories d'impacts en plus par rapport à la précédente méthode tel que : « rayonnement ionisant » et « énergie non renouvelable »

-Le rayonnement ionisant est dû au radon-222, carbone-14, césium-137 et le cobalt-60.

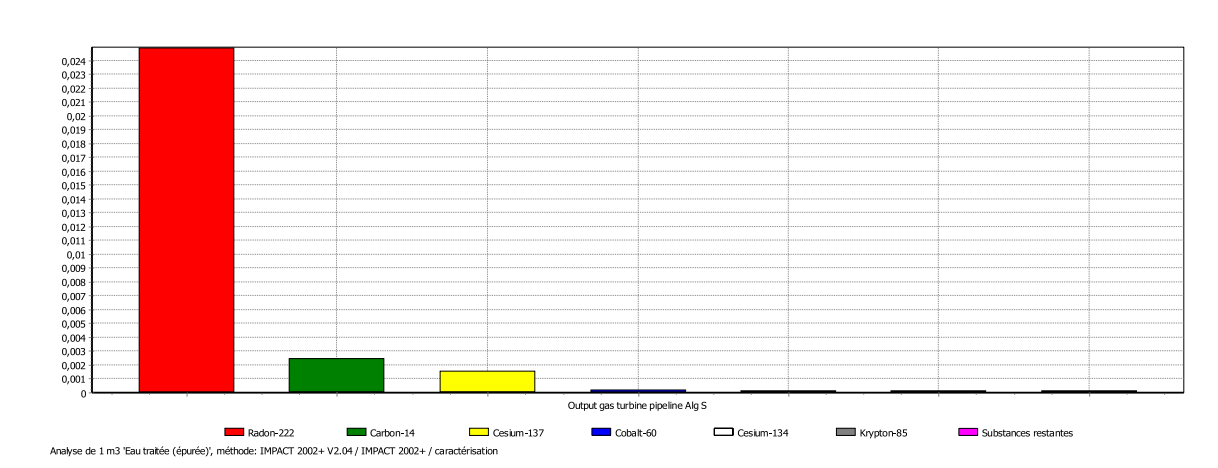


Figure 3.26 : Contribution au «rayonnement ionisant ».

- Energie non renouvelable est due principalement au gaz naturel.

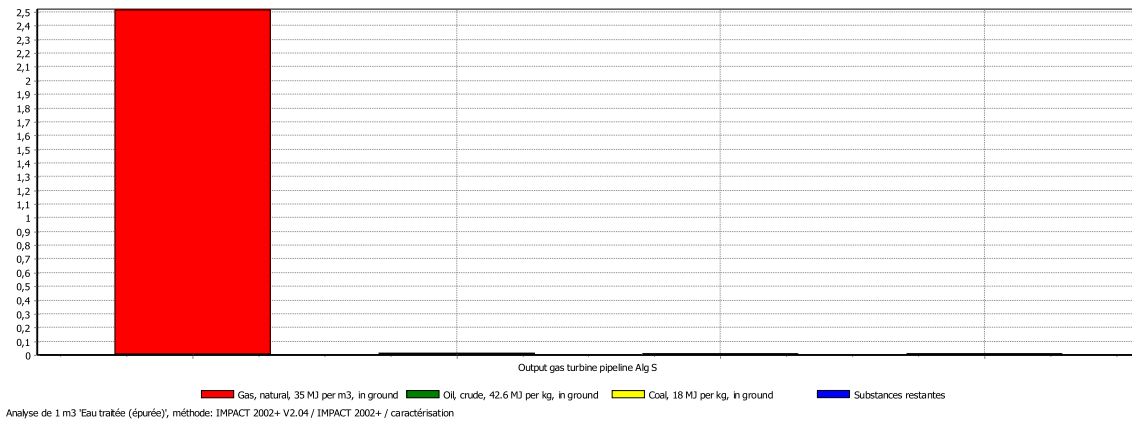


Figure 3.27 : Contribution à «énergie non renouvelable ».

❖ La méthode CML 2 Baseline 2000

Les impacts donnés par cette méthode sont

- Epuisement abiotique
- Eutrophication
- Acidification
- Le réchauffement climatique (GWP100)
- Destruction de la couche d'zone
- Toxicité humaine
- Ecotoxicité aquatique d'eau douce
- Ecotoxicité aquatique marine
- Ecotoxicité terrestre
- Oxydation photochimique

Les résultats sont présentés sur les figures suivantes.

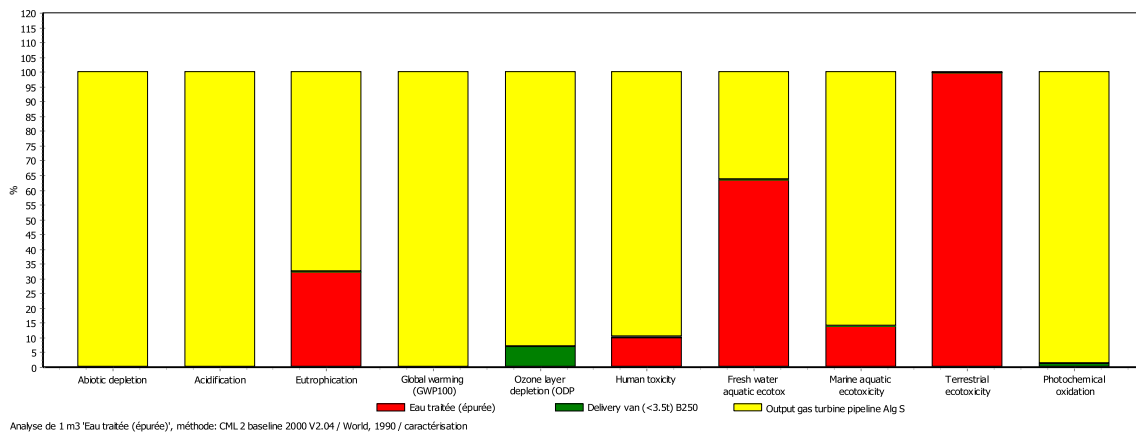


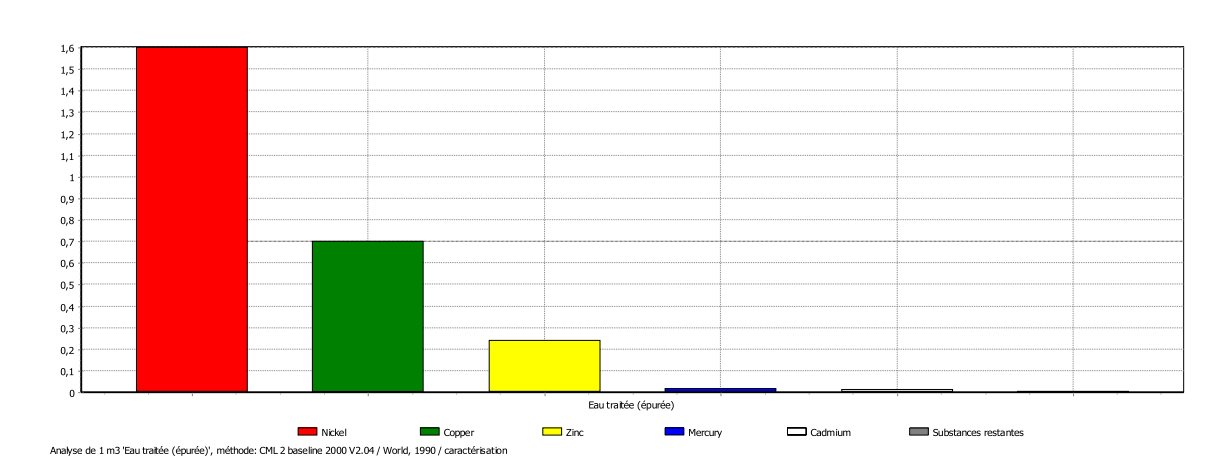
Figure 3.28_ : impacts d'eau traitée par la méthode CML 2 Baseline 2000/caractérisation

Nous remarquons que les impacts les plus significatifs sont dus toujours à l'eau traitée et la consommation énergétique mais en plus le transport intervient dans cette méthode par rapport aux méthodes précédentes comme indique la figure (Figure 3.28)

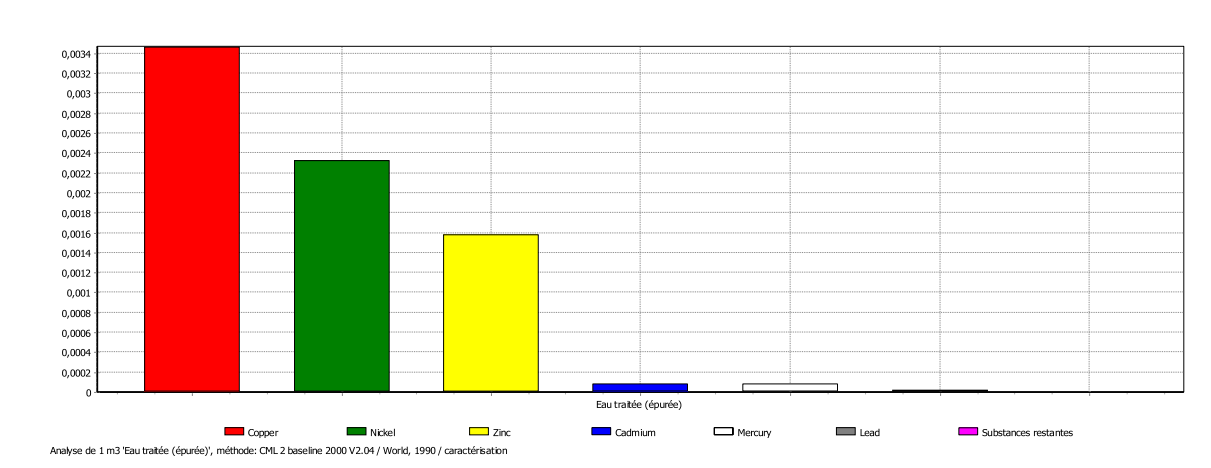
• Impacts de l'eau traitée

On constate trois (03) catégories d'impacts « Ecotoxicité aquatique marine », « Ecotoxicité aquatique d'eau douce », « Toxicité humaine » sont dus à l'eau traitée de l'ordre de 15%, 60%, 10% respectivement

-L'écotoxicité aquatique marine est dû aux métaux lourds tel que le nickel, le cuivre, le zinc et le mercure.



-L'écotoxicité aquatique d'eau douce est dû aux métaux lourds suivants : le cuivre, le nickel, le zinc et le cadmium.



-La toxicité humaine est due toujours à la présence des métaux lourds tels que le nickel, le mercure, le chrome et le plomb.

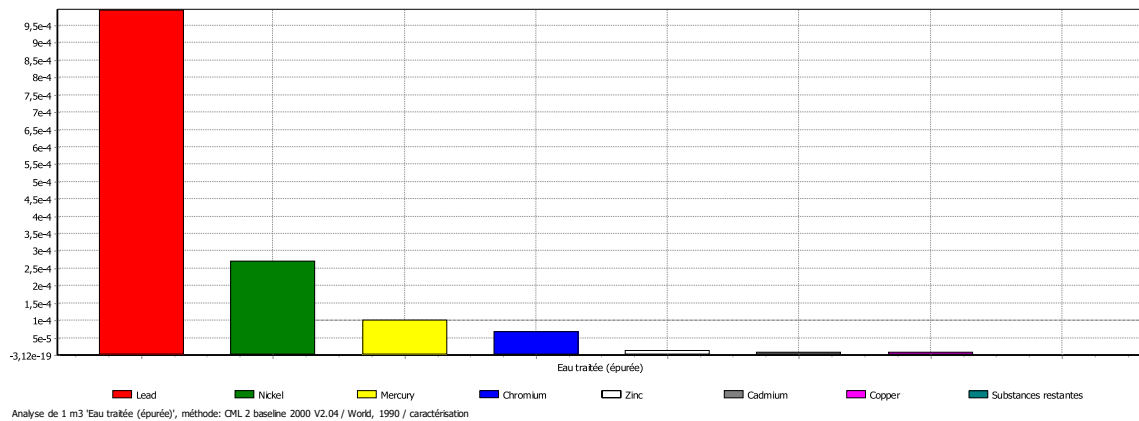


Figure 3.31 : Contribution à «toxicité humaine ».

• Impacts de la consommation énergétique

On remarque que la consommation d'énergie intervient dans tous les catégories d'impacts mais on distingue (04) les plus importants tel que : « Oxydation photochimique » de 95%, « Ecotoxicité aquatique marine » de 85%, « Ecotoxicité aquatique d'eau douce » de 35%, « Toxicité humaine » de 90%.

-L' oxydation photochimique sont dues au monoxyde de carbone, l'éthane, méthane, lesoxydes de soufre, le butane et le propane.

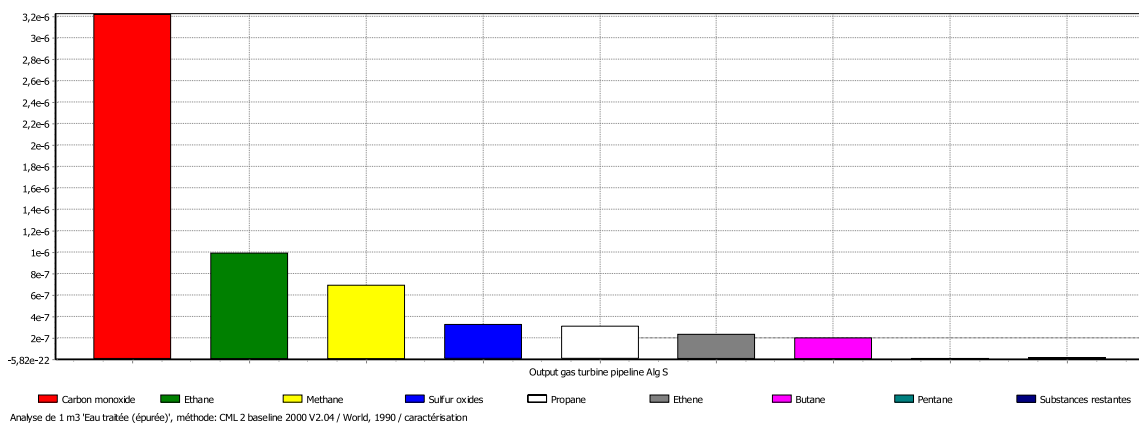


Figure 3.32 : Contribution à «Oxydation photochimique ».

-L'écotoxicité aquatique marine est dû à la barytine

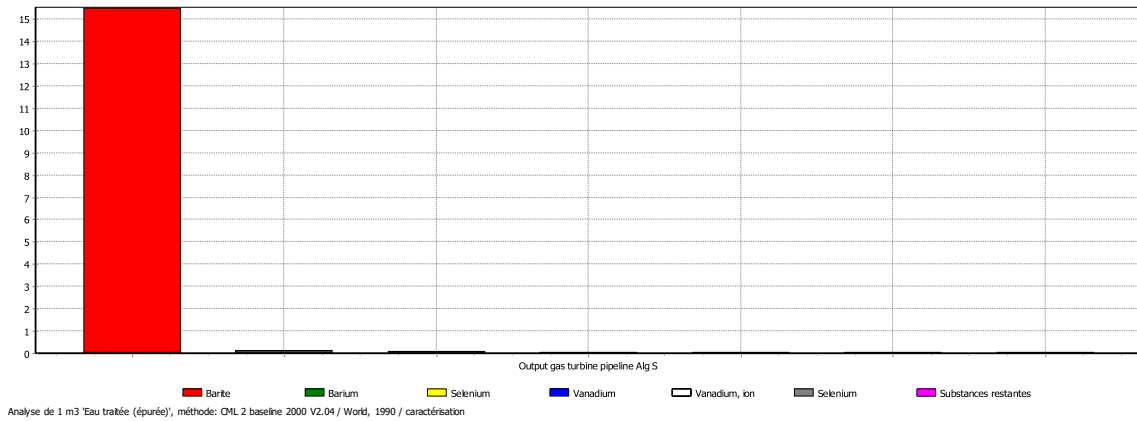


Figure 3.33 : Contribution à «Ecotoxicité aquatique marine ».

-L'écotoxicité aquatique d'eau douce est dû à la barytine.

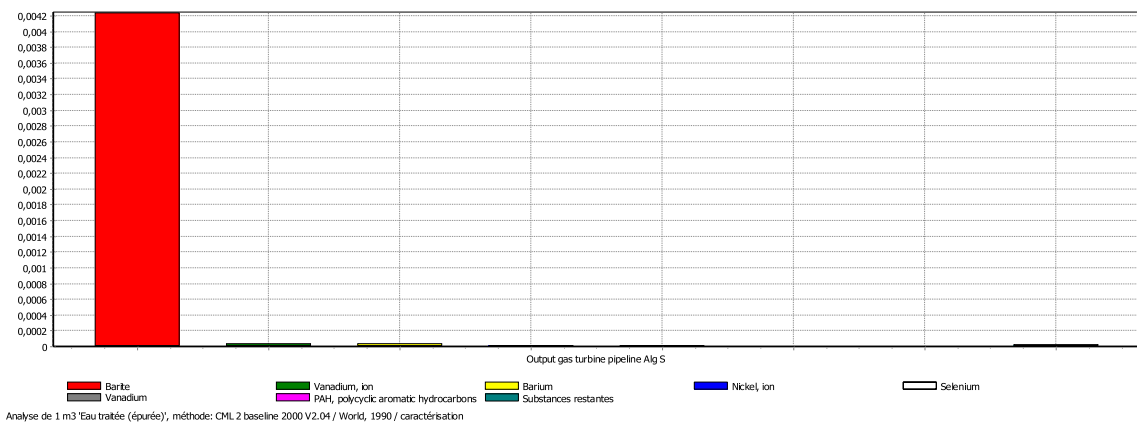


Figure 3.34 : Contribution à «Ecotoxicité aquatique d'eau douce ».

La toxicité humaine est due à la barytine, l'oxyde d'azote NOx, le sélénium et le nickel.

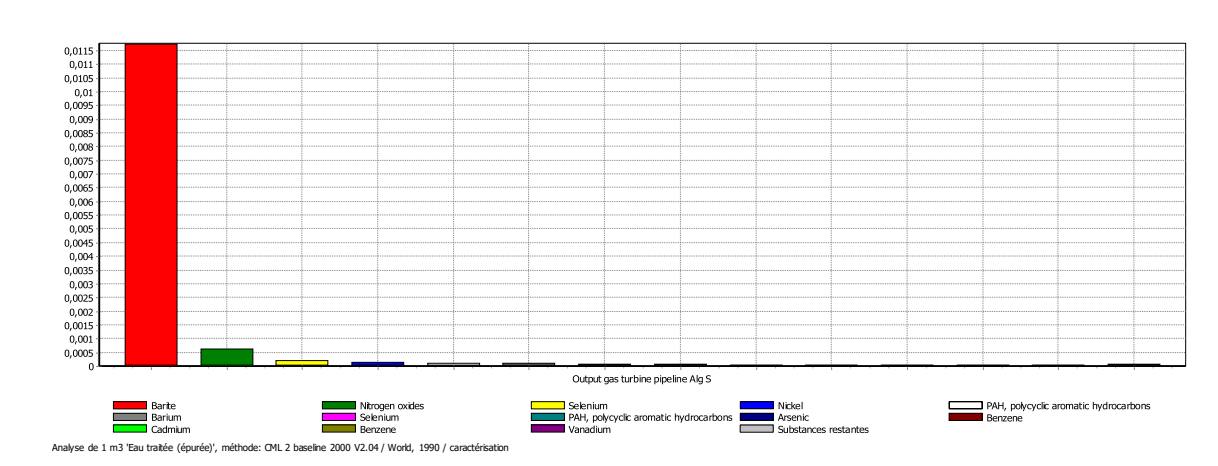


Figure 3.35 : Contribution à «toxicité humaine ».

- Impacts de transport

Les deux catégories d'impact «Destruction de la couche d'ozone » « Oxydation photochimique» sont dues au transport de l'ordre de 10% et 05 % respectivement.

-La destruction de la couche d'ozone est due au méthane (bromotrifluoro).

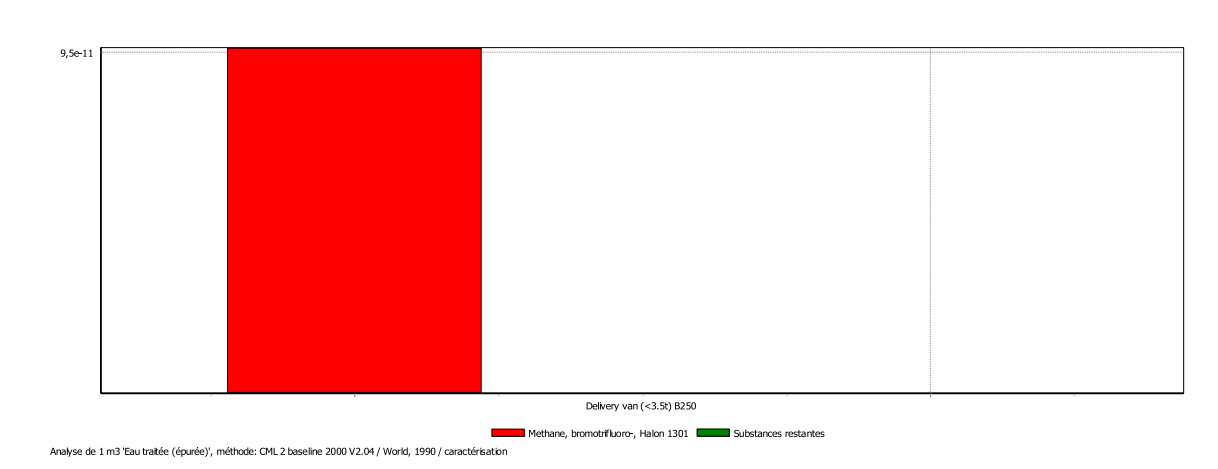


Figure 3.36 : Contribution à «Destruction de la couche d'ozone».

-L' oxydation photochimique sont dues au monoxyde de carbone, les oxydes de soufre (SOx), le benzène et le méthane.

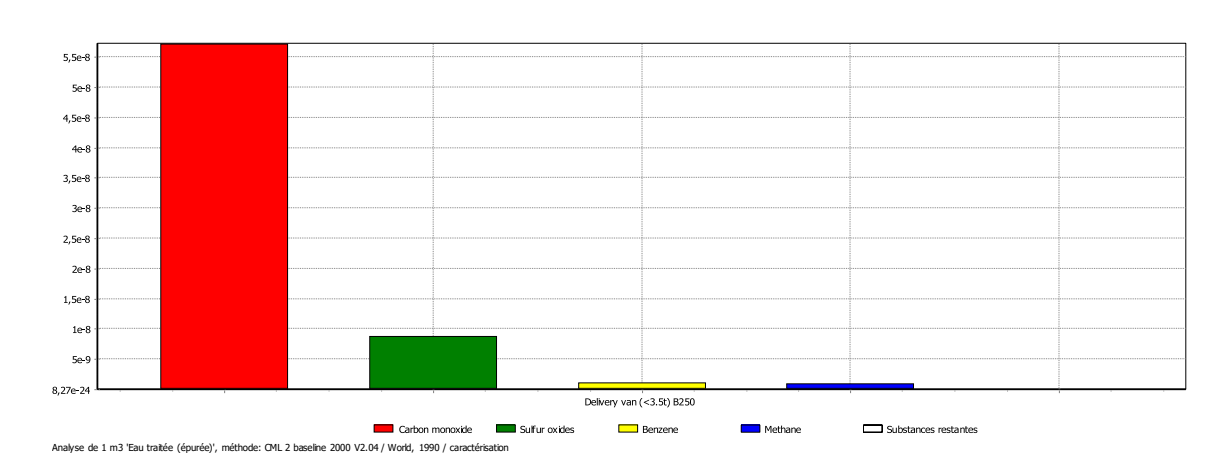


Figure 3.37 : Contribution à «Oxydation photochimique».

3.2.4. Synthèse des résultats

On constate d'après les résultats obtenus que la consommation énergétique et l'eau traitée sont les process les plus impactant, le transport intervient dans quelques catégories d'impact.

Dans les trois méthodes qu'on a utilisé on constate que les catégories d'impact les plus significatives sont les substances cancérigènes, l'écotoxicité et le réchauffement climatique.

Les cancérigènes sont dues aux métaux lourds comme le nickel, le chrome Et aussi aux hydrocarbures aromatiques (HAP), Par contre dans le réchauffement climatique est dû à l'émission des gaz à effet de serre (GES).

L'écotoxicité, est l'impact le plus important au niveau des trois méthodes ceci à cause de la présence des métaux lourds.

Les flux polluants émis dans le sol via les boues sont les éléments traces métalliques et organiques (ETM). Ces flux dépendent fortement de la nature de la boue, et donc plus du réseau d'assainissement que du type de traitement.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En respectant les normes d'application, la méthodologie de l'ACV est un outil globalement adapté pour l'étude des impacts environnementaux des filières d'épuration des eaux usées.

Ce travail a pour but d'évaluer les impacts environnementaux du process de traitement des eaux usées au sein de l'office nationale d'assainissement (ONA) Boumerdes.

Cette étude pratique a été réalisée avec le logiciel d'ACV « Sima Pros », c'est l'un des logiciels qui donne une réalisation d'analyse de cycle de vie facile et rapide qui nous a permis d'implémenter bien toutes les étapes de modélisation, et d'interprétation des résultats nécessaires à la réalisation d'une ACV, nous avons utilisé (03) méthodes d'évaluation environnementale qui ont permis de constater deux principaux flux qui interviennent dans ces impacts, à savoir l'eau traitée et la consommation énergétique qu'elle est la plus grande, on conclue que ces processus sont énergivores et cette grosse consommation d'énergie se reflète dans la catégorie d'impact des combustibles fossiles .

A la fin, nous avons pu identifier (03) catégories d'impacts importantes telles que « les cancérigènes », « le réchauffement climatique » et « écotoxicité » qui sont très dangereux.

A cet effet, nous recommandons ce qui suit :

- Diminuer la consommation énergétique par la mise en place d'un système de management.
- Donner une valeur économique pour la boue, et la considérer comme un engrais et non pas un déchet.
- Trouver une solution pour les métaux lourds existants.
- encourager les agriculteurs à apporter de la boue sur leurs sols, et les informer de la valeur agronomique de cette dernière.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Degremont, Mémento technique de l'eau, 9 édition lavoisier, Paris, 1989
- [2] : Mechkour Nacer Edine, La réutilisation des eaux usées épurées en irrigation, mémoire de 3ème cycle, France.
- [3] :Galaf F et S. Ghanna M, (2003). « Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site Websur la pollution du milieu marin ». Mémoire d'ingénieur d'état. Université.
- [4] : Encyclopedia, (1995). Industrial chemistry, Water in Ull man's, Wiley-VCH Verlags, vol.8. Épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2 : 81-118.
- [5] : Mayet J., (1994), « La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur » 2 ème Edition, p382, Paris.
- [6] : Keck G. et Vernus E, (2000)., « Déchets et risques pour la santé », Techniques de l'Ingénieur, Paris, 2450p.
- [7] : Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A, (2004), Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.
- [8] :Cshapf, (1995). Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, 22p.
- [9] : Asano T, (1998). Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, 1475p.
- [10] :Faby J.A., Brissaud F, (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office
- [11] : Alain Damen, guide de traitement des déchets, 2^{ème} édition, Paris année 2002-2003.
- [12] : Gaid Abd El-Kader « Epuration biologique des eaux usées urbaine » tome 1,1984.
- [13] : Rodier J et al. (1996) « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ». 8 ème édition. DUNOD. PARIS.
- [14] : Slim Zekri, Lamia Ghazel, Taher Aloui, Kamel Djebbi, Les externalités négatives de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture, Séminaire Méditerranéen 2002.
- [15] : Rejesk, F, (2005), « Analyse des eaux ; aspects réglementaires et techniques » ; centre régional de documentaires techniques pédagogique d'aquitaine.
- [16] : Tarmoul F, Sodi M ;(2007). Mémoire, « Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel ». Tribune de l'eau n° :563/3. Ed. CEBEDOC, pp: 27-32.
- [17] : Brissaud.J.F et A.Faby, l'utilisation des eaux usées épurées en agriculture, Ed. Office nationale de l'eau de Montpellier, 1997.
- [18] : Xanthoulis D. (1993)., Valorisation agronomique des eaux usées des industries agroalimentaires.
- [19] : Rodier J, (2009). « (L'analyse de l'eau » 9^{ème} édition, Dunond, Paris,
- [20] : Marcsatin, Bechir Selmi, Bourrier Regis, Guide technique de l'assainissement, 2^{ème} édition, Paris 1999.
- [21] : mémoire-étude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra, présentée par Zeghoud Mohamed Seif Eddine.

- [22] : PRESCOTT ; HARLEY et KLEIN, 2007 : Microbiologie. 2ème Edition de Boeck. Paris, pp 837-855.
- [23] : OUANOUI, 2014 : Gestion de l'environnement, traitement des eaux usées. Edition page bleue.
- [24] : DJEDDOU, 2014 : Prévion du taux d'échec avec les réseaux neurones artificiels dans une station de traitement des eaux résiduaires, thèse doctorat UMK. Biskra
- [25] : BASSOMPIERRE CINDY, 2007 : Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote a la validation de modèles. Thèse Doctorat. Institut National Polytechnique De Grenoble, pp 25-42
- [26] : DESJARDINS.R, 1997 : Le traitement des eaux deuxième édition de l'école Polytechnique de Montréal.
- [27] : CARDOT.C, 1999 : Les traitements de l'eau – Procédés physico-chimiques et Biologiques. Ellipses, Paris : pp 247.
- [28] : VILAGINES.R, 2003 : Eau, environnement et santé publique : introduction à l'hydrologie. 2 ème Ed, Lavoisier, Paris.
- [29] : MADIGAN MICHAEL et MARTINKO JOHN, 2007 : Biologie des microorganismes.11ème édition, Pearson/éducation, Paris, pp 918-932.
- [30] : Mémoire de fin de cycle : caractérisation des eaux de rejets de la Step d'Azzeffoun en vue de leur réutilisation en irrigation agricole, présenté par Halil Hassina et Mouloudj Louiza
- [31] : DEGREMONT, 2005 : Mémento Technique de l'eau 10 eme édition. Lavoisier, tome I, Paris
- [32] : ABA-AAKI, 2012 : Elimination des métaux lourds (Cd, Pb, Cr, Zn, et As) des eaux usées industrielles et naturelles par le procédé d'infiltration-percolation, thèse de doctorat. Agadir, Maroc.
- [33] : BOUTIN.K ; ALAIN.H ; HELMER, J.M, 2009 : Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT)
- [34] : BEOGLIN J.C, 1998 : Traitements biologiques des eaux résiduaires. Techniques de l'ingénieur.28p.
- [35] : EDDABRA, 2011 : Evaluation de la contamination bactériologique des eaux usées des stations d'épuration du Grand Agadir
- [36] : HENNIA.K 2004 : Les techniques d'épuration.
- [37] : Ekvall T.Key methodological issues for life cycle inventory analysis of paper recycling.J Clean Prod; 7 (4): 281-94. 1999

Références bibliographiques

[38] : Jollet O, Myriam S, Pierre C, Analyse du cycle de vie : comprendre a réalisé un écobilan, 2010.

[39] :Aissani, L., Vaxelaire, S., Papinot, P.E., Védrine, H., Mollaret, M.E., Villeneuve, J. (2012). Méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux des opérations de prétraitement des déchets. Projet CleanWast. 143 p., 29 ill.

[40] : Ritthoff, M., Rohn, H., Liedtke, C. (2002). Calculating MIPS, resource productivity of products and services. Wuppertal Spezial 27e. 53 p.

[41] : Office national de l'assainissement, système de management environnement ISO14001, manuel environnement-juin 2012.

[42] : ONDEO, degremont notice d'exploitation station Boumerdes, revu juillet 2001.

ANNEXES

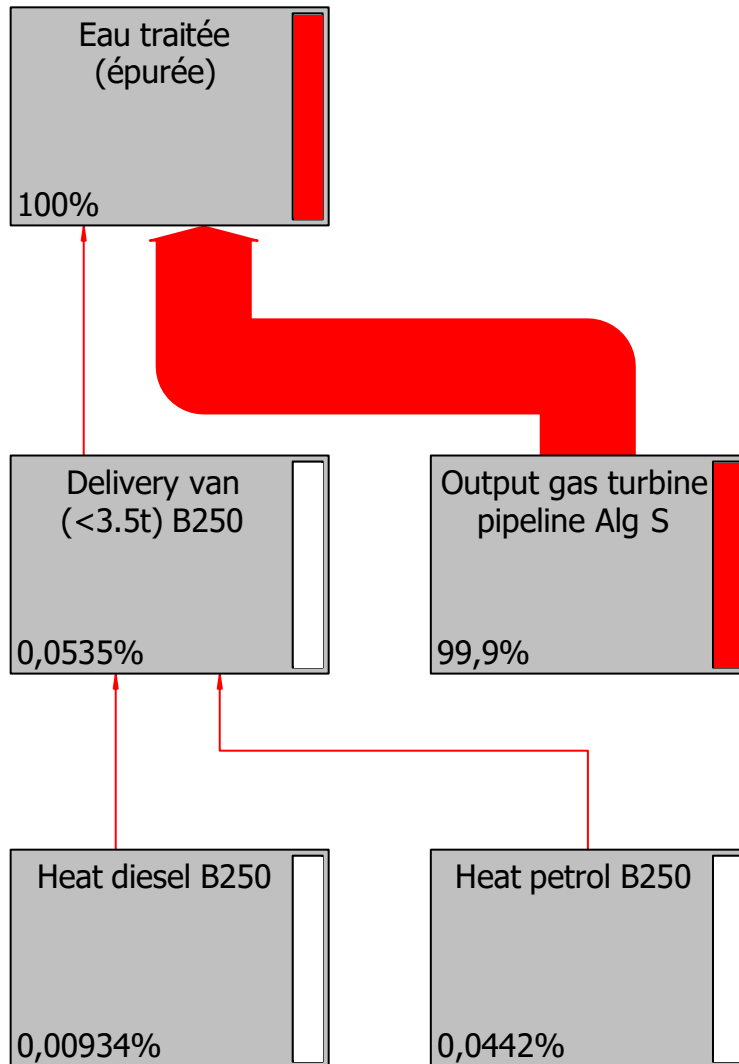
Normes de rejet

Conformément aux recommandations de l'organisation mondiale de la santé(O.M.S), les normes de rejets des eaux usées en Algérie sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau : normes de rejet de l'O.M.S, appliquées en Algérie. (2003)

Paramètres Normes	Paramètres Normes
T° (°C) >	30
pH (mg/l)	6.5 - 8.5
O2 (mg/l)	5
DBO5 (mg/l)	30
DCO (mg/l)	90
MES (mg/l)	120
Zinc (mg/l)	2
Chrome (mg/l)	0.1
Azote total (mg/l)	50
Phosphore total (mg/l)	2
Hydrocarbures (mg/l)	10
Détergents (mg/l)	1
Huiles et graisses (mg/l)	20

Réseau de l'eau traitée



Inventaire de l'eau traitée /Changement climatique

Non	Substance	Compartiment	Unité	Total	Eau traitée (épurée)	Delivery van (<3.5t) B250	Output gas turbine pipeline Alg S
	Total		DALY	3,11E-08	-	2,42E-11	3,10E-08
	Substances restantes		DALY	3,83E-11	-	5,94E-13	3,77E-11
1	Carbon dioxide	Air	DALY	3,03E-08	X	2,24E-11	3,03E-08
2	Dinitrogen monoxide	Air	DALY	1,76E-10	X	5,13E-13	1,76E-10
3	Methane	Air	DALY	5,09E-10	X	6,42E-13	5,08E-10

Inventaire de l'eau traitée /Cancérigènes

Non	Substance	Compartiment	Unité	Total	Eau traitée (épurée)	Delivery van (<3.5t) B250	Output gas turbine pipeline Alg S
	Total		DALY	1,27E-10	6,68E-11	5,43E-13	5,97E-11
	Substances restantes		DALY	1,17E-12	5,92E-16	3,45E-13	8,25E-13
1	Cadmium	Air	DALY	1,99E-12	x	2,97E-14	1,96E-12
2	Arsenic, ion	Eau	DALY	5,30E-11	x	9,92E-14	5,29E-11
3	Cadmium, ion	Eau	DALY	4,05E-12	x	6,92E-14	3,99E-12
4	Cadmium	Sol	DALY	6,68E-11	6,68E-11	x	2,13E-16

Inventaire de l'eau traitée /Ecotoxicité

Non	Substance	Compartiment	Unité	Total	Eau traitée (épurée)	Delivery van (<3.5t) B250	Output gas turbine pipeline Alg S
	Total		PAF*m2yr	0,31213832	0,31173287	1,41E-06	0,00040404
	Substances restantes		PAF*m2yr	0,00055112	0,00039453	1,41E-06	0,00015518
1	Cadmium	Sol	PAF*m2yr	0,00367537	0,00367536	x	1,17E-08
2	Copper	Sol	PAF*m2yr	0,01422815	0,01422815	x	4,40E-09
3	Nickel	Sol	PAF*m2yr	0,01590831	0,01590828	x	3,15E-08
4	Zinc	Sol	PAF*m2yr	0,27777537	0,27752655	x	0,00024882