

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement  
du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Environnement Marin

**Thème :**

**Analyse du cycle de vie du dessalement de l'eau de mer en  
baie de Bou Ismail. Evaluation de la performance  
environnementale de la station de Fouka.**

Présenté par :

- SETITI Skander
- SILHADI Mohamed Adlane

Soutenu le 03 /09 /2015 devant le jury suivant :

Mr. HAMDI B	Professeur	ENSSMAL	Président
M <sup>me</sup> . BACHARI F	Professeur	ENSSMAL	Examinatrice
M <sup>me</sup> . HAMDI S	Maitre de conférences	ENSSMAL	Examinatrice
M <sup>me</sup> . GHAZI M	Maitre de conférences	ENSSMAL	Promotrice

Promotion: (2014/2015)

# Remerciements

Nous voudrions tout d'abord adresser nos vifs remerciements à la promotrice de ce mémoire Mme GHAZI Malika, de nous avoir guidé, encadré et formé à la recherche, en particulier dans l'Analyse du Cycle de Vie. Quelle soit remerciée pour sa patience, disponibilité, exigence et son professionnalisme tout au long de ce travail.

Nous remercions également les honorables membres de ce jury, Mr Hamdi Boualem, Madame BACHARI Fouzia, Mme Hamdi Safia, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail.

Nous exprimons notre gratitude à Madame BACHARI Fouzia, pour l'aide et l'assistance qu'elle nous a apporté pour nous faciliter la concrétisation de ce projet.

Nous tenons à remercier vivement Mr KHATAB le directeur technique de la station de dessalement de Fouka qui nous a accueilli et facilité la récolte des données d'ACV, pour compléter et approfondir notre étude.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui nous ont inculqué tout le savoir durant toute la durée de notre scolarité au sein de l'école. Leurs écrits, conseils et critiques constructives ont guidé notre réflexion et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant notre recherche.

Nous sommes reconnaissants envers toutes celles et ceux qui ont contribué à notre formation qu'ils trouvent dans ce modeste travail, le résultat de leurs efforts. Enfin, ce travail est dédié à nos parents pour l'encouragement, le soutien et l'aide morale, sans faille, tout au long de nos études.

## Sommaire

Introduction.....	11
-------------------	----

### Partie bibliographique :

#### Chapitre I : Les principales technologies du dessalement

I.1. Aperçu historique du dessalement.....	13
I.2. Les principales technologies de dessalement des eaux de mer.....	14
I.2.1. Les procédés de distillation.....	15
I.2.1.1. Distillation à simple effet.....	15
I.2.1.2. Distillation à effet multiple.....	15
I.2.1.3. Distillation à détentés étagées (MultiStage Flash distillation MSF).....	16
I.2.1.4. Distillation par compression de vapeur.....	17
I.2.2. Les procédés membranaires.....	18
I.2.2.1. Osmose inverse.....	18
I.2.2.2. Electrodialyse.....	19
I.3. Autres méthodes.....	19
I.3.1. La congélation.....	19

#### Chapitre II. Le dessalement en Algérie

II.1. Historique de l'expérience Algérienne.....	21
II.2. Les ressource en eau en Algérie.....	21
II.3. Capacité installée.....	22
II.4. impact socio-économique du dessalement dans le pays.....	24
II.5. Soulagement de la demande en eau.....	25
II.6. Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie.....	25

#### Chapitre IV : Présentation du site d'étude (station de fouka)

IV.1. Localisation et conditions environnementales du site.....	27
IV.1.1. Localisation de la station de dessalement de 'fouka'.....	27
IV.1.2. conditions environnementales du site.....	28
IV.1.2.1. Géotechnique.....	28
IV.1.2.2. Caractéristiques hydrodynamiques des eaux de mer.....	29
IV.1.2.2.1. les vents.....	29
IV.1.2.2.2. marée.....	29
IV.1.2.2.3. les courants de dérive littorale.....	29
IV.1.2.2.4. la houle.....	30
IV.1.2.3. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer.....	30
IV.1.2.4. Ecologie Marine.....	31

## **Partie expérimental**

### **Matériels et méthodes**

#### **Chapitre III : Présentation de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV)**

<b>III.1.</b> Cadre conceptuel de l'Analyse de Cycle de Vie.....	34
<b>III.1.1.</b> Historique et développement de l'ACV.....	34
<b>III.1.2.</b> Les étapes normalisées de l'ACV.....	35
<b>III.1.2.1.</b> La définition du champ et des objectifs de l'étude.....	36
<b>III.1.2.2.</b> Analyse de l'inventaire.....	36
<b>III.1.2.3.</b> Analyse et évaluation des impacts.....	37
<b>III.1.2.4.</b> Les étapes optionnelles.....	39
<b>III.1.2.5.</b> L'interprétation.....	40
<b>III.2.</b> Les logiciels pour réaliser des ACV.....	40
<b>III.2.1.</b> Le principe de modélisation de SimaPro.....	42

#### **Chapitre V : Application de l'ACV à la station de dessalement des eaux de mer de Fouka.**

<b>V.1.</b> La définition des objectifs et du champ de l'étude.....	45
<b>V.1.1.</b> Définition du champ de l'étude.....	45
<b>V.1.1.1.</b> Fonction du système.....	45
<b>V.1.1.2.</b> Unité fonctionnelle.....	51
<b>V.1.1.3.</b> Limites du système.....	51
<b>V.2.</b> L'Analyse de l'inventaire.....	53
<b>V.3.</b> L'Analyse des impacts.....	57
<b>V.3. 1.</b> Choix de la méthode d'analyse des impacts.....	57

#### **Chapitre VI : Résultats et discussions.**

<b>VI.1.</b> Contribution des processus et des étapes du dessalement aux classes d'impact.....	59
<b>VI.2.</b> Contribution des substances émises à l'écotoxicité marine.....	61
<b>VI.3.</b> Contribution des substances émises à l'écotoxicité des sédiments marins.....	63
<b>VI.4.</b> Contribution des substances émises à la toxicité humaine.....	65
<b>VI.5.</b> Contribution des substances émises à l'eutrophisation.....	66
<b>VI.6.</b> Contribution des substances émises au réchauffement climatique.....	67
<b>Conclusion</b> .....	69

## Liste des figures :

Figure 1: Schéma général d'une installation de dessalement (source : Maurel A, 2006).....	14
Figure 2: Distillateur simple effet (source : Danis P, 2003).....	15
Figure 3: Distillation à multiple effet (source : Autrand, 2007).....	16
Figure 4: Distillation à détentes étagées (source : Autrand, 2007).....	17
Figure 5: Procédé de dessalement par compression de vapeur (source : Jean-Marie, Rovel, 2010).....	17
Figure 6: Mise en évidence de l'osmose inverse (source : Danis, 2003).....	18
Figure 7: Procédé de dessalement par électrodialyse (source : Maurel, 2006).....	19
Figure 8: Carte de la zone de Fouka (Source : google earth pro 2015).....	27
Figure 9: Carte de la station de dessalement Fouka (Source : google earth pro 2015).....	28
Figure 10: Schéma préalable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude (Source LEM 2001).....	30
Figure 11: Cadre conceptuel de l'ACV (ISO 2006).....	35
Figure 12: Structure générale de la méthode EDIP2003 (Ghazi Malika, cours 2015).....	38
Figure 13: Structure générale de la méthode Eco- Indicator 99 (Ghazi Malika, cours 2015).....	39
Figure 14: Méthodes ACV proposées dans SIMAPRO.....	41
Figure 15: Données des flux liés aux procédés des différents secteurs dans SIMAPRO.....	42
Figure 16: Schéma de la structure des fiches d'inventaire.....	43
Figure 17: Carte représentatif de la station de Fouka.....	45
Figure 18: Balises utilisées dans la zone de prise d'eau de mer.....	46
Figure 19: Station pompages eau de mer.....	46
Figure 20: Filtre à sable.....	47
Figure 21: Filtres de 5 microns.....	47
Figure 22: Dispositif de récupération d'énergie ERI.....	48
Figure 23: Tubes de pression.....	48

Figure 24: Réservoir des effluents.....	49
Figure 25: bâtiment de production de co2.....	49
Figure 26: Station de pompage d'eau traitée.....	50
Figure 27: Sous station électrique de 60 KV.....	50
Figure 28: Limites du système de la station (ISO 2006).....	52
Figure 29: Positionnement des stations de prélèvement.....	53
Figure 30: Prélèvement de l'eau de mer par la bouteille du NISKIN.....	54
Figure 31: Prélèvement du sédiment par la benne Van Veen.....	54
Figure 32: Comparaison des classes d'impacts des étapes de dessalement.....	60
Figure 33: Comparaison des classes de dommages des étapes de dessalement.....	60
Figure 34: Contribution des substances émises dans l'écotoxicité marine.....	61
Figure 35: Arbre des processus contribuant dans l'écotoxicité marine.....	62
Figure 36: Contribution des substances émises dans l'écotoxicité des sédiments marins.....	63
Figure 37: Arbre des processus contribuant dans l'écotoxicité des sédiments.....	64
Figure 38: Contribution des substances émises à la toxicité humaine.....	65
Figure 39: Contribution des substances émises à l'eutrophisation.....	66
Figure 40: Contribution des substances émises au réchauffement climatique.....	67

## Liste des tableaux :

Tableau I: Répartition des grandes stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie.....	22
Tableau II: Répartition des petites stations de l'eau de mer en Algérie.....	23
Tableau III: Caractéristiques physico-chimiques moyennes des eaux de mer.....	30
Tableau IV: La faune marine de la baie de bousmail.....	31
Tableau V: Tableau récapitulatif des points de prélèvements des eaux et des sédiments.....	53
Tableau VI: Les mesures in-situ des paramètres physico-chimiques.....	55
Tableau VII: Analyse de l'inventaire.....	56
Tableau VIII: Comparaison des classes d'impacts des étapes de dessalement.....	59
Tableau IX: Comparaison des contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement à l'écotoxicité marine.....	62
Tableau X: Contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement à l'écotoxicité des sédiments marins.....	64
Tableau XI: Contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement à la toxicité humaine.....	65
Tableau XII: Contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement à l'eutrophisation.....	66
Tableau XIII: Contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement au réchauffement climatique.....	67

## Liste des abréviations :

ACV : Analyse du Cycle de Vie

ED : Electrodialyse

ERI : Dispositif de récupération d'énergie

FC<sub>ij</sub> : Facteur de caractérisation associée au flux d'inventaire j pour la catégorie i

LCI : Résultats de l'inventaire

I<sub>i</sub> : Résultat de l'indicateur d'impact de la catégorie i

M<sub>i</sub> : Masses des substances émises et ou extraites (résultats de l'inventaire)

MSF : MultiStage Flash distillation

N<sub>i</sub> : Résultat normalisé pour la catégorie d'impact i

OI : Osmose inverse

P<sub>i</sub> : Facteur de pondération de la catégorie i

R<sub>i</sub> : Valeur de référence pour la catégorie i

R<sub>j</sub> : Résultats de l'inventaire de cycle de vie pour le flux d'inventaire j

S<sub>i</sub> : Score d'impact de la catégorie i

T : Charge environnementale totale du cycle de vie

## Liste des annexes :

Annexe I: Interface principale de Sima-Pro.....	77
Annexe II: Exemple de réseau créé à partir des fiches (ici : il s'agit d'un résultat d'impacts sur l'indicateur changement climatique.....	78



# **Introduction**

## **Introduction:**

L'eau représente la ressource naturelle la plus précieuse, car c'est un bien indispensable à la vie. Cependant, la disponibilité de l'eau potable dans le monde connaît une diminution continue sous l'effet de la croissance démographique et du changement climatique. En effet, selon les données les plus récentes, la pénurie d'eau douce avoisine 40 % de la population mondiale et ce taux risque de croître jusqu'à une valeur de 65 %

L'eau est très inégalement répartie, plus d'un tiers des terres de la planète sont des étendues arides soumises à des déficits en eau toute l'année, ou d'une façon saisonnière. Les technologies de dessalement d'eau de mer sont identifiées comme l'un des moyens pour répondre à cette demande croissante, d'autant que 70% de la population mondiale vit à moins de 70 km des bordures maritimes (UNEP, 2008).

En Méditerranée, les problèmes d'insuffisance relative de ressources en eau face à la montée des besoins se sont aggravés ces dernières décennies. Plus difficiles dans les pays du Sud confrontés à une démographie dynamique ces problèmes risquent de s'intensifier encore et de s'étendre à l'ensemble du bassin méditerranéen sous l'effet prévisible du changement du climat. Les conséquences des modifications climatiques se traduiront probablement par une réduction des précipitations, par une aggravation des irrégularités de répartition des ressources en eau dans le temps et dans l'espace irrégularités qui caractérisent la région et par une multiplication des phénomènes de sécheresse ou de pluies catastrophiques (UNEP, 2003).

L'Algérie se trouve parmi les pays du monde qui sont sous le seuil de pénurie adopté par la banque mondiale. Il faut mobiliser toutes les ressources d'eau disponibles pour sécuriser l'alimentation en eau potable. De ce fait, le dessalement des eaux de mer est la solution adéquate de cette problématique. Toutefois, l'Algérie a lancé ces dernières années, un programme ambitieux d'installations de stations de dessalement pour faire face à des problèmes d'alimentation en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse. Dans ce cadre, la station de dessalement d'eau de mer au niveau de la commune de Fouka, fournit de l'eau pure pour combler le déficit en eau potable de la zone côtière.

Le dessalement de l'eau de mer est une industrie en essor constant. Cette forme de ressource en eau, pratiquement illimitée, consomme de l'énergie et a des impacts sur l'environnement. Ces impacts proviennent principalement du concentré (saumure) produit au cours du dessalement, mais aussi des rejets de produits chimiques utilisés dans les procédés de dessalement. Dans ce contexte s'inscrit notre travail, qui fait le point sur, L'évaluation de la performance environnementale de la station de Fouka. Par la méthode de l'Analyse du cycle de vie.

Le but de notre projet consiste à analyser les impacts environnementaux de dessalement de l'eau de mer et définir les axes d'améliorations de la station pour diminuer son impact sur l'environnement marin.

# Chapitre I

Les principales technologies  
du dessalement

Dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douces sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle. Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau potable ou de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou d'eau de mer.

Ce chapitre bibliographique présente quelques informations utiles sur les différentes techniques de dessalement de l'eau de mer les plus utilisées, notamment Les procédés de distillation et les procédés membranaires.

## **I.1. Aperçu historique du dessalement :**

La distillation est la méthode la plus ancienne qui puisse répondre au dessalement de l'eau de mer dans le Monde, Découverte par Aristote le IVème siècle avant JC, le philosophe grec a dit dans ses Météorologiques « L'expérience nous a appris que l'eau de mer est réduite en vapeur devient potable et le produit vaporisé, une fois condensé, ne reproduit pas l'eau de mer ».

Onze siècles plus tard, Adélarde de Bath, un philosophe et naturaliste a décrit deux de ses expériences dans les Quæstiones naturales : « Au soleil, après l'évaporation sur un rocher, l'eau de mer se transforme en sel ; Lorsque le soleil fait défaut, on chauffe de l'eau de mer et sous l'effet de la cuisson on la voit également se transformer en sel. Cette métamorphose explique que la mer soit plus salée l'été que l'hiver, que les mers méridionales le soient davantage que les mers septentrionales ».

Ce chimiste nous explique dans un premier temps le principe de la vaporisation qui se produit, naturellement et sans facteur extérieur, sur les roches qui se trouvent aux bordures des mers grâce à l'activité du soleil. En effet, la salinité de l'eau de mer augmente en fonction de la proportion du sel retenu dans les roches, conséquence de la vaporisation. Ce procédé a souvent été utilisé par les marins grecs qui eux dessalaient l'eau de mer dans leurs croisades, ce qui leur permettait d'avoir des réserves d'eau buvable. Ces marins utilisaient le procédé le plus simple, ils utilisaient des casseroles et mettaient l'eau en ébullition et ainsi le sel restait au fond de ces enceintes et donc l'eau est dessalée.

Vient deux millénaires plus tard l'osmose inverse. Découverte en 1850, ce procédé ne s'appliquera pour le dessalement de l'eau de mer qu'en 1960. En effet, on devra attendre la deuxième moitié du XXème siècle pour que le concept de dessalement puisse se développer.

En Europe, la première usine de dessalement est construite sous le régime franquiste aux îles Canaries. La forte expansion du tourisme balnéaire et la forte demande en eau ont incité le général Franco à la construction de cette usine en 1964. C'est ainsi que l'usine Lanzarote est créée.

Cependant, les avancées techniques et la découverte de plusieurs différents procédés n'empêchent pas l'utilisation intensive et ainsi le partage de la distillation et l'osmose dans de nombreuses usines. (Popkin, 1967)

## I.2. Les principales technologies de dessalement des eaux de mer :

Actuellement on utilise cinq techniques regroupées en deux familles : les procédés de distillation et les procédés membranaires.

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

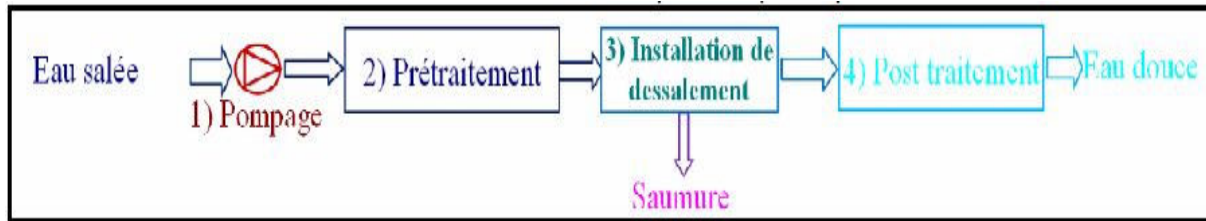


Figure1 : Schéma général d'une installation de dessalement (source : Maurel A., 2006)

1. L'alimentation en eau de mer: Peut s'effectuer soit par prise directe, soit par puits côtiers. Ce dernier système permet d'obtenir une eau non turbide, ce qui soulage les prétraitements.

2. Le prétraitement :

- Chloration : Bloque la prolifération des organismes vivants. Evite l'obstruction des conduites.
- Filtration : Protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs.
- Antitartre : La distillation favorise précipitation du carbonate de calcium qui se dépose sur la paroi des échangeurs et réduit le transfert de chaleur.

3. Installation de dessalement:

- Procédés de distillation : L'eau de mer chauffée produit de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pur obtenir de l'eau pure.
- Procédés membranaires : L'eau et les sels dissous sont séparés au moyen de membranes sélectives.

4. Le post-traitement : Permet de potabiliser l'eau en 2 étapes (en sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée) :

- Correction de la corrosivité : le traitement consiste à ajouter du  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ou du  $\text{CaCO}_3$ .
- Désinfection finale : bien que certains procédés (osmose inverse) retiennent tous les microorganismes, il est nécessaire d'assurer une désinfection à la sortie de l'usine.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre. (Tata-Ducru, 2006)

## I.2.1. Les procédés de distillation

Ce procédé consiste à mettre sous forme de vapeur l'eau de mer, en la portant à ébullition, pour pouvoir séparer l'eau pure du sel et des autres composants qui pourraient empêcher l'eau d'être potable. C'est le premier procédé qui a été mis en œuvre dans les usines de dessalement et est encore utilisé de nos jours.

### I.2.1.1. Distillation à simple effet :

Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- 1- Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.
- 2- La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide.
- 3- Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

Cette première solution est simple à mettre en œuvre mais n'offre qu'un rendement réduit, aussi elle n'est utilisée que dans les navires disposant d'une source d'énergie thermique. (Danis, 2003)

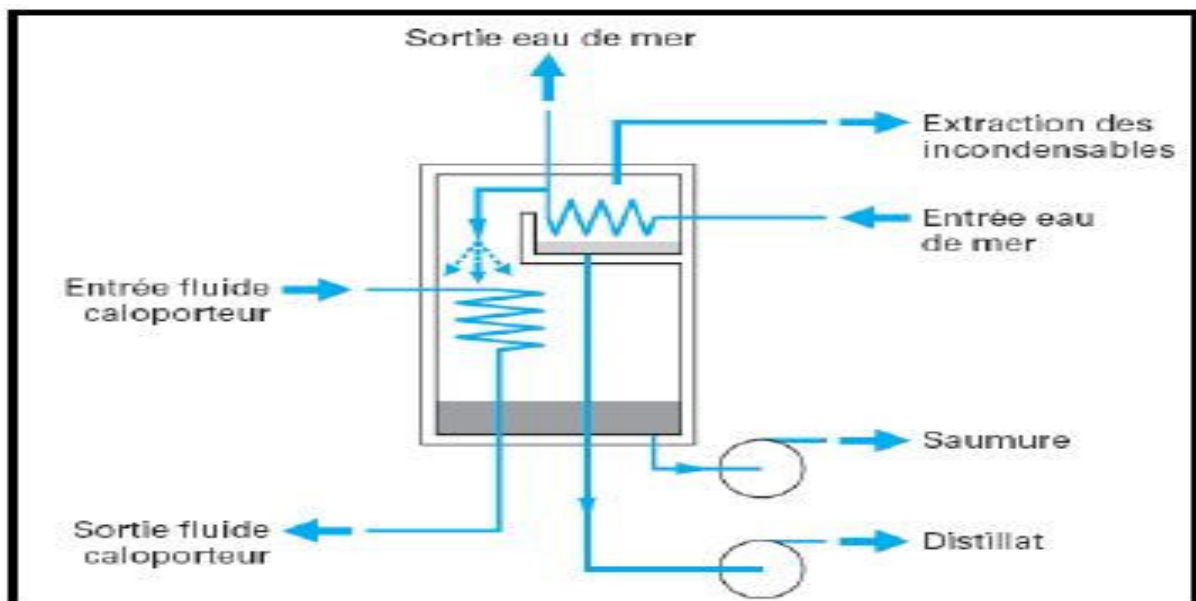


Figure2 : Distillateur simple effet (source : Danis P., 2003)

### I.2.1.2. Distillation à effet multiple :

Cette technique permet d'économiser de l'énergie nécessaire à la vaporisation et à la condensation de l'eau et se présente comme la version « moderne » de la distillation à simple effet utilisée depuis des siècles. Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange.

La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur.

La vapeur ainsi produite dans le 1er effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2ème effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2ème effet et ainsi de suite. Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe.

La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m<sup>3</sup> d'eau douce produite). (Autrand, 2007)

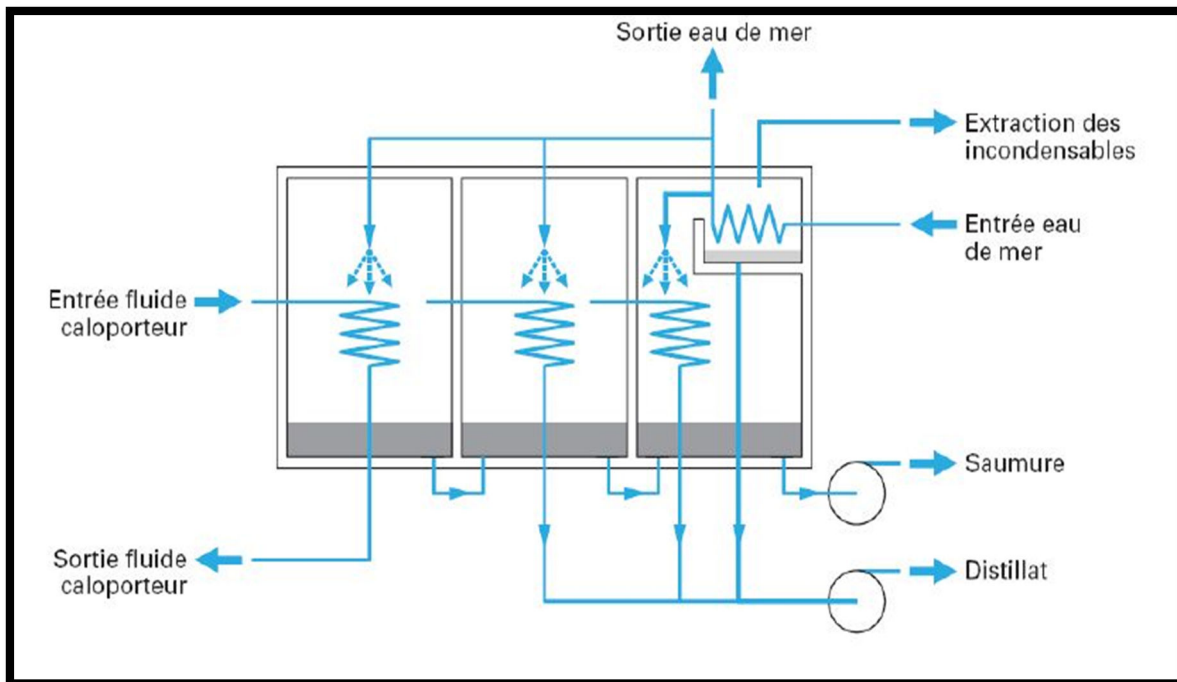


Figure3 : Distillation à multiple effet (source : Autrand, 2007)

### I.2.1.3. Distillation à détonnes étagées (MultiStage Flash distillation MSF).

La figure présente le principe de fonctionnement d'une usine de type MSF. L'eau de mer, initialement chauffée dans une chaudière, alimente le 1er étage. La pression, imposée par la température du condenseur, est telle qu'il se produit une vaporisation flash à l'entrée. Seule une fraction de l'eau se vaporise. La saumure résiduelle s'écoule alors dans l'étage suivant opéré à pression plus faible, de façon à produire à nouveau un flash à l'entrée, et ainsi de suite. Habituellement, une usine MSF comporte ainsi 15 à 25 étages. Ce concept est appliqué depuis plus d'un siècle. (Autrand, 2007)

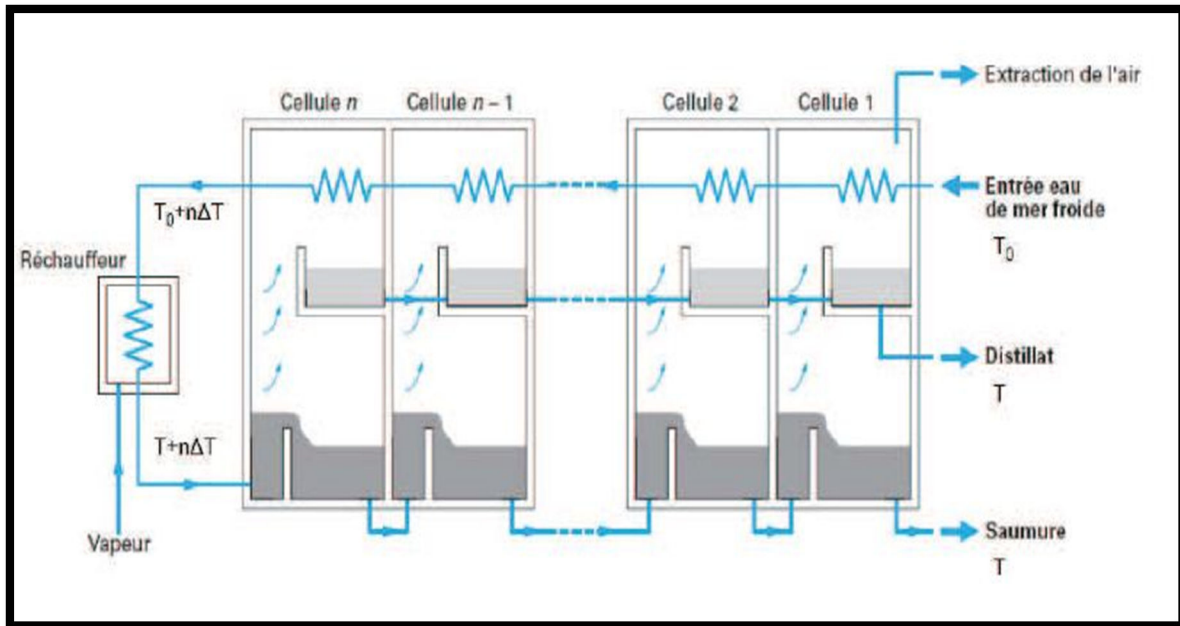


Figure 4 : Distillation à détente étagée (source : Autrand, 2007)

#### I.2.1.4. Distillation par compression de vapeur :

Dans ce procédé, l'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte isolée thermiquement. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée.

La vapeur haute pression est ainsi condensée et se transforme en eau distillée liquide et le cycle se reproduit avec la vapeur produite par l'évaporation partielle de l'eau de mer. (Jean-Marie, Rovel, 2010).

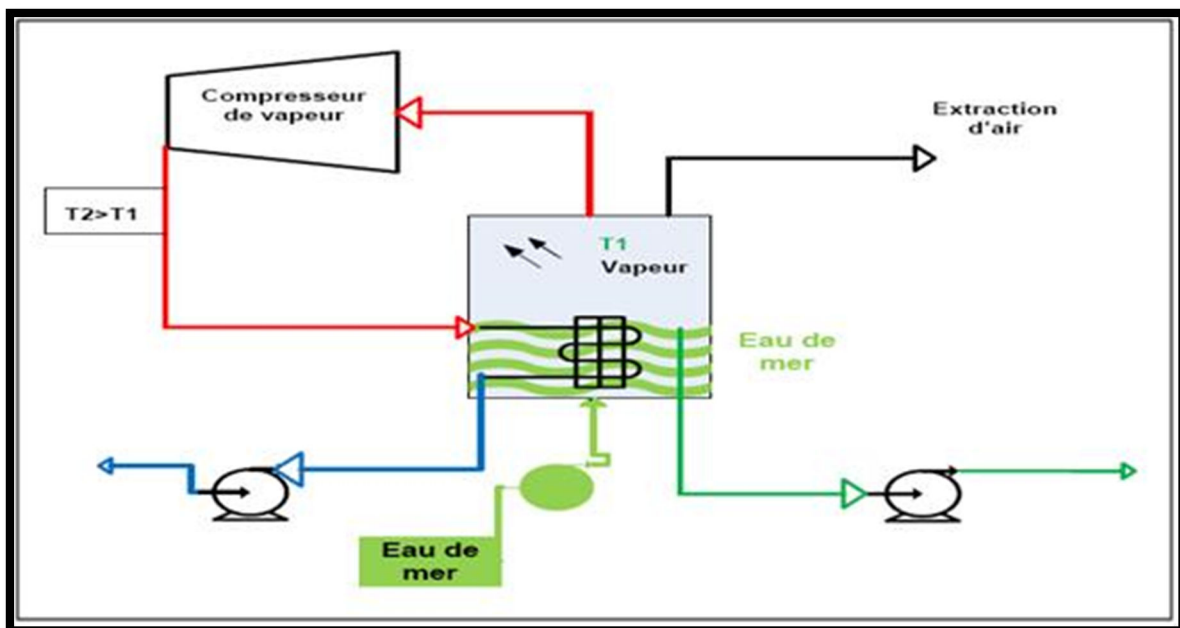


Figure 5 : Procédé de dessalement par compression de vapeur (source : Jean-Marie, Rovel, 2010)

## I.2.2. Les procédés membranaires

Les procédés membranaires permettent de séparer et d'extraire les plus petits constituants de l'eau, tels les ions de  $\text{Na}^+$  ou de  $\text{Cl}^-$ .

Les membranes sont utilisées sur le marché dans deux procédés importants: l'électrodialyse (ED) et l'osmose inverse (OI).

### I.2.2.1. Osmose inverse :

Il existe différentes techniques de filtration de l'eau (filtration conventionnelle, microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse) selon le domaine d'utilisation. Ces techniques se différencient principalement par la taille des particules qu'elles arrêtent. Le cas extrême est l'osmose inverse qui arrête tous les solutés contenus dans l'eau mais laisse passer le solvant. Cette technique permet d'obtenir en moyenne 1 litre d'eau douce pour 2 litres d'eau de mer.

Le procédé de l'osmose inverse est basé sur la propriété des **membranes semi-perméables** de laisser passer l'eau tout en arrêtant les sels dissous. La figure 6 met en évidence ce phénomène: une membrane semi-perméable divise un récipient en deux compartiments. Dans le premier compartiment (1), on verse de l'eau pure, dans le deuxième (2) une solution de chlorure de sodium. Les niveaux sont identiques dans les deux compartiments au début de l'expérience. On observera alors que l'eau circule de 1 vers 2.

À l'équilibre, il en résulte une différence de niveau entre 1 et 2, qui mettent en évidence la pression osmotique de la solution de  $\text{NaCl}$  du compartiment 2.

S'il est possible d'appliquer une pression sur le compartiment 2 supérieure à la pression osmotique, on observe la circulation de l'eau en sens inverse, les sels restent bloqués dans le compartiment 2. On peut même concentrer la solution 2 au-delà de sa concentration initiale et obtenir une quantité d'eau douce dans le compartiment 1 supérieure à celle versée au début de l'expérience. C'est l'**osmose inverse**. (Gaid, et al., 2007)

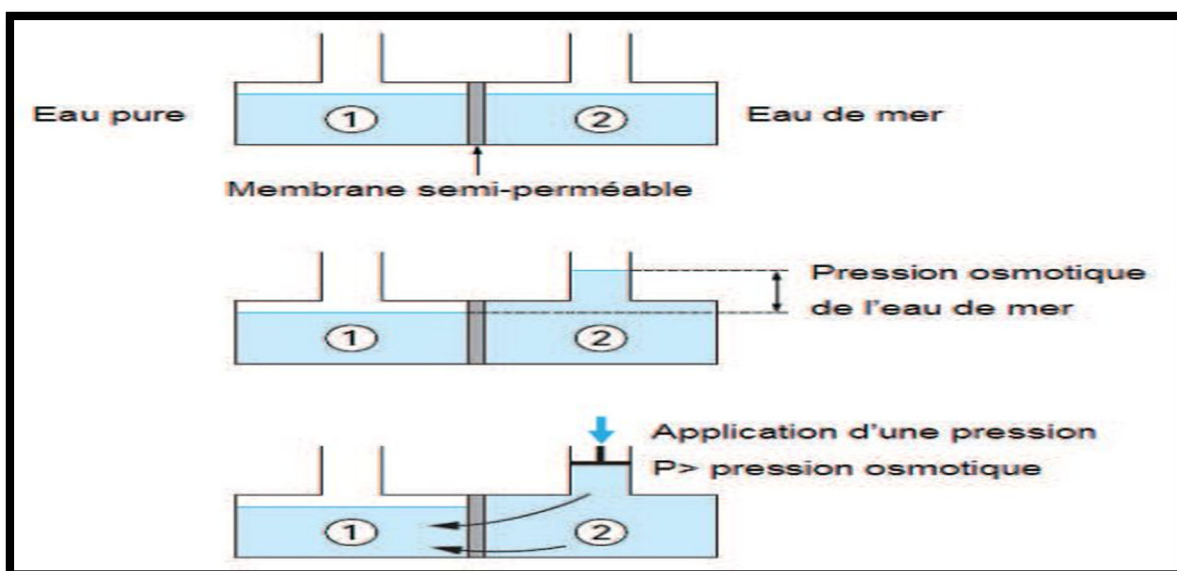


Figure6 : Mise en évidence de l'osmose inverse (source : Danis, 2003)

### I.2.2.2. Electrodialyse

L'ED est un procédé qui utilise la mobilité des ions d'un électrolyte soumis à un champ électrique, le dessalement étant assuré par des membranes qui éliminent sélectivement les sels, ce qui permet d'obtenir de l'eau douce.

Quand on applique un courant continu à deux électrodes plongées dans une solution d'eau salée, nous remarquons que le courant traverse l'eau salée, solution ionique principalement constituée d'ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ . Les cations  $\text{Na}^+$  sont attirés par l'électrode négative tandis que les anions  $\text{Cl}^-$  sont attirés par l'électrode positive. Dans ce principe, des membranes semi-perméables, qui jouent le rôle de filtre pour les anions et d'autres pour les cations, sont interposées alternativement entre les deux électrodes. On obtient donc des compartiments à très forte concentration en sel et d'autres en eau dessalées. Lorsque l'eau est désionisée c'est-à-dire qu'elle est dessalée, elle est extraite des compartiments. (Maurel, 2006)

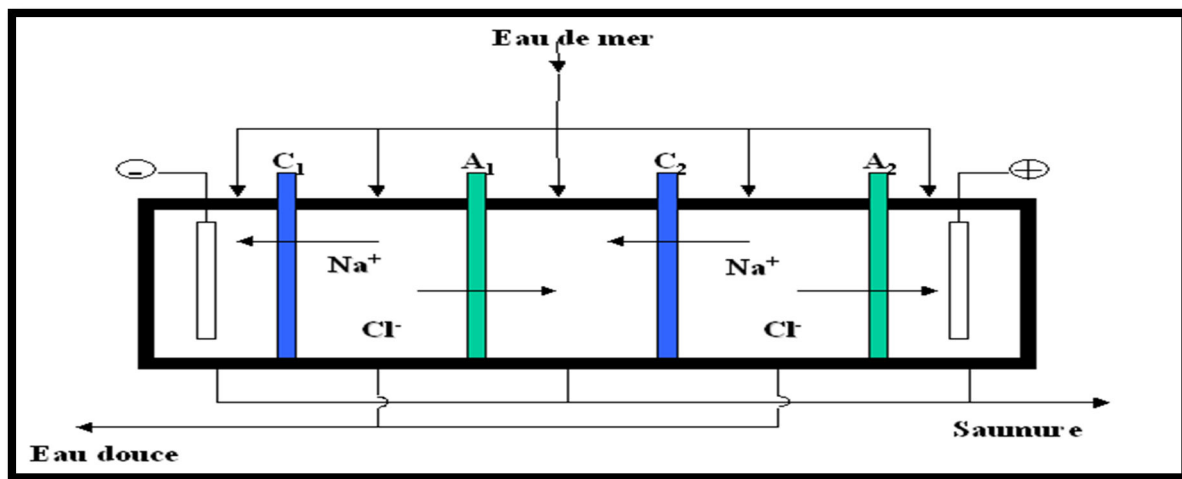


Figure7 : Procédé de dessalement par électrodialyse (source : Maurel, 2006)

## I.3. Autres méthodes

### I.3.1. La congélation :

Le dessalement par congélation est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure. Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce.

En pratique, la glace est contaminée par les sels lors de la congélation pour des raisons cinétiques, et par la saumure elle-même pendant la séparation glace solution; Le procédé doit permettre de minimiser cette contamination.

Les opérations unitaires d'un procédé de dessalement par congélation sont :

1. le prétraitement de l'eau de mer (élimination des solides en suspension, élimination des gaz dissouts pour les procédés sous vide),
2. la formation des cristaux de glace à partir de la solution saline (pour les procédés en suspension, des cristaux de grande taille sont souhaités pour faciliter le lavage),
3. le lavage et/ou ressuage des cristaux de glace (pour les procédés continus, lavage dans une colonne par environ 5% de l'eau produite),
4. la fusion des cristaux de glace. (Mandri, 2011)

# Chapitre II

Le dessalement en Algérie

## II.1. Historique de l'expérience Algérienne :

L'Algérie a fait des efforts considérables depuis l'indépendance pour améliorer les ressources en eau et d'assurer leur approvisionnement à la fois pour la fabrication ou l'agriculture, ou pour fournir eau potable aux villes et villages algériennes. Et selon une étude du centre de développement des énergies renouvelables, en 1964, trois petites unités de 8m<sup>3</sup>/j chacune ont été installées dans le complexe de gaz liquéfié d'Arzew, suivies en 1969 d'une unité monobloc de 4560 m<sup>3</sup>/j.

Les premières installations destinées à fournir de l'eau potable pour la consommation humaine ont été réalisées pour la première fois dans les bases pétrolières du grand sud, indique la même source. D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté, employée dans des complexes de production d'électricité (Cap Djinet à l'est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda).

L'Algérie vient de subir plus d'une décennie de sécheresse et ses ressources conventionnelles en eau se sont montrées insuffisantes pour subvenir aux besoins de la population. Pour répondre aux nécessités nationales (le pays dispose de moins de 500 m<sup>3</sup>/habitant), il a été décidé de miser sur le dessalement de l'eau de mer.

En 1980, a été inaugurée l'unité de dessalement par osmose inverse d'une capacité de 57600 m<sup>3</sup>/j, classée alors comme la plus importante au monde.

En 2005, lancement d'un programme national qui prévoit la réalisation de 43 stations de dessalement. Ce plan détaillé porte sur 30 stations monobloc et 13 méga stations dans le nord du pays en vue de produire 2,26 millions de m<sup>3</sup>/j d'eau dessalée. (Centre de développement des énergies renouvelables, 2014)

## II.2. Les ressources en eau en Algérie :

### Les eaux superficielles :

L'Algérie est un pays semi-aride, voire même Aride (200 à 400mm de pluie par an) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière, l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par an dont 12.5 milliards de m<sup>3</sup> en écoulements superficiels, et seuls 6 milliards de m<sup>3</sup> sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (Hydrologie, topographie, géologie). (Remini, 2010)

Dans l'Algérie, l'apport principal vient du ruissèlement. Les eaux de surface sont stockées dans les barrages. L'Algérie dispose de 72 barrages d'une capacité de 7.4 milliards de m<sup>3</sup>. Le reste (5.1 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>) se déverse directement dans la mer. (ministère des ressources en eau, 2012)

### Les eaux souterraines :

Ces ressources sont évaluées à 1.8 milliards de m<sup>3</sup> dans le Nord de l'Algérie. Les potentialités du Sud sont estimées à 60000 milliards de m<sup>3</sup>. Ces dernières sont difficilement exploitables et renouvelables; et 4 à 5 milliards de m<sup>3</sup> sont exploitables annuellement. (Kettab, 2001)

### II.3. Capacité installée :

Le recours au dessalement de l'eau de mer en Algérie constitue une solution urgente pour satisfaire l'alimentation en eau de ces villes côtières surpeuplées. Ces dernières années la consommation en eau toujours croissante, pour pallier à cette demande en ressources hydriques engendrée par la situation de sécheresse répétée qu'a connue le pays pendant les dix dernières années. A cet effet, le choix de réaliser 43 stations de dessalement d'eau de mer pour alimenter les populations des villes côtières en eau potable est une solution judicieuse. (Algérienne des eaux, 2014)

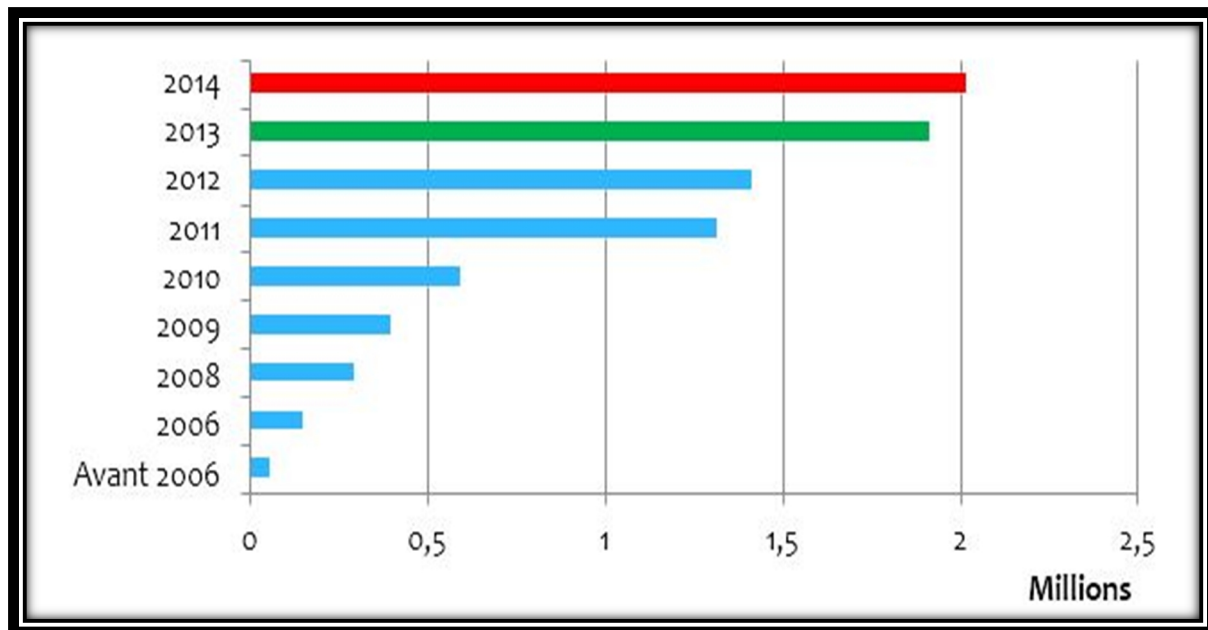
Tableau I : Répartition des grandes stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie (Source : Algérienne des eaux, 2014)

Régions	Localisation	Capacité (m <sup>3</sup> /j)
<b>Ouest</b>	Arzew / Oran	90 000
	Souk tleta / Tlemcen	200 000
	Honaine / Tlemcen	200 000
	Mostaganem	200 000
	Sidi djelloul / Ain temouchent	200 000
	Mactaa / Oran	500 000
<b>Centre</b>	Hamma / Alger	200 000
	Cap djinet / Boumerdes	100 000
	Fouka / Tipaza	120 000
	Oued sebt / Tipaza	100 000
	Tenes / Chlef	200 000
<b>Est</b>	Echatt/ Eltaref	100 000
	Skikda	100 000
<b>TOTAL</b>		<b>2 310 000</b>

**Les stations monoblocs** au nombre de 16 de dessalement d'eau de mer pour une capacité globale de 57 500 m<sup>3</sup>/Jour ont été réalisées au titre du programme d'urgence (sécheresses répétées dans le pays). (Algérienne des eaux, 2014)

Tableau II : Répartition des petites stations de l'eau de mer en Algérie (Source : Algérienne des eaux, 2014)

<b>Régions</b>	<b>Localisation</b>	<b>Capacité (m<sup>3</sup>/j)</b>
<b>Ouest</b>	Ghazaouet 1	2 500
	Ghazaouet 2	2 500
	Bouzedjar	5 000
	Chatt el Ward	5 000
	Bousfer	5 000
	Les dunes	5 000
<b>Centre</b>	Bousmail	5 000
	Tigzirt	2 500
	Tenes	5 000
	Zeralda 1	2 500
	Zeralda 2	2 500
	Ain Benian 1	2 500
	Ain Benian 2	2 500
	Palm Beach	2 500
<b>Est</b>	Skikda 1	2000
	Skikda 2	5 000
<b>TOTAL</b>		<b>57500</b>



Histogramme 1 : Production d'Eau Dessalée par la technique de l'osmose inverse (Source Ministère des ressources en eau, 2014)

- De 2006 à 2011 la Capacité de dessalement d'eau de mer En Algérie est passée de 152 500 à 1,2 Mm<sup>3</sup>/J.
- A fin 2012 la Capacité de production était de 1,3 Mm<sup>3</sup>/J.
- Au 3eme trimestre 2014 la capacité totale atteindra 2,1 Mm<sup>3</sup>/J. (Ministere des ressources en eau, 2014)

#### II.4. impact socio-économique du dessalement dans le pays :

L'implantation d'usine de dessalement, selon la démarche utilisée par l'Algerian Energy Company, a plusieurs aspects, nous citons notamment :

- Economique :
  - Participation étrangère majoritaire dans le capital de la société de projet ;
  - Participation à l'absorption du déficit en eau au niveau national ;
  - Libérer les quantités d'eau utilisées par la population et l'industrie à l'agriculture, ce qui nous permettra d'améliorer les rendements et, par voie de conséquence, l'autosuffisance alimentaire ;
  - Création d'emploi pendant la réalisation et pendant l'exploitation de ces usines
  - Création de nouveaux métiers (spécialistes en dessalement).
- Social :
  - Rendre l'eau disponible d'une manière permanente pour satisfaire les populations ;
  - Amélioration de la qualité de vie de la population et l'hygiène ;
  - Participation au bien-être de la population. (Algerian Energy Company, 2014)

## II.5. Soulagement de la demande en eau :

L'Algérie a vécu plus d'une décennie la sécheresse, les ressources conventionnelles en eau étaient insuffisantes pour subvenir aux besoins de la population croissante (La demande en eau douce, croit chaque année de 2 à 3 %), ce qui a incité les autorités algériennes à chercher d'autres ressources pour garantir l'alimentation en eau potable de cette population. La solution la plus adaptée et qui ne dépend pas des aléas climatiques, était le dessalement d'eau de mer. Le dessalement de l'eau de mer en Algérie revêt un caractère stratégique, il remplacera les ressources naturelles dans la majorité des villes du nord algérien.

Le recours aux unités de dessalement permet également de réserver une partie plus importante des eaux de barrages à l'agriculture. (Derradji, 2009)

## II.6. Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie :

**Avantages du dessalement :** Le dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée remarquable grâce au développement de différents procédés. Aujourd'hui, plusieurs avantages militent en faveur de la mise en œuvre de cette technologie dans notre pays :

- Un littoral long de 1600 kilomètres;
- Disponibilité de l'eau de mer, ressource inépuisable;
- Une population et une industrie grandes consommatrices d'eau se trouvant à proximité de la mer.
- Disponibilité de la ressource énergétique ou combinaison de sa production. (Drouiche et al, 2011)

**Inconvénients du dessalement :** Malgré que le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau (domestique et industrielle), quel que soit le procédé utilisé il n'est pas sans inconvénients :

- Le dessalement de l'eau de mer reste un moyen cher parmi toutes les méthodes de fabrication d'eau potable. En raison du coût élevé pour la construction et l'exploitation des grandes stations industrielles.
- Rejette dans l'atmosphère des tonnes de gaz à effet de serre.
- La destruction des précieuses zone côtières.

Il rejette en outre dans le milieu marin de la saumure très concentrée en sel résultant du dessalement et pouvant affecter les écosystèmes marins. (Drouiche et al, 2011)

# Chapitre III

Présentation du site d'étude  
(Station de fouka)

### III.1. Localisation et conditions environnementales du site.

#### III.1.1. Localisation de la station de dessalement de 'fouka'

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Fouka est localisé dans la Daira et Commune de FOUKA appartenant à la wilaya de Tipaza. Elle est accessible par route à la sortie de la ville de Douaouda marine et à l'entrée de Fouka, à environ 35 km à l'Ouest d'Alger La commune de Fouka s'étend sur une superficie de 1273 ha et se situe au Nord- Est de la ville de Tipaza. Elle est limitée :

- Au Nord : la mer Méditerranée
- Au Sud : la commune de Koléa
- A l'Est : la commune de Douaouda,
- A l'Ouest : la commune de Bousmail. (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Fouka, 2006)

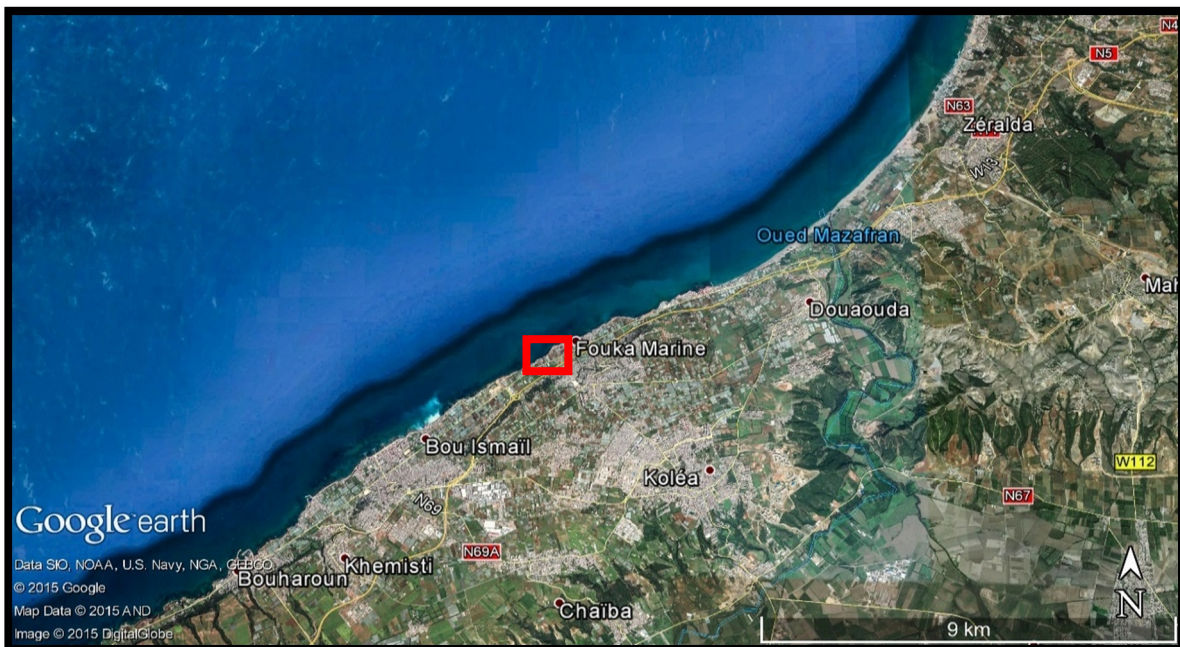


Figure 8 : Carte de la zone de Fouka (Source : google earth pro 2015)

Les données relatives au domaine littoral de la commune de Fouka:

- la surface du domaine littoral : 146.7ha
- le pourcentage du domaine littoral par rapport à la surface de la commune : 11.53%
- la surface de la zone de servitude (300 m) : 117.1 ha,
- surface urbanisée dans la zone de servitude : 14.14 ha,
- le pourcentage de la surface urbanisée par rapport à la zone de servitude : 12.08%

Le site considéré pour l'implantation de l'usine de dessalement offre une superficie de 4 hectares et présente une longueur de 300 m et une largeur variant de 70 à 150 m. (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Fouka, 2006)

La station est mise en service en 2011 avec une capacité de production de 120.000.m<sup>3</sup>/j, assurant l'approvisionnement en eau potable des communes de Douaouda, Koléa et Fouka dans la wilaya de Tipaza et la zone côtière Ouest de la wilaya d'Alger (ZCOA).



Figure 9 : Carte de la station de dessalement Fouka (Source : google earth pro 2015)

Coordonnées géographiques de la station : - Latitude : 36°41 N. - Longitude : 02°45 E

Pour la Topographie du site de l'usine, le niveau de la surface actuelle du terrain varie de 15 à 11 m. le site se caractérise ainsi par une pente générale et descendante de l'ordre de 3 % à 5% depuis la route nationale RN°11 jusqu'à la partie supérieure du talus longeant la mer. (Etude géotechnique du site Snc-Lavalin, 2006)

### **III.1.2. conditions environnementales du site :**

#### **III.1.2.1. Géotechnique :**

On rencontre quatre classes de terrains dans la commune de Fouka qui s'échelonnent selon les capacités géotechniques :

1. Classe favorable : les terrains présentent une bonne assiette de fondation, qui est apte à l'urbanisation.
2. Classe moyennement favorable : Les constructions pourraient se faire en gradins de façon à respecter le relief et protéger la vue panoramique.
3. Classe à propriétés variables : L'assise de fondation peut-être moyenne à médiocre, il peut y avoir des problèmes dès que ces terrains sont soumis aux intempéries, leur exposition à la pluie et à la chaleur peut entraîner la formation de fente de dessiccation.
4. Classe Médiocre à défavorable : soumise aux précipitations ou au ruissellement. Le phénomène de glissement peut se produire aussi grâce à une secousse sismique. (Centre d'études et de recherche appliquées en urbanisme, 2006)

**Au niveau local du site :** un sondage carotté de 15 m a été réalisé sur le site de l'usine.

Ce sondage carotté a mis en évidence, sous une couche de terre végétale de 50 cm à base de limon sableux rougeâtre, un passage sableux, fin limoneux et jaunâtre jusqu'à -2,50 m, puis argileux compact jusqu'à -5,20 m de profondeur. Sous ces sables apparaît un substratum gréseux dur, grumeleux, à passages sableux entre -8 et -9 mètres, et -13,50 et -14,00 mètres. Enfin, entre 14 et 15 m de profondeur, apparaît une argile marneuse grisâtre en état compacte.

Le relevé piézométrique n'indique aucune présence d'eau jusqu'à -15 m. Cette situation est probablement liée à la diminution de la perméabilité de fissuration induite par les différents affaissements en côte.

Donc les sols du terrain d'assise de la station de dessalement de la ville de Fouka sont de classe favorable. Ils possèdent une excellente capacité portante. Permettant la construction des ouvrages sur des fondations conventionnelles. (Etude géotechnique du site Snc-Lavalin, 2006)

### **III.1.2.2. Caractéristiques hydrodynamiques des eaux de mer :**

La connaissance des paramètres hydrodynamiques est fondamentale, du fait du rôle direct de ces derniers sur la dynamique des particules dans la zone littorale, ainsi que sur le modèle côtier.

**III.1.2.2.1. les vents :** Un vent faible à modéré d'intensité moyenne de 2.67 m/s, frais et humide d'Est souffle de Mai en Octobre, tandis que le vent d'Ouest souffle de Novembre en Mai apportent les pluies. Le Sirocco se manifeste 14 jours/an en moyenne pendant la période estivale juillet et Août. Les vents dominant sont de direction Nord-Ouest en hiver et Nord Est en été. (Office national météorologique).

**III.1.2.2.2. marée :** La marée sur les côtes algériennes est relativement faible, elle est la conséquence de deux phénomènes distincts :

- L'effet barométrique (pression et vent) conduit à une variation de l'ordre de 13.2 mm :  
La variation annuelle moyenne de pression (de l'ordre de 4 mm) conduit à une variation moyenne du plan d'eau de 5.3 cm.  
L'effet du vent est plus important puisque la variation du niveau d'eau peut atteindre 10 à 12 cm et plus rarement 20 cm.
- Marée astronomique liée à l'action de la lune et du soleil sur la mer. (Hadouche, 2003)

**III.1.2.2.3. les courants de dérive littorale :** La dérive littorale a pour conséquence de modifier la morphologie littorale et d'alimenter la plage par des sédiments venant d'autres régions.

Dans la zone d'étude, pendant la période hivernale, les houles de secteur Ouest à Nord-Ouest engendrent un courant de dérive littorale de direction Ouest Est. En période estivale, les houles de secteur Est et Nord-Est provoquent un courant de dérive littorale de direction Ouest-Est. (LEM, 2006)

III.1.2.2.4. la houle : La zone côtière de Fouka se caractérise par :

- Les houles d'Ouest, de Nord- Est et Est sont les plus fréquemment observées
- Les houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement d'importance identique avec toutefois une légère prédominance du secteur Ouest.
- En été les houles d'Est prédominent
- En hiver les houles d'Ouest prédominent (LEM, 2006)

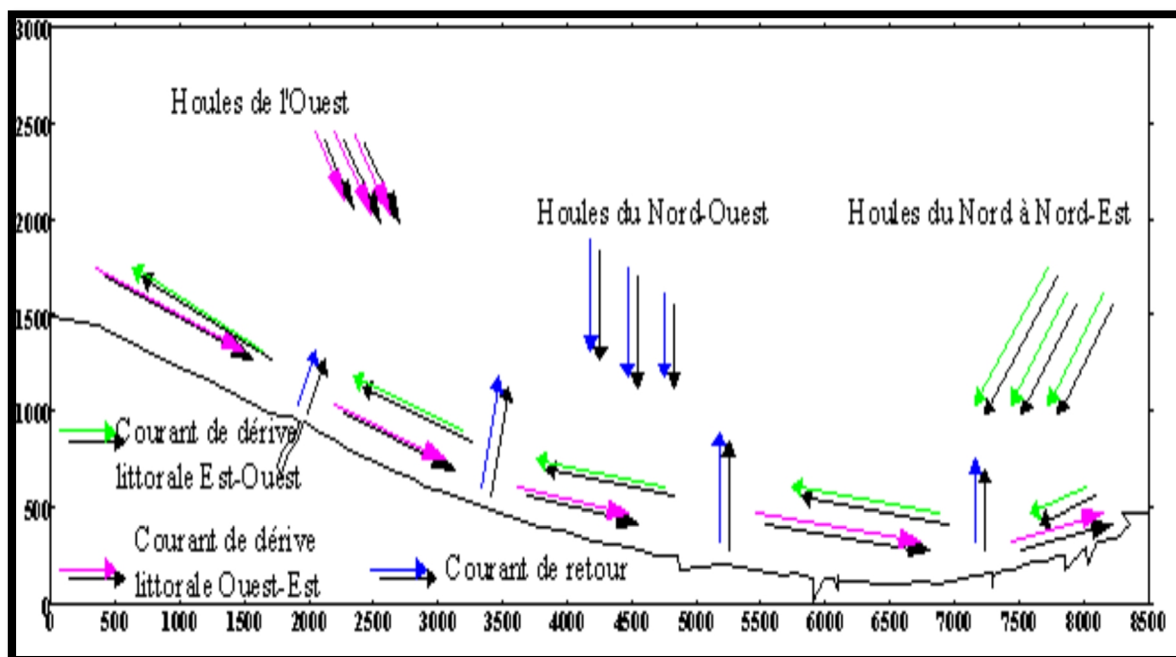


Figure 10: Schéma préalable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude (Source : LEM 2001)

III.1.2.3. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer :

Le tableau sous dessous indique les paramètres physico-chimique caractérisent les pourtours du site d'étude mesuré par la station de fouka qui sont mentionnée dans leur rapport annuel de l'année 2014

Tableau III : Caractéristiques physico-chimiques moyennes des eaux de mer

Les paramètres physico-chimiques	Unité	La moyenne annuelle (2014)
Température	°C	19.7
Salinité	g/l	38.8
PH	/	8.54
MES	Mg/l	5.8
Densité	Sec-1	12.2
Alcalinité	μmol/kg	2485.37

**III.1.2.4. Ecologie Marine :** Dans un tronçon de littoral, d'une superficie totale de 4 ha étudié, il a été observé, que la zone d'étude est constituée par différents peuplements benthoniques qui caractérisent les fonds de la zone d'étude. L'interprétation combinée des registres de sonar et des vidéos ponctuelles effectuées a permis d'identifier les communautés bionomiques suivantes:

- Communauté de gazon de *Cymodocea nodosa*
- Communauté de sables fins bien calibrés
- Prairie de *Posidonia oceanica*
- Communauté de sables lourds soumis à des courants de fond

Communauté Photophile de rocher infralitorales (Etude de la biodiversité de la baie de bousmail, 2006)

Tableau IV : la faune marine de la baie de bousmail (Source : CMPDA 2006)

	<b>Nom commun de l'espèce</b>
<b>La faune marine</b>	<i>Mullus surmuletus</i>
	<i>Diplodus annularis</i>
	<i>Spondyliosoma cantharus</i>
	<i>Scorpaena notata</i>
	<i>Spicara smaris</i>
	<i>Pagellus acarne</i>
	<i>Serranus cabrilla</i>
	<i>Scorpaena porcus</i>
	<i>Phycis phycis</i>
	<i>Pagrus pagrus</i>
	<i>Sciaena umbra</i>
	<i>Sarpa salpa</i>
	<i>Mullus surmuletus</i>
	<i>Diplodus sargus sargus</i>
	<i>Diplodus annularis</i>
	<i>Diplodus vulgaris</i>
	<i>Spondyliosoma cantharus</i>
	<i>Spicara smaris</i>
	<i>Symphodus melops</i>
	<i>Symphodus mediterraneus</i>
	<i>Symphodus tinca</i>
	<i>Pagellus acarne</i>
	<i>Pagellus erythrinus</i>
	<i>Serranus cabrilla</i>
	<i>Plectorhinchus mediterraneus</i>
<i>Urnoscopus scaber</i>	
<i>Scorpaena porcus</i>	
<i>Scorpaena elangata</i>	
<i>Scorpaena notata</i>	
<i>Buglossidium luteum</i>	
<i>Ophidion barbatum</i>	



# **Matériels et méthodes**

# Chapitre IV

Présentation de l'Analyse  
du Cycle de Vie (ACV)

## **IV.1. Cadre conceptuel de l'Analyse de Cycle de Vie.**

### **IV.1.1. Historique et développement de l'ACV :**

L'intensification des activités anthropiques comme conséquence des pressions démographiques dans le monde et ce, grâce à l'essor industriel et technologique ; a conduit en contre partie à des problèmes environnementaux multiples dont la gravité est variable selon plusieurs critères physiques et socio-économiques du milieu. Ainsi, d'intenses efforts de la communauté scientifiques ont été déployés ces dernières décennies dans le cadre du développement durable, pour développer des méthodes et des outils pour connaître les mécanismes de pollution des milieux récepteurs et mieux quantifier les impacts environnementaux.

Dans ce sens, l'Analyse du Cycle de Vie ou ACV, est un outil d'évaluation des impacts sur l'environnement d'un système incluant l'ensemble des activités liées à un produit ou à un service depuis l'extraction des matières premières jusqu'au dépôt et traitement des déchets. Elle permet d'avoir une vision globale de l'impact sur l'environnement d'une activité anthropique et d'identifier les déplacements de pollution dans les différents compartiments environnementaux.

Les premières ACV ont vu le jour au début des années 70, et ont été essentiellement soutenues par les industriels suite au premier choc pétrolier de 1973. En effet, l'aspect analytique de l'ACV a été conçu par des chercheurs américains de l'Institut de Recherche du Midwest par l'étude comparative de différents contenants de boisson pour la compagnie Coca-Cola en 1969. Les préoccupations se portaient alors essentiellement sur l'énergie nécessaire et les matières premières consommées. Ensuite, l'idée d'une ACV environnementale s'est de plus en plus développée aux Etats-Unis et les chercheurs américains ont conçu un modèle connu sous le nom de "Resources And Environmental Profil Analysis" (REPA).

L'intérêt pour cet outil n'a cessé alors de croître mais l'hétérogénéité des résultats d'analyse pour un même produit a fait naître des controverses à la fin des années 1980. Plusieurs institutions internationales telles que la Société de Toxicologie et Chimie Environnementales (SETAC), l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) ont contribué à la mise en place du cadre conceptuel de l'ACV (SETAC, 1991 ; 1993 ; 1994 ; 1997 et ISO14040, 1997 ; ISO14041, 1998 ; ISO14042, et ISO14043, 2000 ; ISO 14040 et ISO 14044, 2006).

La SETAC a pris la charge d'homogénéiser les méthodes d'ACV et coordonner le développement des modèles mathématiques d'analyse des impacts (Life Cycle Impact Assessment ou LCIA). Ceci a été mené grâce aux travaux scientifiques de plusieurs équipes de chercheurs qui sont publiés et discutés dans les colloques internationaux et annuels de cette organisation. Ainsi, plusieurs méthodes d'ACV ont été développées en continuant d'être améliorées et harmonisées: **Eco-Indicator99** (Goedkoop et Spriensma 1999, 2000) ; **EDIP** (Wenzel et al. 1998, Hauschild et Potting 2004) ; **EPS** (Steen 1999) ; **CML** (Guinee et al.2002), et **Impact2002+** (Jolliet et al.2003) ; **ReCipe** (Heijungs et al., 2003).

L'Analyse de Cycle de Vie a été donc diffusée depuis plus d'une décennie et fait l'objet d'une reconnaissance internationale. En effet, son utilisation qui était cantonnée dans les pays développés d'Europe et d'Amérique du Nord ainsi que le Japon, s'est de plus en plus propagée à d'autres pays émergents ou en développement. Son champ d'application a également été élargi aux nombreux secteurs industriels, urbains et agricoles en parallèle avec les développements technologiques. A titre d'exemple, l'ACV a été utilisé comme outil d'évaluation des impacts liés aux boues d'épuration urbaines et aux eaux des procédés industriels (Finnveden 1999 ; Apostol 2000 ; Suh et al. 2001 ; ADEME 2002 ; Jolliet et al. 2003; Renou 2006; Kohler 2006).

#### IV.1.2. Les étapes normalisées de l'ACV.

La démarche méthodologique de l'ACV est détaillée par une série de normes ISO 14040 à 14044 qui ont été révisées et remises à jour en 2006 (ISO 2006a, 2006b). L'ISO 14040 définit l'Analyse de Cycle de vie comme suit : « *Compilation et évaluation des consommations d'énergie, des utilisations de matières premières et des rejets dans l'environnement, ainsi que l'évaluation de l'impact potentiel sur l'environnement associé à un produit ou un service, sur la totalité de son cycle de vie* ».

L'ACV s'articule en quatre étapes interdépendantes (Fig11) : la définition du champ et de l'objectif de l'étude ; l'analyse de l'inventaire ; l'analyse et l'évaluation de l'impact ; l'interprétation des résultats.

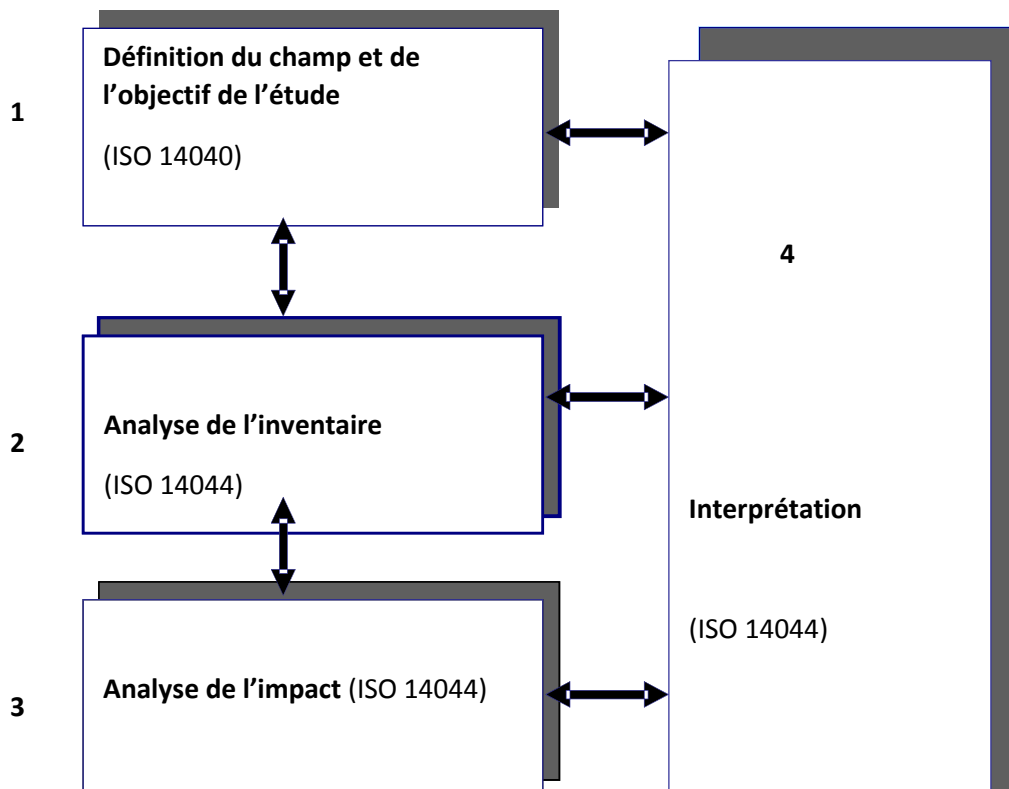


Figure 11: Cadre conceptuel de l'ACV (ISO 2006)

**IV.1.2.1. La définition du champ et des objectifs de l'étude :**

C'est une étape descriptive et primordiale où le problème est posé, en déterminant la fonction du système et la finalité de l'étude. Ensuite, s'établit le choix de l'unité fonctionnelle, les limites du système, et les hypothèses de base. Cette étape exige une réflexion méthodologique conséquente, car elle conditionne la qualité des résultats des étapes ultérieures, et leur cohérence avec les objectifs fixés au départ. Elle comprend les éléments suivants (Ghazi M., cours 2015):

- **La fonction du système** : elle renseigne sur la nature du système et définit précisément son rôle et sa fonctionnalité à laquelle les flux de matière et d'énergie se rapportent. Sa précision permet de bien définir les deux paramètres clés de l'ACV, à savoir, l'unité fonctionnelle, et les limites du système.
- **L'unité fonctionnelle** : C'est une grandeur permettant de quantifier la fonction du système, en rapportant les flux de matière et d'énergie de tous ses processus appelés flux de référence à cette unité. L'unité fonctionnelle est choisie en fonction des objectifs de l'étude et permet la comparaison des étapes du cycle de vie et les scénarios sur une base commune
- **Les limites du système** : un système contient un ensemble de processus unitaires liés entre eux par un flux de matière et d'énergie. La délimitation des frontières d'un système consiste à choisir le nombre de processus qui doivent y être inclus et à préciser l'horizon de temps jugé pertinent pour bien évaluer les impacts environnementaux du système.

**IV.1.2.2. Analyse de l'inventaire :**

La définition de l'analyse de l'inventaire du cycle de vie selon la normalisation internationale est la suivante : "***Phase de l'analyse de cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des entrants et des sortants pour un système donné au cours de son cycle de vie***".

C'est un ensemble de collectes des données et de procédures de calculs qui permettent la quantification des flux entrants et sortants du système le long de son cycle de vie. La réalisation de l'inventaire est l'étape la plus longue et délicate de l'ACV car la qualité des données et, par conséquent, celle de l'ACV en dépend.

L'analyse de l'inventaire commence par une préparation de la collecte des données, où le système en question est subdivisé en sous-systèmes et schématisé sous forme d'un diagramme de processus élémentaires liés par des flux. Les données relatives à chaque processus sont alors identifiées et inventoriées. Ensuite, la collecte concrète consiste à rassembler les données à partir de plusieurs sources : bases de données spécifiques à l'ACV, mesures directes sur le site, et estimations en utilisant d'autres ACV, revues scientifiques, et avis de spécialistes du domaine concerné. Souvent, plusieurs types de données sont compilés. Ainsi, l'exigence en qualité de données doit être basée sur des précisions en termes d'origine, de date d'acquisition et d'exhaustivité.

Enfin, les données collectées sont rapportées à l'unité fonctionnelle et sont agrégées pour chaque étape du cycle de vie, pour aboutir aux résultats de l'inventaire (LCI) qui serviront à l'analyse et l'évaluation des impacts.

### IV.1.2.3. Analyse et évaluation des impacts :

Les résultats de l'analyse de l'inventaire issus de l'étape précédente sont traduits en impacts potentiels correspondants. Selon l'ISO 14044 (ISO 2006b), l'évaluation de l'impact du cycle de vie permet la détermination de l'importance et la signification des impacts potentiels du système étudié. Cette étape comprend trois éléments obligatoires :

**La sélection**, consiste dans le choix cohérent avec les objectifs de l'étude, des catégories d'impact, des indicateurs de catégories, et des modèles de caractérisation. Ce choix doit être justifié en fonction de la nature du système étudié, et de la pertinence environnementale des indicateurs de catégories établis par les modèles de caractérisation.

**La classification**, détermine quelles émissions contribuent à quels effets environnementaux. L'attribution des résultats de l'inventaire aux catégories d'impact telles que le réchauffement climatique, l'eutrophisation, l'acidification, l'écotoxicité...etc. Ainsi, certaines émissions sont par exemple affectées à une ou plusieurs catégories d'impact. Par exemple, les émissions de NOx peuvent contribuer à la fois à l'acidification et à la toxicité.

**La caractérisation**, permet de quantifier, les contributions des différentes émissions et extractions du cycle de vie du système aux différentes catégories ou classes d'impact correspondantes (Réchauffement climatique, Eutrophisation, ecotoxicité terrestre et aquatique, Effets respiratoires, Effets cancérogènes...). C'est donc le lien entre les résultats de l'inventaire exprimés en Kg par unité fonctionnelle, et l'indicateur de catégorie CI qui traduit le poids de la contribution de chaque substance à sa catégorie d'impact.

Cette conversion des émissions ou extractions comme résultats de l'inventaire en impacts potentiels est possible par le biais d'un facteur de caractérisation défini préalablement par des modèles mathématiques de caractérisation qui sont différents selon les méthodes d'ACV ainsi que selon la catégorie d'impact et la substance émise ou extraite dans le cycle de vie du système. Par exemple, le facteur de caractérisation du CO<sub>2</sub> dans l'impact « effet de serre » représenté par l'indicateur GWP est égal à 1.

Le lien existant entre l'indicateur de catégorie, le facteur de caractérisation et les résultats de l'inventaire s'exprime sous la forme donnée par l'équation (1) (Renou 2006).

$$I_i = \sum FC_{ij} \cdot R_j \quad (1)$$

Avec : **I<sub>i</sub>**, indicateur d'impact de la catégorie i

**FC<sub>ij</sub>**, facteur de caractérisation associée au flux d'inventaire j pour la catégorie i

**R<sub>j</sub>**, résultats de l'inventaire de cycle de vie pour le flux d'inventaire j

D'autres auteurs expriment la même relation par l'équation (2) (Joliet et al. 2003):

$$S_i = \sum FC_{ij} \cdot M_j \quad (2)$$

Avec : **S<sub>i</sub>**, score d'impact de la catégorie i

**FC<sub>ij</sub>**, facteur de caractérisation associée au flux d'inventaire j pour la catégorie i

**M<sub>j</sub>**, masses des substances émises et ou extraites (résultats de l'inventaire)

Selon les méthodes d'ACV, l'analyse de l'impact peut se situer à deux niveaux sur l'échelle de la causalité des mécanismes environnementaux. Le premier niveau qui est intermédiaire sur cette échelle est celui des problèmes environnementaux, appelés classes d'impact (Réchauffement climatique, Eutrophisation, Ecotoxicité terrestre et aquatique, Effets respiratoires, Effets cancérigènes...). Les méthodes qui s'arrêtent à ce niveau intermédiaire d'analyse des problèmes environnementaux sont appelées « Méthodes Mid-points » (fig12) telles que EDIP (Wenzel et al.1997 ; Haushild et Potting 2004), et Traci développée aux Etats-Unis par l'US EPA (Bare et al. 2003).

Le deuxième niveau d'analyse est celui des dommages sur les cibles finales (Santé humaine, Qualité de l'écosystème, Changement climatique, Epuisement des ressources). Les méthodes qui analysent l'impact au niveau intermédiaire et continuent plus loin l'analyse jusqu'aux dommages sont dites « Méthodes Endpoint » (fig13), telles que Ecoindicateurs99 (Goedkoop et Spriensma 1999, 2000) ; EPS actualisée en EPS 2000d (Ryding et Steen 1991 ; Steen 1999) ; CML (Guinee et al. 2001) ; et IMPACT 2002 + (Jolliet et al. 2003).

• **La méthode EDIP**

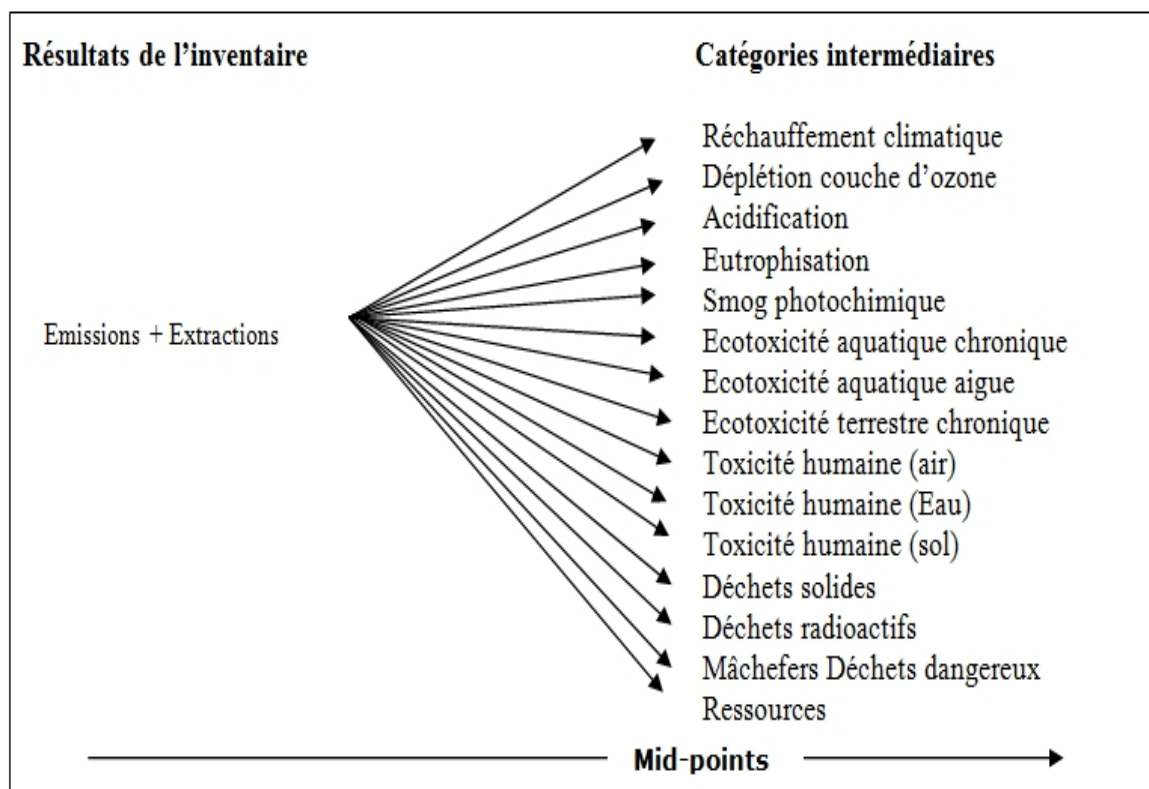


Figure 12: Structure générale de la méthode EDIP2003 (Ghazi Malika, cours 2015)

• La méthode Eco-Indicator 99

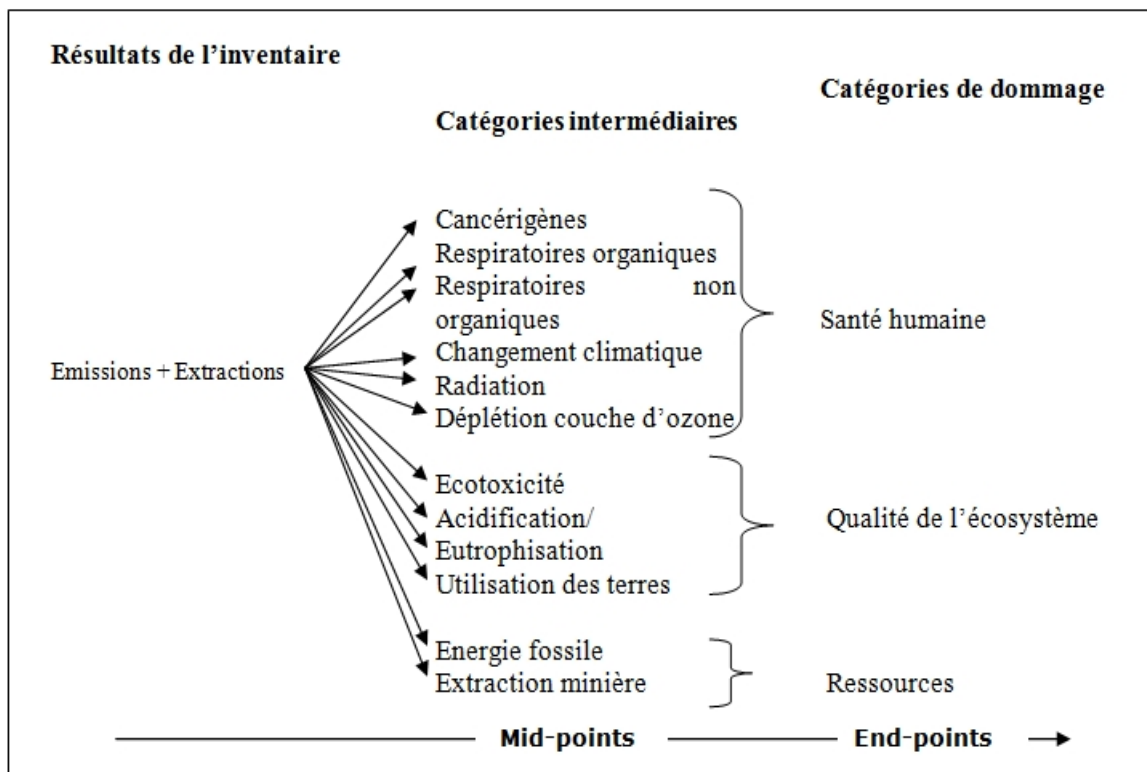


Figure 13 : Structure générale de la méthode Eco-Indicator 99 (Ghazi Malika, cours 2015)

**IV.1.2.4. Les étapes optionnelles :** selon la norme ISO 14040/2006, il existe principalement trois étapes facultatives de la phase de l'évaluation de l'impact du cycle de vie :

**La normalisation**, permet d'obtenir des valeurs normalisées qui traduisent l'importance relative de l'impact du cycle de vie par rapport à une référence. Le résultat final de chacun des indicateurs d'impact, obtenu à l'issue de l'étape de caractérisation est divisé par une valeur de référence, de la manière décrite par l'équation (3) (Renou 2006)

$$N_i = I_i / R_i \text{ (3)}$$

Avec :  $N_i$ , résultat normalisé pour la catégorie d'impact  $i$   
 $I_i$ , résultat de l'indicateur d'impact de la catégorie  $i$   
 $R_i$ , valeur de référence pour la catégorie  $i$

**Le regroupement**, c'est le tri ou le classement des catégories d'impact pour les regrouper en une catégorie de dommage ou en impact global du cycle de vie. Ceci peut faciliter la mise en œuvre de l'étape de pondération.

**La pondération et l'agrégation**, c'est la multiplication de chacun des résultats normalisé ou non du profil environnemental, par un facteur de pondération, pour aboutir à une valeur unique appelée aussi score unique, selon l'équation (4) (Renou 2006) :

$$T = \sum I p_i \cdot I_i \text{ ou } T = \sum I p_i \cdot N_i \quad (4)$$

Avec : T, charge environnementale totale du cycle de vie

P<sub>i</sub>, facteur de pondération de la catégorie i

I<sub>i</sub>, résultat brut de l'indicateur d'impact de la catégorie i

N<sub>i</sub>, résultat normalisé de l'indicateur d'impact de la catégorie i

#### **IV.1.2.5. L'interprétation**

Cette dernière étape permet, tout en exposant les limites, de tirer des conclusions et formuler des recommandations en fonction des objectifs et du champ de l'étude définis à la base.

Dans un premier temps, il est question d'identifier les enjeux significatifs afin de structurer l'ensemble des informations issues des trois phases précédentes de l'ACV. Cette structuration est élaborée sous forme de tableaux ou de diagrammes pour faciliter la présentation et la communication des résultats. Dans un deuxième temps, il s'agit de contrôler la fiabilité des résultats d'ACV par vérification de trois éléments essentiels : la sensibilité, la complétude et la cohérence de l'étude. Cette vérification est guidée par les objectifs et les hypothèses de l'étude, dont l'utilisation envisagée des résultats et le public concerné.

Enfin, des conclusions et des recommandations peuvent être formulées en tenant compte des limites de l'étude comme par exemple, la disponibilité des données d'inventaire. A ce stade et selon l'application envisagée et le public concerné, les résultats de l'ACV peuvent constituer un outil d'aide à la décision qui permet d'améliorer certains axes ou étapes du cycle de vie par un ensemble d'actions proposées.

#### **IV.2. Les logiciels pour réaliser des ACV:**

La construction d'un cycle de vie d'un produit nécessite le traitement de centaines de données complexes avec des unités et des formules différentes. Ceci implique l'utilisation des logiciels de calcul spécifiques à l'ACV qui facilitent le traitement de ces données et leur traduction en diagrammes permettant la comparaison des impacts du cycle de vie. Ces logiciels, selon leurs coûts et leurs interfaces informatiques, offrent des formats de saisie de données permettant la construction du cycle de vie d'un système. Ceci est facilité par la disponibilité des données sur les flux de matière et d'énergie liés aux milliers de processus et cycles de vies dans les bases de données internationales qui sont intégrées aux logiciels.

Il existe actuellement une trentaine de logiciels, dont une vingtaine de généralistes. Certains sont plus connus que d'autres:

- **GABI** : qui a été élaboré au départ pour l'industrie automobile et permettant un calcul de bilans holistiques, avec 1 500 modules dans sa base de données ;
- **Umberto 5.5** : qui est un logiciel de calcul d'ACV complet avec 200 modules

- **SIMAPRO** : qui est un logiciel de calcul d'ACV complet avec 700 modules dans la base de données. Ce logiciel contient tous les facteurs de caractérisation calculés par les modèles de caractérisation des différentes méthodes d'ACV (fig 14) et plusieurs banques de données nationales et internationales incluant des milliers de flux de matière et d'énergie liés aux secteurs variés comme l'énergie, le transport, les matériaux, les produits chimiques, et les traitements de déchets (fig 15).
- Parmi ces banques de données, il y a ECOinvent développée par le Centre Suisse pour les Inventaires du Cycle de Vie ; ESU-ETH 96 qui est développée par l'Institut Fédéral Suisse des technologies (Swiss Federal Institute of Technology) et spécialisée dans l'inventaire des systèmes énergétiques en Suisse et Europe occidentale ; BUWAL250 qui est développée par l'institut suisse des emballages (Swiss Packaging Institute) ; FRANKLIN USA 98, développé par la société FRANKLIN et Sylvatica pour les inventaires des matériaux, énergie et transport de l'Amérique du nord ; et IDEMAT 2001 développée au Pays-Bas par plusieurs experts et la faculté de l'ingénierie industrielle (Delft Technical University).

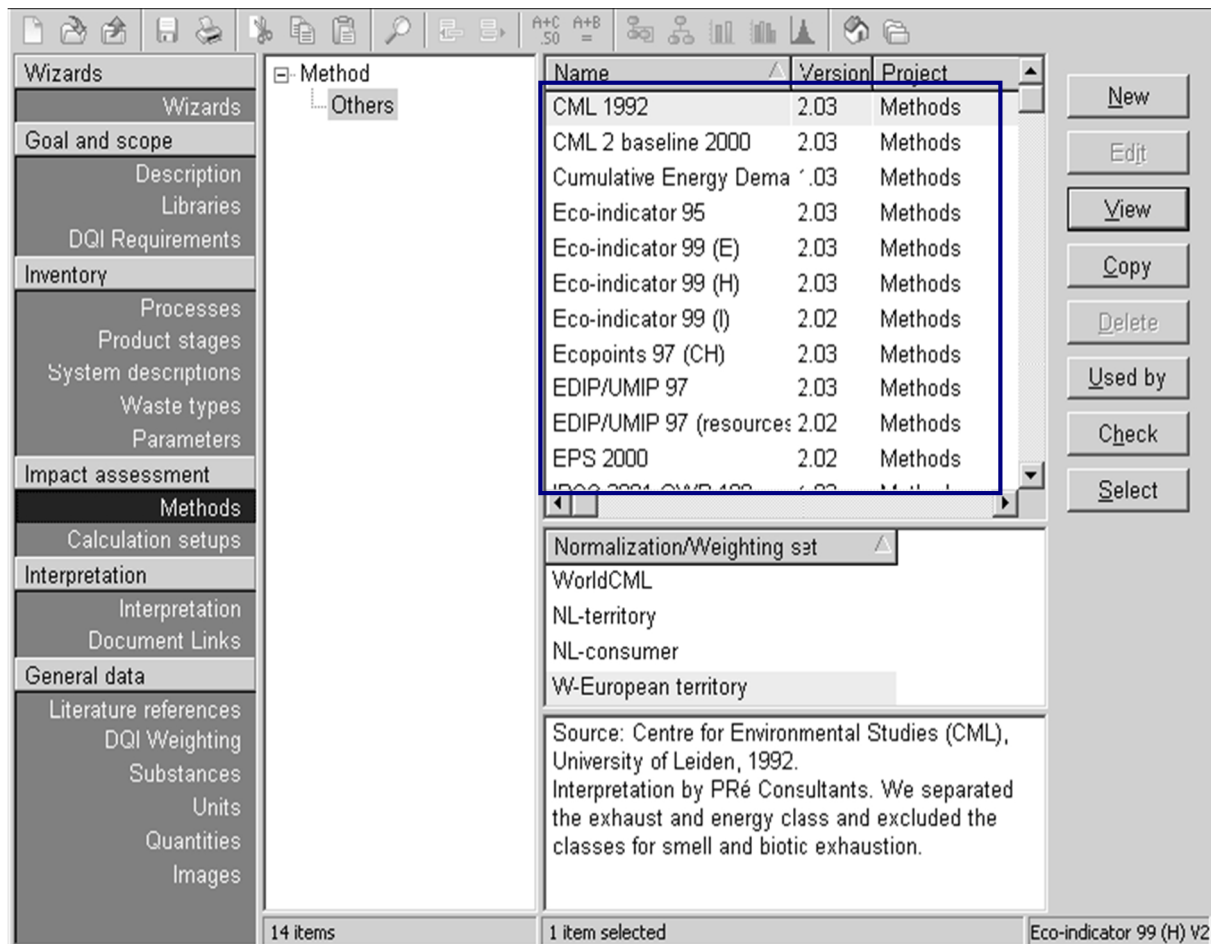


Figure 14: Méthodes ACV proposées dans SIMAPRO

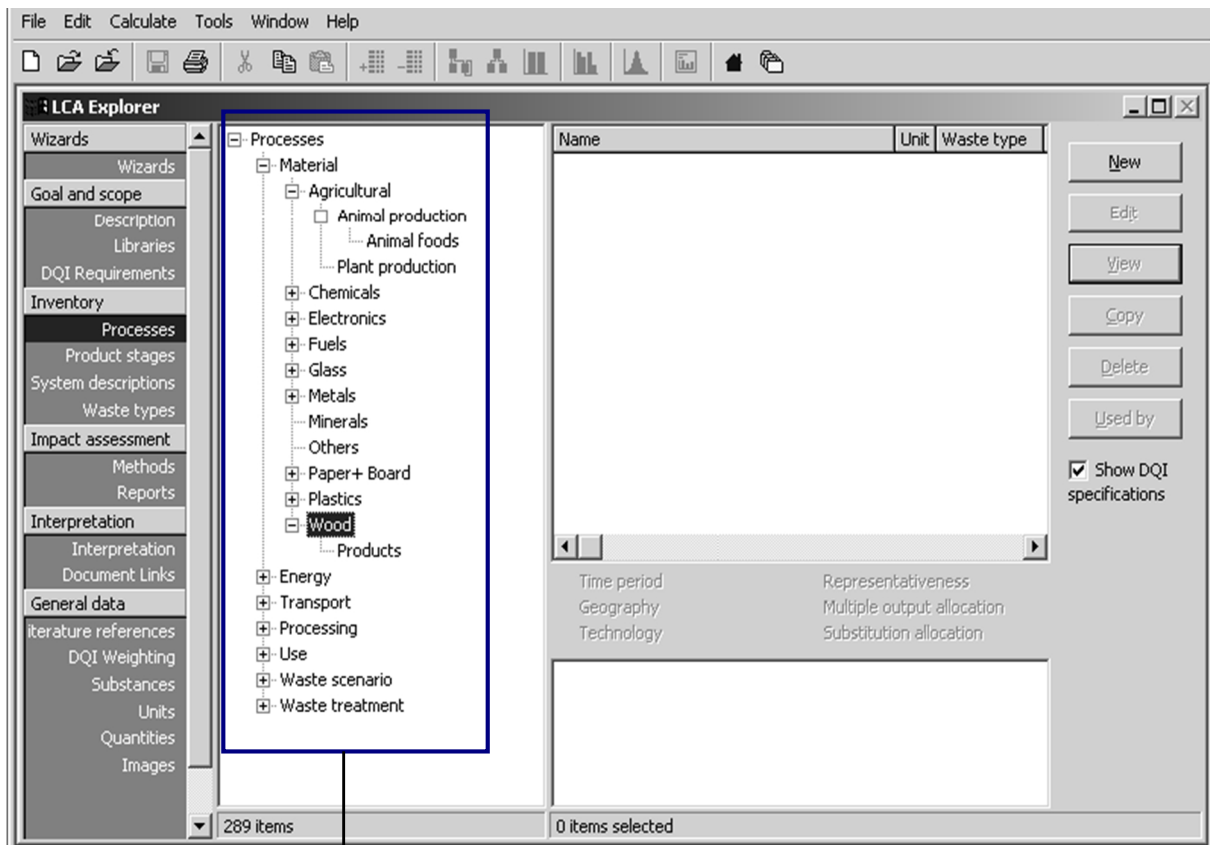


Figure 15: Données des flux liés aux procédés des différents secteurs dans SIMAPRO

#### IV.2.1. Le principe de modélisation de SimaPro :

SimaPro est basé sur un système de fiches modulaires regroupées en deux grandes catégories permettant de créer un cycle de vie complet.

La première catégorie comprend « **les fiches d'inventaire** » contenant les informations de type matière, processus de mise en œuvre, transport, énergie, processus d'utilisation, traitement des déchets. Ces fiches sont soit puisées dans les bases de données génériques disponibles dans le logiciel soit créées par l'utilisateur selon la structuration suivante (fig 16):

- **les entrants de la nature** : ce sont les substances provenant directement de la nature sans intervention humaine (exemple : l'eau de pluie) ;
- **les entrants de la « technosphère »** : ce sont des matières, processus, déchets, énergies issus ou extraits par l'action humaine (issus d'une autre fiche)... ;
- **des sortants vers la nature** : ce sont les substances émises directement dans la nature (exemple : émissions à l'eau, l'air et le sol);
- **les sortants vers la « technosphère »** : le produit fabriqué et ses éventuels coproduits, en plus des flux de déchets qui intègrent un processus de traitement de déchets comme l'incinération).

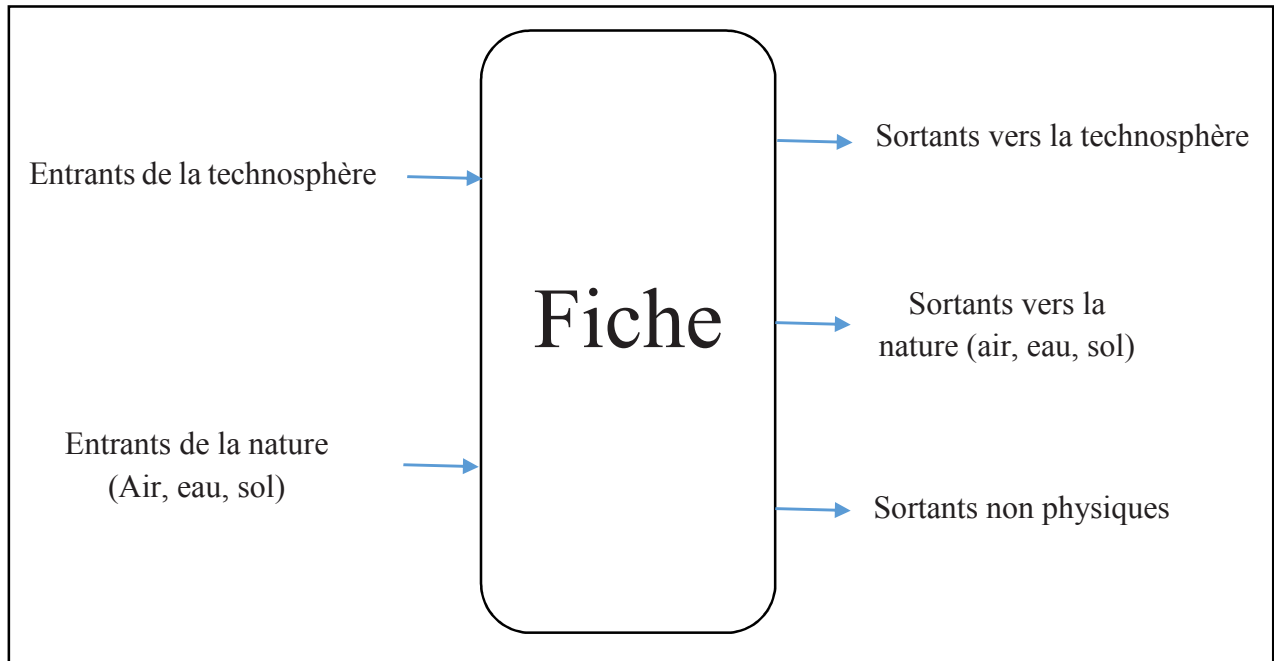


Figure 16: Schéma de la structure des fiches d'inventaire

La deuxième catégorie comprend « **les fiches étapes** » qui regroupent les fiches de type assemblage, réutilisation, fin de vie et cycle de vie. (Voir annexe 1)

Ces fiches peuvent être reliées entre elles pour former un réseau afin d'obtenir le schéma du cycle de vie du système analysé (Voir annexe 2)

Dans le cadre de ce travail, SIMAPRO a été utilisé pour modéliser notre système de dessalement des eaux de mer et analyser ses impacts dans le chapitre suivant.

# Chapitre V

Application de l'ACV à la  
station de dessalement des  
eaux de mer de Fouka

## Chapitre V : Application de l'ACV à la station de dessalement des eaux de mer de Fouka

Dans le cadre de ce travail, l'application de l'ACV au système de dessalement des eaux de mer à la station de Fouka est menée suivant les quatre étapes normalisées des normes ISO 2040-2044 (ISO 2006) : Définition des objectifs et du champ de l'étude, Analyse de l'inventaire, Analyse des impacts, Interprétation.

La qualité de l'ACV élaborée dans ce travail est visée par une collecte de données d'inventaire réelles du site ainsi que des mesures menées sur site par les propres moyens de l'ENSSMAL. Ceci permettra de mieux analyser les impacts locaux des émissions organiques et inorganiques dans le milieu marin, et constitue de ce fait, une originalité de l'étude.

### **V.1. La définition des objectifs et du champ de l'étude :**

Les objectifs de cette étude consistent à analyser les impacts environnementaux de dessalement de l'eau de mer et définir les axes d'améliorations de la station pour diminuer sa menace sur l'environnement marin.

#### **V.1.1. Définition du champ de l'étude :**

**V.1.1.1. Fonction du système :** Le dessalement de l'eau de mer dans la station de Fouka permet d'obtenir de l'eau potable pour les agglomérations de la wilaya de Tipaza et la zone côtière Ouest de la wilaya d'Alger avec une capacité de 120 000 m<sup>3</sup>/j.

La station de dessalement de fouka est basée sur le principe d'osmose inverse. Le procédé de fonctionnement est constitué d'un traitement physique, chimique et membranaire.(Fouka 2014)

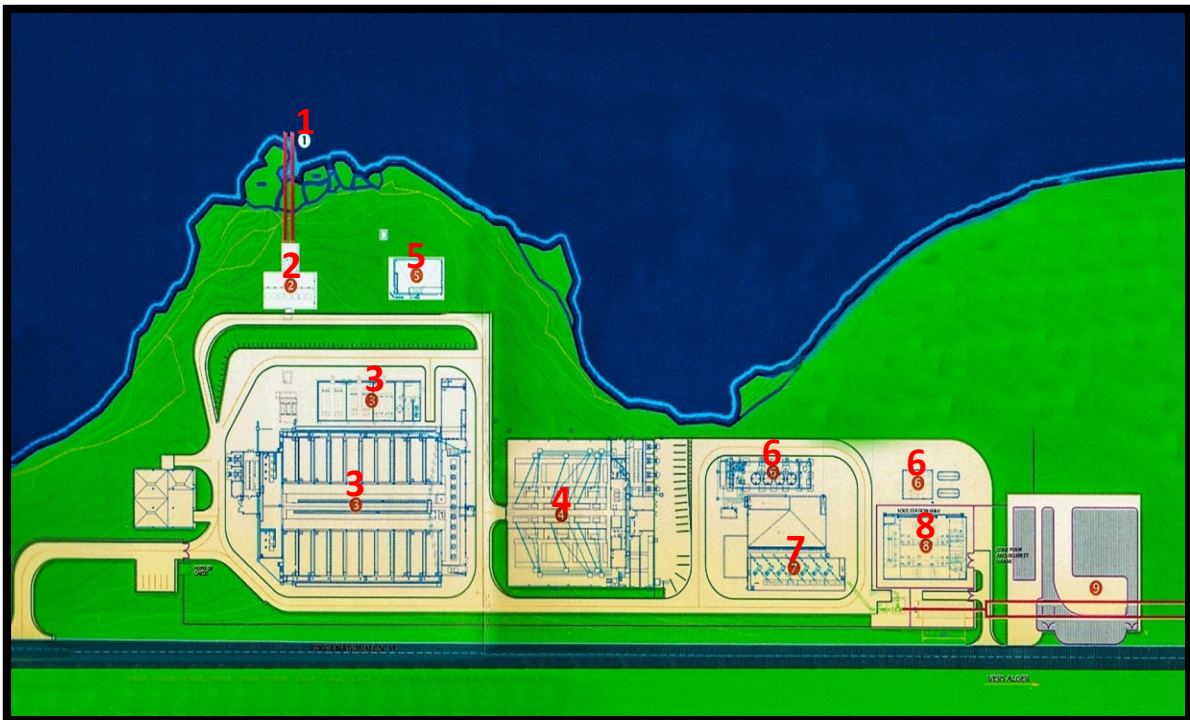


Figure 17 : Carte représentatif de la station de Fouka

## Chapitre V : Application de l'ACV à la station de dessalement des eaux de mer de Fouka

**1- Prise eau de mer :** L'eau de mer sera pompée à travers deux conduites en polyéthylène de diamètre 1600 mm. L'aspiration, marquée par les bouées, se fait à travers une grille située entre -13 et -9m de profondeur, à 900m de la côte.



*Figure 18: Balises utilisées dans la zone de prise d'eau de mer*

**2- Station de pompage d'eau de mer :** La station de pompage d'eau de mer relève l'eau jusqu'au système de filtration. Elle est constituée de sept pompes (dont une en secours) de 320 kW refoulant 1900 m<sup>3</sup>/h à 22m.



*Figure 19: Station pompages eau de mer*

**3- Système de prétraitement et filtration :** Le prétraitement permet d'amener l'eau à la qualité nécessaire avant son passage sur les membranes d'osmose. Il est constitué :

- D'une injection de divers réactifs, qui permettent en particulier d'agglomérer les matières en suspension de manière à ce qu'elles soient retenues sur les filtres à sable (floculation).



*Figure 20: Filtre à sable*

- D'un premier filtrage avec des filtres à sables : passage à travers des filtres (au nombre de 20) constitué d'une couche de sable et d'une couche d'anthracite (charbon).
- D'un pompage de l'eau filtré assuré par sept pompes (dont une en secours) de 450 kW refoulant 1900 m<sup>3</sup>/h à 50m
- D'un deuxième filtrage de sûreté à travers 10 filtres à cartouche de 5 microns (élimination des particules de plus de 5  $\mu\text{m}$ ).



*Figure 21: Filtres de 5 microns*

**4- Système d'osmose inverse et réservoir de lavage des filtres :** L'eau filtrée est aspirée par pompes haute pression (jusqu'à 70 bars) et refoulée à travers les membranes d'osmose. Environ la moitié de l'eau passe à travers les membranes, débarrassée d'une grande partie de son sel (eau déminéralisé, également appelée perméat). L'autre moitié, très concentré en sel (concentra), retourne à la mer après que son énergie (pression) a été récupérée (système ERI et pompes booster), en passant par un réservoir qui sert à alimenter le lavage de filtres à sable et par un dispositif de traitement des effluents.

Le système est constitué de 9077 membranes identiques disposées en parallèle dans 6 filtres de production d'une capacité unitaire de 20 000 m<sup>3</sup>/jour pour une production nette totale de 120.000 m<sup>3</sup>/jour. Chaque filière est composée :

- D'une pompe HP de 2 mW
- D'une pompe booster de 230 kW
- D'un dispositif de récupération d'énergie (ERI) qui récupère une partie de l'énergie nécessaire à l'osmose inverse, réduisant la consommation totale d'énergie.



Figure 22 : Dispositif de récupération d'énergie ERI

- De 216 tube de pression contenant chacun 7 membranes ; l'usine dispose d'un dispositif de lavage des membranes (bac de récupération, pompes, filtre et tuyauterie).



Figure 23 : Tubes de pression

**5- Traitement des effluents :** Les rejets de procédé comprennent les eaux suivantes :

- Les concentra
- Les eaux de décharge des saturateurs de chaux
- Les eaux de lavage des filtres
- Les eaux de lavage ou flushing de l'osmose inverse

Ces eaux sont acheminées vers le réservoir de traitement (neutralisation) des effluents et, de là, vers l'émissaire constitué d'une conduite en polyéthylène de diamètre 1400 mm



Figure 24 : Réservoir des effluents

Le point de rejet, à 450 m de la côte, est équipé d'un diffuseur qui permet une dilution quasi immédiate des eaux de rejet dans l'eau de mer, afin de ne pas perturber les écosystèmes.

**6- Système de reminéralisation et de production de CO<sub>2</sub> :** l'eau déminéralisée (perméat) est une eau agressive qui doit être reminéralisée pour satisfaire aux critères de potabilité. A cette fin, l'usine est équipée d'un système de reminéralisation qui comprend une injection de CO<sub>2</sub> (gaz carbonique) produit in-situ à partir de gaz naturel et une injection de chaux provenant de carrières en Algérie.



Figure 25 : bâtiment de production de co2

## Chapitre V : Application de l'ACV à la station de dessalement des eaux de mer de Fouka

**7- Station de pompage d'eau traitée :** Après reminéralisation, l'eau est stockée dans un réservoir d'eau traitée de 3600 m<sup>3</sup>. Où elle subit une désinfection finale au chlore (sous forme d'eau de javel). L'eau est ensuite refoulée vers le réseau externe par sept pompes (dont une en secours) de 800 kW débitant 833 m<sup>3</sup>/h à 240 m. L'usine dispose par ailleurs d'un réseau d'eau de service, d'un réseau incendie et d'un réseau d'eau potable.



Figure 26 : Station de pompage d'eau traitée

### **8- Sous station électrique de 60 kV :**

L'alimentation continue électricité de l'usine est indispensable elle est assurée par deux lignes sonelgaz de 60 kV qui alimentent une station de transformation composée de deux transformateurs de 30 MVA dont la tension de sortie est 6000 v.

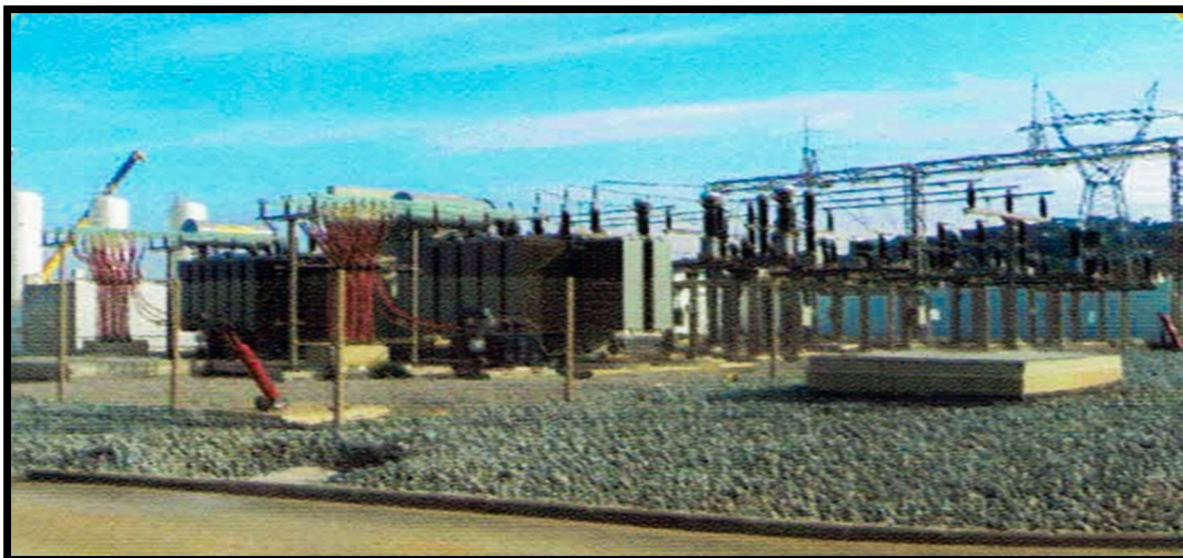


Figure 27 : Sous station électrique de 60 KV

**V.1.1.2. Unité fonctionnelle :**

L'unité fonctionnelle choisie est la production de 38 895 568 m<sup>3</sup>/an d'eau potable qui représente une production moyenne annuelle et traduit la performance de la station de dessalement pour couvrir les besoins de plusieurs agglomérations en eau répondant aux critères de qualité potable.

**V.1.1.3. Limites du système :**

Les limites du système soumis à l'analyse comprennent toutes les étapes du procédé de dessalement d'eau de mer : le prétraitement, le traitement, le post traitement et le traitement des effluents (Fig.28). Les infrastructures, la maintenance des équipements et la distribution de l'eau potable dans les réseaux urbains ne sont pas pris en compte. La limite temporelle de cette analyse ne couvre que la durée de fonctionnement de la station et exclue de ce fait la phase de démantèlement des différents composants en fin de vie. L'hypothèse principale retenue pour cette étude concerne le pourcentage de 5 à 40 % de récupération énergétique grâce au système ERI du procédé membranaire par osmose inverse. Cette hypothèse sera soumise à une analyse de sensibilité pour vérifier la réduction d'impact et le gain sur le plan environnemental, en particulier dans la catégorie réchauffement climatique.

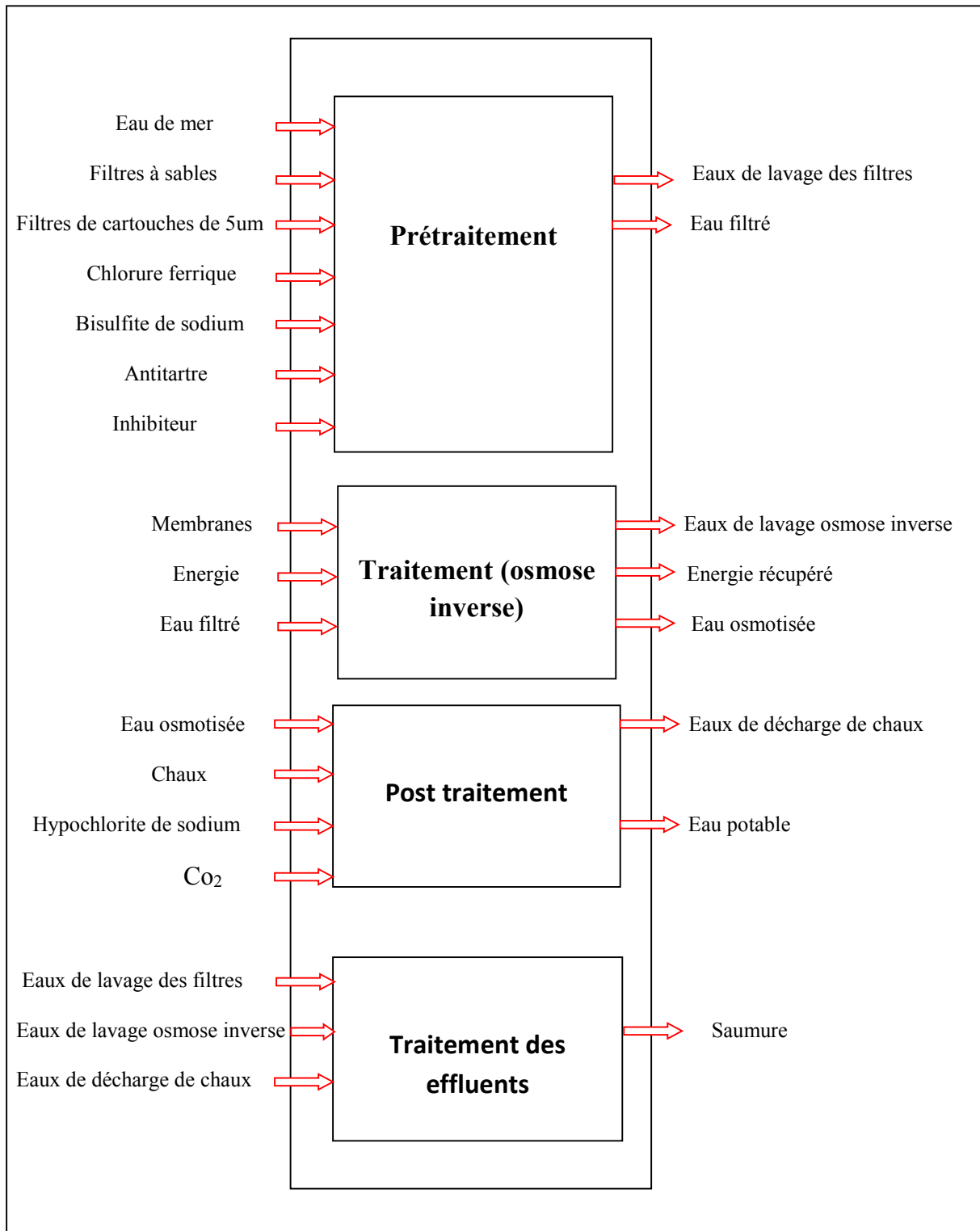


Figure 28 : Limites du système de la station (ISO 2006)

## V.2. L'Analyse de l'inventaire :

Plusieurs sources de données ont été utilisées pour établir l'inventaire du système de dessalement d'eau de mer à Fouka. Le mode de collecte des données des flux entrants et sortants a donc été basé sur plusieurs procédures :

- **les données récoltées du site** qui ont servi à identifier les processus et les étapes du procédé de dessalement de Fouka, ainsi qu'à calculer les différents flux entrants du système, à savoir toutes les consommations en énergie et réactifs chimiques. Ces données ont été compilées sur une année et rapportées à l'unité fonctionnelle.
- **les données mesurées** qui ont été obtenues à partir des prélèvements et de mesures in situ, selon le plan d'échantillonnage de la figure 29 afin de couvrir les zones de captage des eaux marines et celle des rejets de la station.

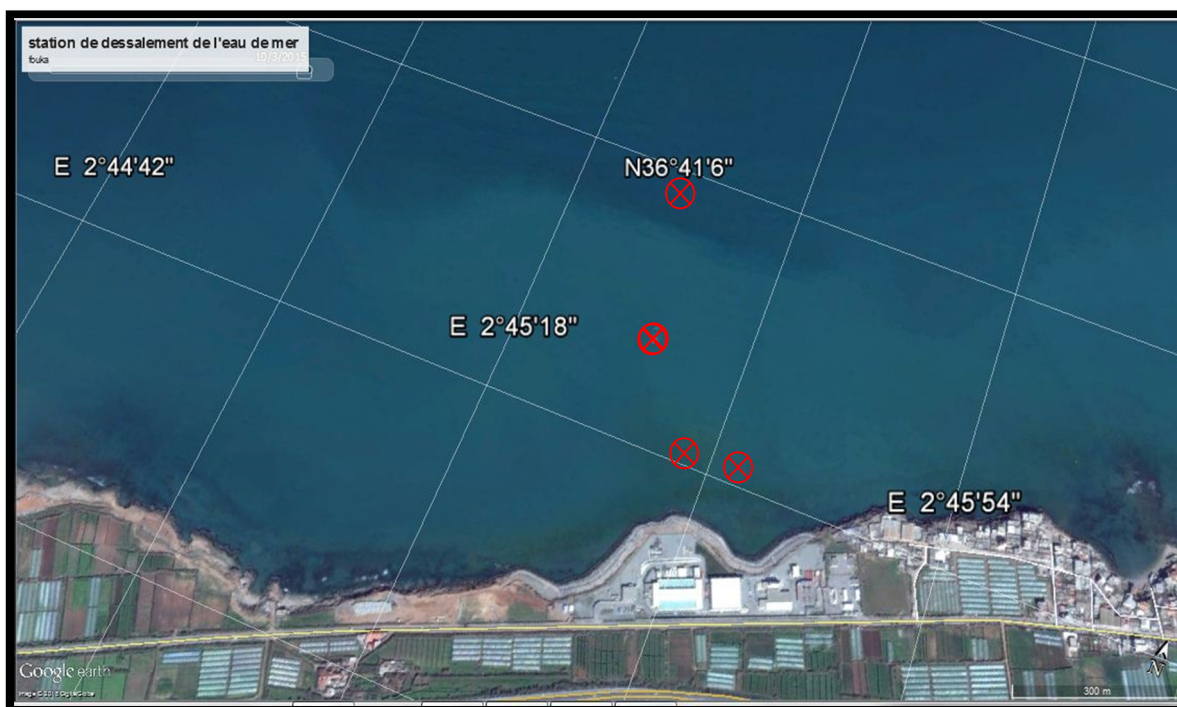


Figure 29 : Positionnement des stations de prélèvement

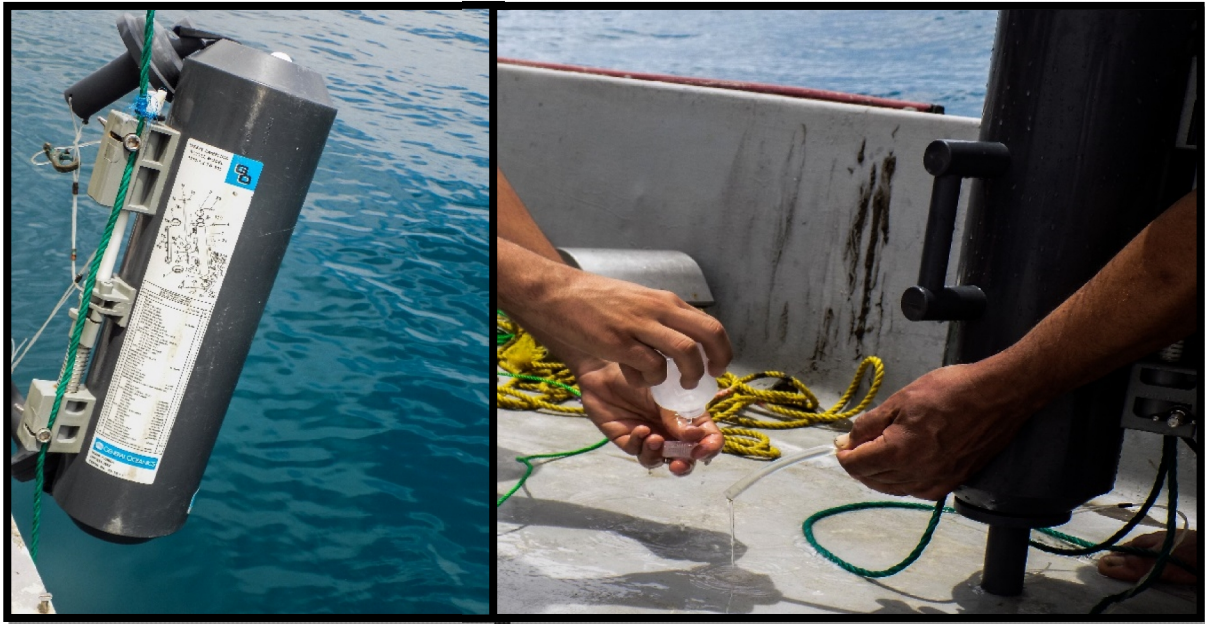
Le tableau 5 montre les coordonnées des points de prélèvement à l'aide du GPS de l'embarcation de Baba Arroudj.

Tableau V : Tableau récapitulatif des points de prélèvements des eaux et des sédiments

Echantillons	Station pompage	Station rejet	Station rejet Est	Station témoin
Coordonnées	36° 40' 56'' N 2° 45' 29'' E	36° 40' 50'' N 2° 45' 33'' E	36° 40' 51 N 2° 45' 40'' E	36° 41' 4'' N 2° 45' 25'' E
Eau	En surface	En surface	En surface	En surface
	10 m	-	-	-
Sédiment	10 m	Substrat rocheux	4 m	17 m

## Chapitre V : Application de l'ACV à la station de dessalement des eaux de mer de Fouka

Des échantillons d'eau de mer ont été prélevés à l'aide de la bouteille de type NISKIN de capacité de 2,8 L en surface et 10 m de profondeur (Fig.30). Tandis que les sédiments ont été prélevés grâce à la benne Van Veen (Fig.31).



*Figure 30 : prélèvement de l'eau de mer par la bouteille du NISKIN*



*Figure 30 : prélèvement du sédiment par la benne Van Veen*

Cependant, il faut souligner que les analyses des eaux et des sédiments prévues pour déterminer les différentes concentrations en polluants organiques et éléments traces métalliques, n'ont pas pu aboutir dans le cadre de ce mémoire, faute de temps et de moyens.

## Chapitre V : Application de l'ACV à la station de dessalement des eaux de mer de Fouka

Ces concentrations ont été donc estimées à partir d'autres travaux et stations de dessalements sur la côte algéroise.

A l'aide de la valise multi-paramètres nous avons mesuré les paramètres physico-chimiques dans les différentes stations de prélèvement indiquées ci-dessus. Les résultats montrent peu de différence entre la zone de pompage de l'eau de mer et celle des rejets concernant la température, la teneur en oxygène et le pH. Par contre, la salinité est nettement plus élevée en zone de rejets qu'en zone de pompage, à cause des saumures issues de traitement des effluents (Tab.6).

Tableau VI : Les mesures in-situ des paramètres physico-chimiques

Station	Coordonnées	Température	Oxygène	pH	Salinité (PSU)
Pompage en surface	36° 40' 56'' N 2° 45' 29'' E	22.36 °C	6.71 mg/L	7.75	37.60
Pompage 10 m	36° 40' 56'' N 2° 45' 29'' E	21.14 °C	6.26 mg/L	7.73	37.46
Rejet centre	36° 40' 50'' N 2° 45' 33'' E	22.18 °C	6.48 mg/L	8.72	49.35
Rejet Est	36° 40' 51'' N 2° 45' 40'' E	22.07 °C	6.68 mg/L	8.90	46.12
Témoin	36° 41' 4'' N 2° 45' 25'' E	22.14 °C	6.77 mg/L	8.57	36.75

- **les données estimées** à partir de la littérature et les bases de données internationales ont permis de combler le manque en données physico-chimiques et certains teneurs en polluants liés au procédé de dessalement par osmose inverse. A titre d'exemple, les teneurs en sulfates, chlorures, sodium, nitrates et nitrites ont été estimées à partir des travaux de (Kerfouf et al. 2010 ; Mehtougui et al.2013), qui ont comparé les analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de mer, l'eau traitée et l'eau de rejet dans les stations de dessalement de l'Ouest algérien (Bousfer et Bouzedjar) (Tab.7). Tandis que les teneurs en éléments traces métalliques et hydrocarbures ont été estimées à partir des analyses récentes des eaux rejetés par les trois stations de dessalement : El Hamma, Cap Djinet et Fouka.

Le tableau suivant représente un extrait de la matrice de l'analyse de l'inventaire où sont rapportées quelques données du site de dessalement de Fouka, en plus de certaines qui ont été estimées sur les flux entrants et sortants du système. Ces dernières concernent surtout les émissions à l'eau et à l'air publiées ou existantes dans les bases de données internationales, notamment celles qui se rapportent aux processus d'arrière-plan liés par exemple, à la production d'énergie ou la fabrication des réactifs chimiques utilisés dans le procédé (Tab.7).

## Chapitre V : Application de l'ACV à la station de dessalement des eaux de mer de Fouka

Tableau VII: Analyse de l'inventaire

		Unité	prétraitement	Traitement	Post traitement	Traitement des effluents
<b>Flux entrants</b>						
Eau de mer pompée		m3/j	2,75E+05			
Energie		kWh/an	1,59E+08			
<b>Flux sortants</b>						
Energie récupérée (5-40% de l'énergie totale consommée)	5%	kWh/an		7,94E+06		
	22%			3,49E+07		
	40%			6,35E+07		
<b>Emissions à l'eau</b>						
Sulfates		Kg/an				1,59E+09
Chlorures		Kg/an				1,89E+08
Ammonium		kg/an				5,60E+01
Salinité		kg/an				5,65E+05
MO		kg/an				8,96E+05
Zn		Kg/an				5,60E+03
Cr		Kg/an				5,60E+02
Ar		Kg/an				1,12E+09
Hg		Kg/an				1,40E+07
Hydrocarbures		Kg/an				6,72E+04
<b>Emissions à l'air</b>						
Aérosols		Bq	2,63E+02	4,68E+01	3,78E+03	x
Ammonium, ion		mg	x	-3,88E+01	x	x
Arsenic		g	2,48E+01	-2,47E+02	9,74E+01	x
Benzène		mg	7,21E+00	1,27E-01	1,01E+00	x
Dioxyde de carbone		kg	2,37E+03	5,18E+02	1,66E+04	x
Ethane, 1,2-dichloro-		g	2,71E+02	1,51E+02	9,58E-01	x
Mercure		g	1,23E+01	-3,13E+01	1,61E+02	x

### **V.3. L'Analyse des impacts :**

#### **V.3. 1. Choix de la méthode d'analyse des impacts :**

Dans le cadre de ce travail, les méthodes CML 2001 et ReCIPE, méthodes orientées respectivement, impacts intermédiaires et dommages ont été choisies pour analyser le cycle de vie du dessalement de l'eau de mer dans la station de Fouka dans la baie de Bousmail. Le choix de la méthode CML 2001 a été en raison de sa prise en compte du milieu marin (colonne d'eau et sédiment) ; tandis que ReCIPE représente une méthode plus actualisée et plus exhaustive pour l'analyse des dommages sur les cibles environnementales finales. Dans cette étape d'ACV, il est question d'établir le lien entre les résultats de l'inventaire constitués des émissions et extractions du système avec 10 catégories intermédiaires d'impact, sélectionnées selon le contexte environnemental du site : Déplétion abiotique, Acidification, Eutrophisation, Déplétion de la couche d'ozone, Réchauffement climatique, Toxicité humaine, Ecotoxicité marine, Ecotoxicité des sédiments, Ecotoxicité terrestre, Utilisation des terres. Ensuite ces classes d'impact ont été agrégées dans trois catégories de dommages dans la méthode ReCIPE : Santé humaine, Qualité de l'écosystème et Ressources.



# **Résultats et discussions**

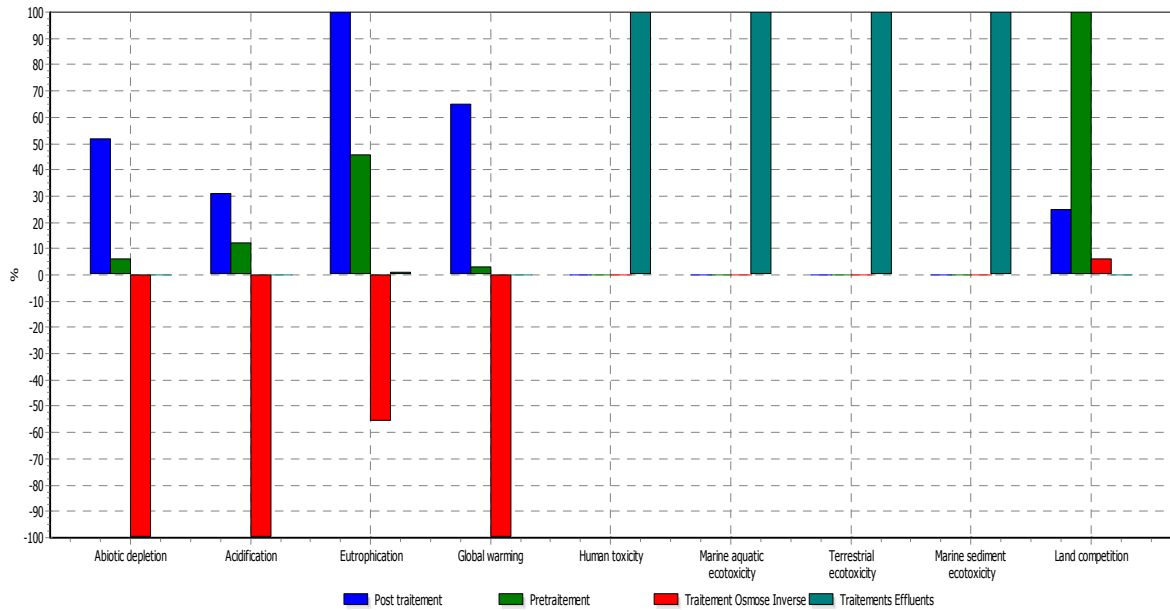
### VI.1. Contribution des processus et des étapes du dessalement aux classes d'impact

Le graphique de la figure 32 montre une comparaison des pourcentages de contribution aux impacts environnementaux des étapes de dessalement d'eau de mer par la méthode CML1000. C'est la dernière étape de traitement des effluents qui contribue majoritairement aux classes d'impact Toxicité humaine, Ecotoxicité marine, Ecotoxicité des sédiments marins et Ecotoxicité terrestre, à cause des émissions locales d'éléments traces métalliques et d'autres polluants organiques en mer. Alors que la contribution de l'étape post traitement est majoritaire dans les catégories d'impact Eutrophisation, Acidification, Epuisement des ressources abiotiques et Réchauffement climatique, à cause du processus d'arrière-plan de fabrication de la chaux utilisée à cette étape du procédé. Par contre, l'étape de traitement par osmose inverse contribue positivement en permettant des impacts évités (négatifs sur le graphique) en Réchauffement climatique, Eutrophisation, Acidification et Déplétion abiotique ; grâce à la récupération d'énergie par le dispositif ERI installé avec les membranes. Quant à l'étape de prétraitement des eaux de mer, celle-ci a une contribution plus importante dans la classe d'impact Utilisation des terres relative à la production des produits chimiques utilisés dans le prétraitement des eaux marines, surtout l'antitartre qui empêche le colmatage des membranes.

Dans le tableau 8, les scores d'impacts des différentes étapes du dessalement sont exprimés dans les unités correspondantes à chaque classe d'impact dans la méthode CML1000. On remarque que les scores les plus élevés se rencontrent dans la toxicité humaine ainsi que l'écotoxicité marine et terrestre avec un maximum de  $2,69E+13$  [kg 1,4-DB eq] en écotoxicité des sédiments marins. Les valeurs négatives dans la colonne du traitement par osmose inverse pour toutes les classes d'impact (Tab.8) représentent les impacts évités et sont donc considérés comme un avantage environnemental de la récupération de 20% d'énergie à cette étape de dessalement d'eau de mer.

Tableau VIII : Comparaison des classes d'impacts des étapes de dessalement

Catégorie d'impact	Unité	Prétraitement	Traitement Osmose Inverse	Post traitement	Traitements des effluents
Déplétion abiotique	kg Sb eq	1,42E+03	-2,26E+04	1,17E+04	0,00E+00
Acidification	kg SO2 eq	2,14E+03	-1,78E+04	5,48E+03	0,00E+00
Eutrophisation	kg PO4eq	1,06E+03	-1,31E+03	2,33E+03	1,85E+01
Réchauffement climatique	kg CO2 eq	1,73E+05	-5,37E+06	3,50E+06	0,00E+00
Déplétion de la couche d'Ozone	kg CFC-11 eq	2,28E-02	-5,25E+00	1,99E-01	0,00E+00
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	1,18E+05	-3,66E+05	1,27E+06	1,15E+11
Ecotoxicité marine	kg 1,4-DB eq	1,82E+08	-1,40E+08	7,31E+08	2,63E+13
Ecotoxicité des sédiments marins	kg 1,4-DB eq	1,45E+08	-8,86E+07	4,44E+08	2,69E+13
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	8,04E+02	-3,30E+03	7,53E+03	1,07E+11
Utilisation des terres	m2	1,89E+04	1,14E+03	4,74E+03	0,00E+00

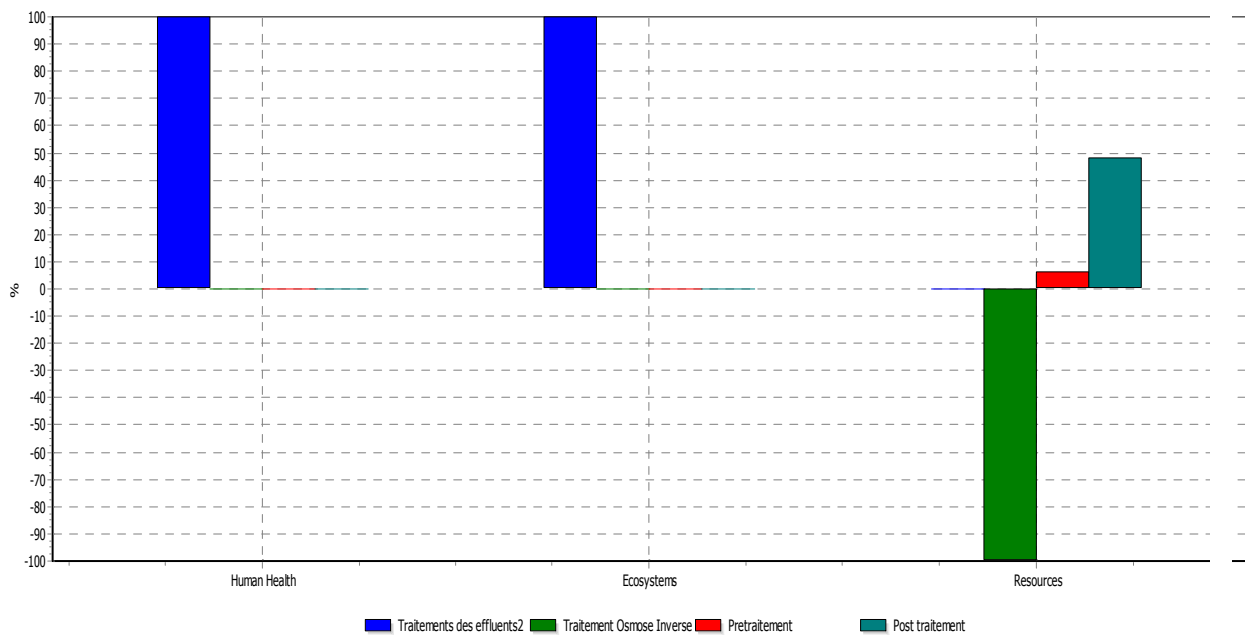


Comparaison de 5,6E7 m3 'Post traitement', 5,6E7 m3 'Pretraitement', 5,6E7 m3 'Traitement Osmose Inverse' et 5,6E7 m3 'Traitements Effluents', méthode: CML 2001 (all impact categories)DESS V2.05 / World, 1990 / Caractérisation / Exclusion des processus d'infrastru

Figure 32: Comparaison des classes d'impacts des étapes de dessalement

### Analyse des dommages

La méthode ReCIpe a été appliquée pour analyser les dommages jusqu'aux cibles finales où les classes d'impact au niveau intermédiaire ont été agrégées dans trois classes de dommage : Santé humaine, Qualité des écosystèmes et Ressources. Comme pour les classes d'impact, la prédominance des dommages sur la santé humaine et la qualité des écosystèmes se confirme pour l'étape de traitement des effluents, avec un avantage environnemental de l'étape d'osmose inverse surtout pour la classe Ressource (Fig.33).



Comparaison de 5.6E8 m3 'Traitements des effluents2', 5.6E7 m3 'Traitement Osmose Inverse', 5.6E7 m3 'Pretraitement' et 5.6E7 m3 'Post traitement', méthode: ReCIpe Endpoint (EIDESS V1.06 / World ReCIpe E/E / Étude de dommages / Exclusion des proce d'infrastru

Figure 33: Comparaison des classes de dommages des étapes de dessalement

## VI.2. Contribution des substances émises à l'écotoxicité marine

Dans la méthode CML1000, l'écotoxicité marine comme l'écotoxicité sédimentaire et terrestre est exprimée en kg équivalent de la substance de référence qui est le 1,4-dichlorobenzène. Dans cette classe d'impact, le mercure, le cuivre et le zinc émis en mer à l'issue du traitement des effluents y contribuent majoritairement (Fig.34), avec des scores de  $2,63E+09$  ;  $1,25E+09$  et  $6,27E+08$  [kg 1,4-DB eq] respectivement (Tab.9). Ces scores sont dus à la fois aux concentrations, à la toxicité inhérente et la mobilité des éléments traces métalliques dans les milieux récepteurs comme l'eau et les sédiments marins.

Pour l'étape posttraitement, les substances majoritaires contribuant à l'écotoxicité marine sont le nickel, le cobalt et le cuivre avec des scores respectifs de  $1,07E+08$  ;  $4,67E+07$  et  $1,05E+05$  [kg 1,4-DB eq]. La même tendance se remarque pour l'étape de prétraitement. Ces scores sont dus aux processus d'arrière-plan de fabrication des matériaux composant les membranes utilisées dans le procédé d'osmose inverse et à la production de dioxyde de carbone utilisé dans le posttraitement des eaux après l'osmose inverse. La contribution de ces processus est illustrée avec plus de détails sur l'arbre des processus en figure 35.

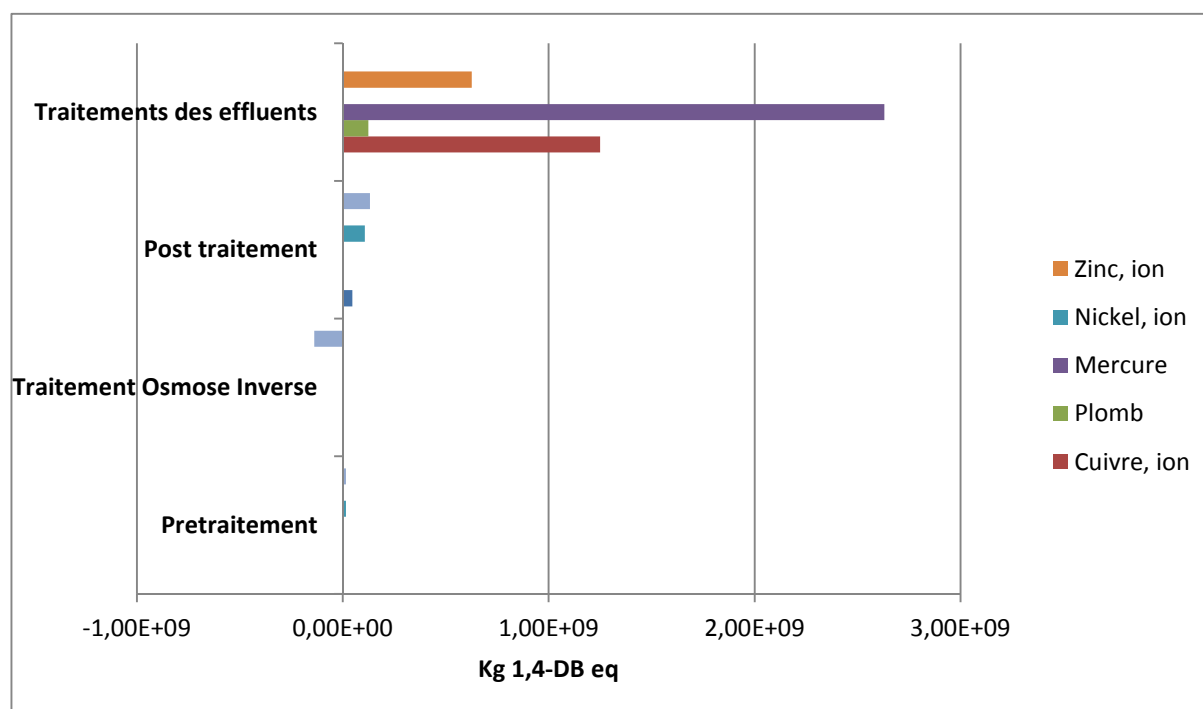


Figure 34: Contribution des substances émises dans l'écotoxicité marine

Tableau IX: Comparaison des contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement à l'écotoxicité marine

Métaux	Unité	Prétraitement	Traitement Osmose Inverse	Post traitement	Traitements des effluents
Cobalt	kg 1,4-DB eq	5,22E+06	4,69E+05	4,67E+07	0,00E+00
Cuivre	kg 1,4-DB eq	6,33E+05	1,05E+05	1,77E+06	1,25E+09
Plomb	kg 1,4-DB eq	9,24E+02	-1,42E+04	1,68E+03	1,25E+08
Mercure	kg 1,4-DB eq	2,92E+03	-7,54E+02	3,52E+04	2,63E+09
Nickel	kg 1,4-DB eq	1,64E+07	1,84E+06	1,07E+08	0,00E+00
Zinc	kg 1,4-DB eq	2,49E+05	1,44E+04	7,28E+05	6,27E+08
Substances restantes	kg 1,4-DB eq	1,52E+07	-1,38E+08	1,33E+08	0,00E+00
Total	kg 1,4-DB eq	1,82E+08	-1,40E+08	7,31E+08	2,6305E+13

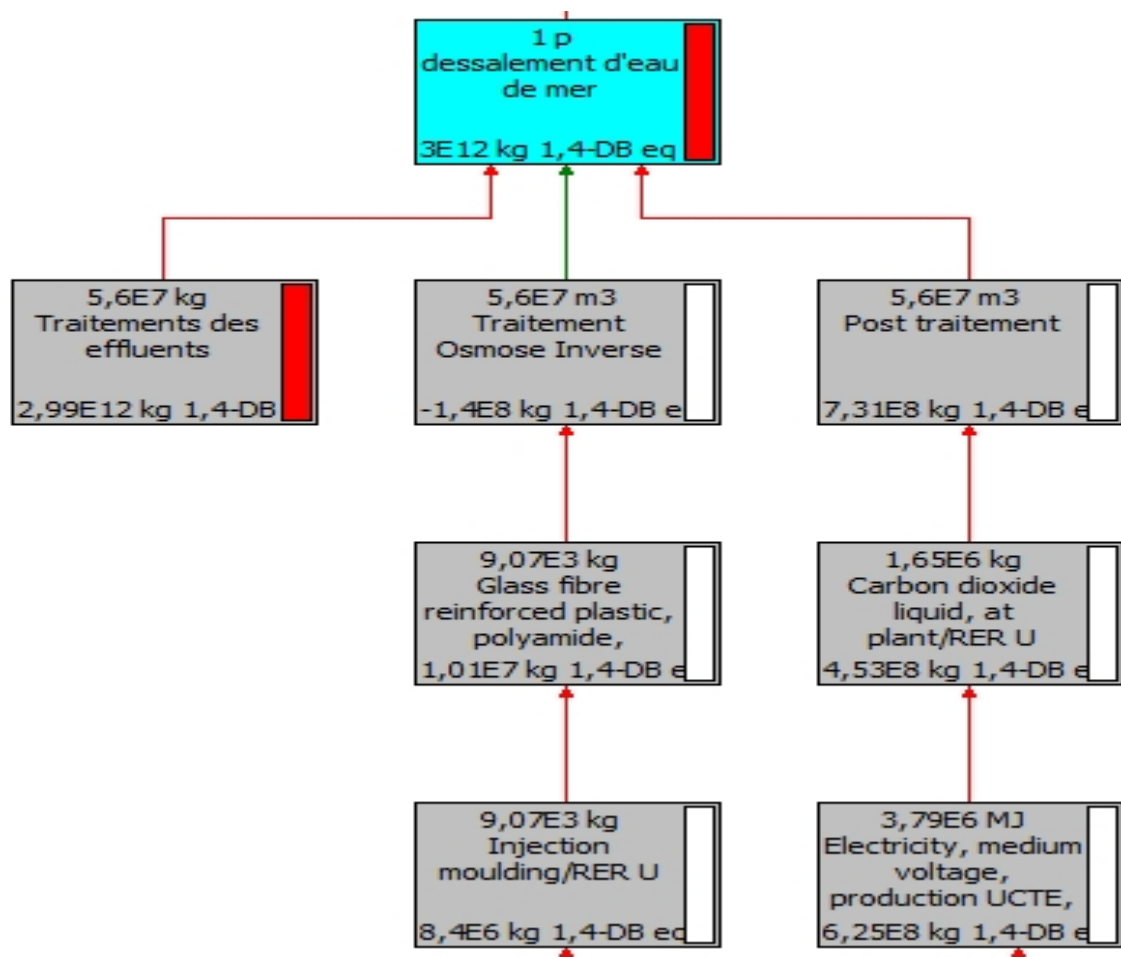


Figure 35: Arbre des processus contribuant dans l'écotoxicité marine

### VI.3. Contribution des substances émises à l'écotoxicité des sédiments marins

Dans cette classe d'impact, les sédiments marins sont considérés comme un compartiment récepteur des polluants transférés et diffusés à partir de la colonne d'eau. Le risque potentiel d'écotoxicité concerne donc les espèces marines qui peuvent être exposés aux concentrations même faibles des polluants dans les sédiments ou à proximité de ces derniers. On retrouve la même tendance que pour l'écotoxicité marine où les éléments traces métalliques émis à l'eau à la suite des traitements des effluents, ont les plus importants scores (Fig. 36). Lors de cette dernière étape de dessalement de l'eau de mer, le zinc enregistre un score potentiel de  $6,38E+08$  [kg 1,4-DB eq], suivi du mercure avec  $2,69E+08$  [kg 1,4-DB eq]. Les autres étapes ont des scores d'impact moins élevés et on retrouve surtout l'impact potentiel du Nickel en traitement par osmose inverse avec  $1,83E+06$  [kg 1,4-DB eq] et  $1,06E+08$  [kg 1,4-DB eq] en post traitement. Ceci est dû aux processus d'arrière-plan comme la production de dioxyde de carbone et de l'hypochlorite de sodium qui sont utilisés en tant que réactifs chimiques lors de cette étape de dessalement. Les valeurs négatives (Tab.10) (Fig.37) indiquent des impacts évités dans cette catégorie grâce à la récupération énergétique dans l'étape de traitement par osmose inverse.

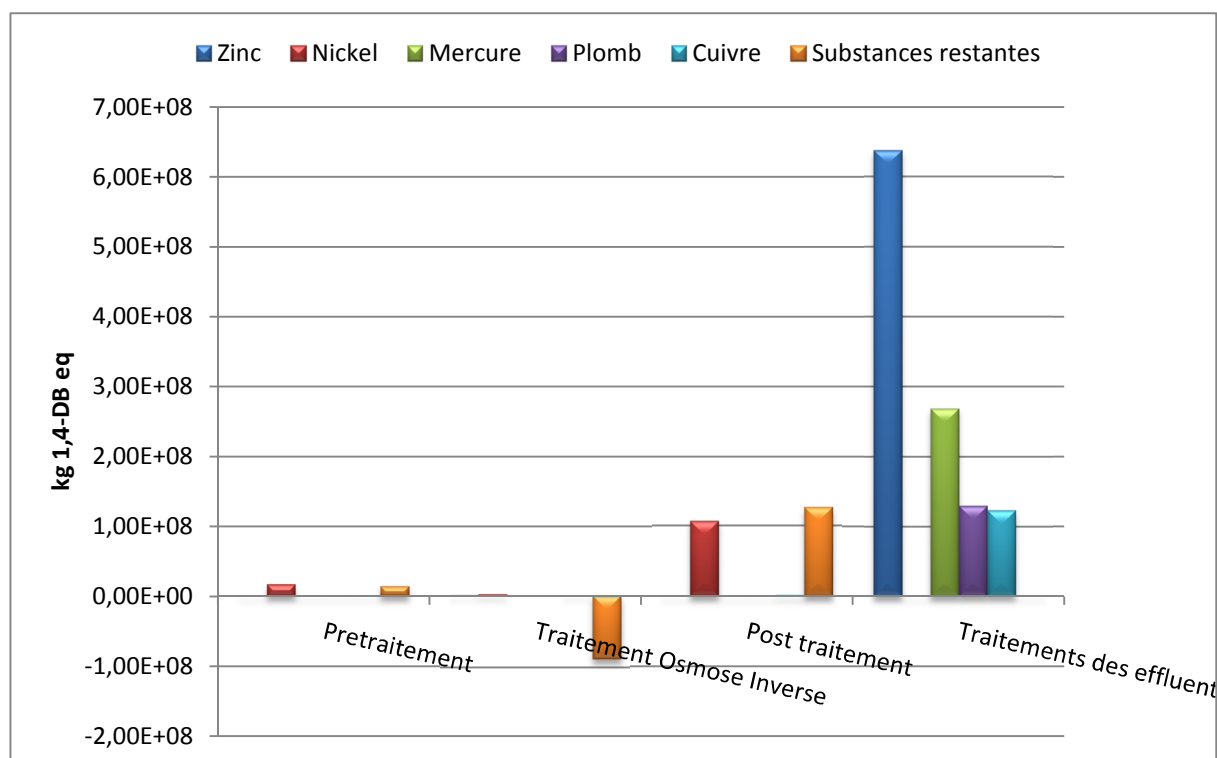


Figure 36: Contribution des substances émises dans l'écotoxicité des sédiments marins

Tableau X : Contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement à l'écotoxicité des sédiments marins

	Unité	Prétraitement	Traitement Osmose Inverse	Post traitement	Traitements des effluents
Zinc	kg 1,4-DB eq	2,54E+05	1,47E+04	7,44E+05	6,38E+08
Nickel	kg 1,4-DB eq	1,63E+07	1,83E+06	1,06E+08	0,00E+00
Mercure	kg 1,4-DB eq	2,99E+03	-7,70E+02	3,60E+03	2,69E+08
Plomb	kg 1,4-DB eq	9,57E+02	-1,48E+04	1,74E+03	1,30E+08
Cuivre	kg 1,4-DB eq	6,24E+05	1,03E+04	1,74E+06	1,23E+08
Substances restantes	kg 1,4-DB eq	1,38E+07	-8,89E+07	1,26E+08	0,00E+00
Total	kg 1,4-DB eq	1,45E+08	-8,86E+07	4,44E+08	2,69E+13

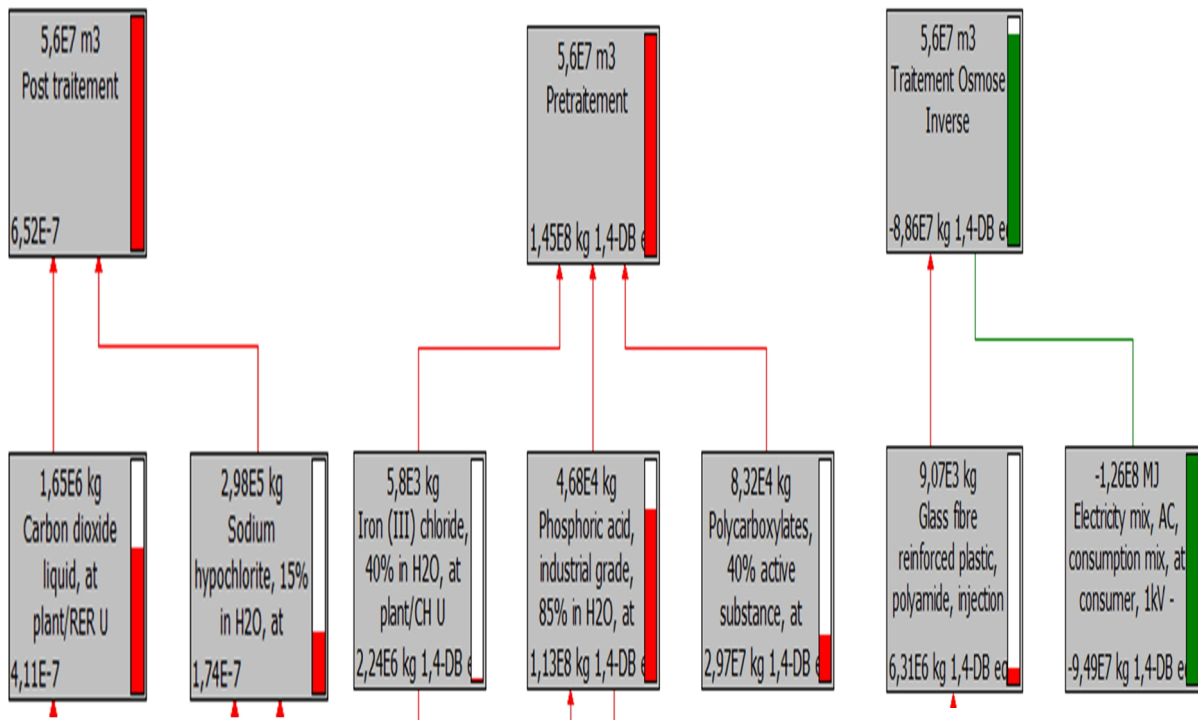


Figure 37: Arbre des processus contribuant dans l'écotoxicité des sédiments

**VI.4. Contribution des substances émises à la toxicité humaine**

Dans cette classe d'impact, l'exposition humaine aux éléments métalliques et hydrocarbures émises durant le cycle de vie du procédé de dessalement a été modélisée dans la méthode CML1000 en prenant en compte toutes les émissions locales en mer à partir des effluents et à l'air durant les différents processus d'arrière-plan de production des matériaux et réactifs chimiques utilisés. L'impact sur la santé humaine est considéré par une exposition via la chaîne alimentaire, et plus particulièrement la consommation des produits de la mer. Pour les émissions à l'air, ce sont les retombées atmosphériques sur la surface marine et leur transfert vers les organismes marins qui ont été comptabilisé. Ainsi, on retrouve l'impact de l'arsenic, le chrome VI et les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou PAH avec des scores de contribution plus élevés dans l'étape du post traitement, suivi par celle du prétraitement (Tab.11) (Fig.38). Par contre, pour les émissions à l'eau, ce sont surtout le cuivre, le plomb, le mercure et le molybdène émis localement lors de l'étape de traitement des effluents qui ont la contribution la plus élevée avec des scores allant de 4,99E+04 à 7,05E+05 [kg 1,4-DB eq].

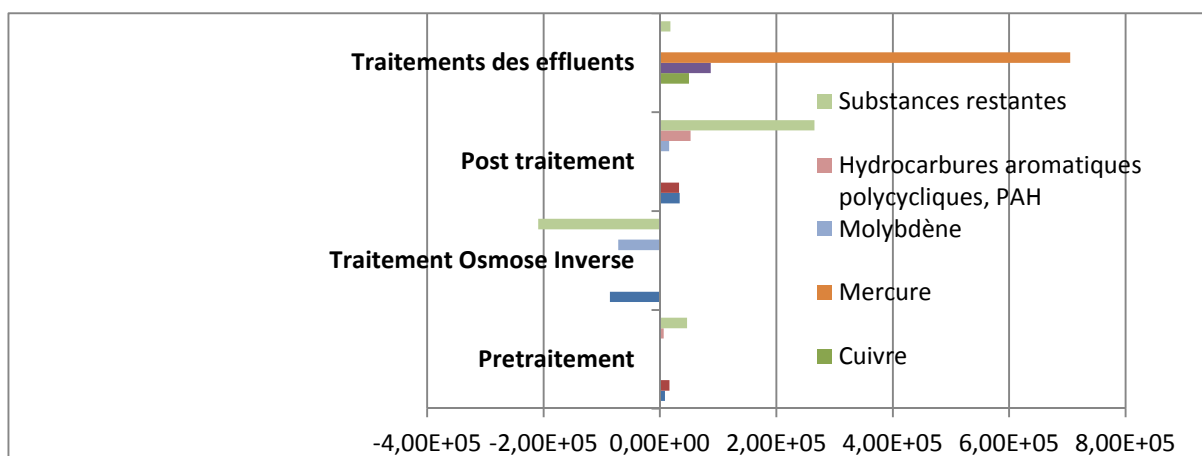


Figure 38: Contribution des substances émises à la toxicité humaine

Tableau XI : Contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement à la toxicité humaine

	Unité	Prétraitement	Traitement Osmose Inverse	Post traitement	Traitements des effluents	Compartiment
Arsenic	kg 1,4-DB eq	8,64E+03	-8,60E+04	3,39E+04		Air
Chrome VI	kg 1,4-DB eq	1,62E+04	2,81E+02	3,29E+04		Air
Cuivre	kg 1,4-DB eq	3,35E+00	6,02E-01	1,02E+01	4,99E+04	Eau
Plomb	kg 1,4-DB eq	7,91E+00	-1,57E+02	1,82E+01	8,73E+04	Eau
Mercure	kg 1,4-DB eq	1,95E+01	-3,81E+00	2,35E+02	7,05E+05	Eau
Molybdène	kg 1,4-DB eq	1,64E+03	-7,18E+04	1,56E+04		Eau
Hydrocarbures aromatiques polycycliques, PAH	kg 1,4-DB eq	6,34E+03	4,57E+02	5,29E+04		Air
Substances restantes	kg 1,4-DB eq	4,63E+04	-2,09E+05	2,66E+05	1,79E+04	
Total	kg 1,4-DB eq	1,18E+05	-3,66E+05	1,27E+06	1,15E+11	

**VI.5. Contribution des substances émises à l'eutrophisation**

Toutes les émissions émises contribuant à l'eutrophisation des eaux de surface qui ont été émises durant le cycle de vie du procédé de dessalement ont été prises en compte dans cette classe d'impact, y compris pendant la production des matériaux et des réactifs chimiques utilisés dans les différentes étapes. Cet impact potentiel est caractérisé dans la méthode CML 1000, en considérant l'état d'eutrophisation d'un écosystème basé sur le rapport de Riedfield et évalué par rapport à une substance de référence qui est le PO4. Au niveau de Fouka dans le littoral algérois, la contribution des émissions locales eutrophisantes est faible. Seul l'ammonium émis par le traitement des effluents participe avec un score de 1,85E+01 [kg PO4 eq]. La plus grande contribution dans cette catégorie revient à l'étape de post traitement avec un score total de 2,33E+03 [kg PO4 eq] dû surtout aux émissions d'ammoniac à l'air et de phosphate à l'eau durant la fabrication des réactifs chimiques utilisés (Fig.39 ; Tab.12)..

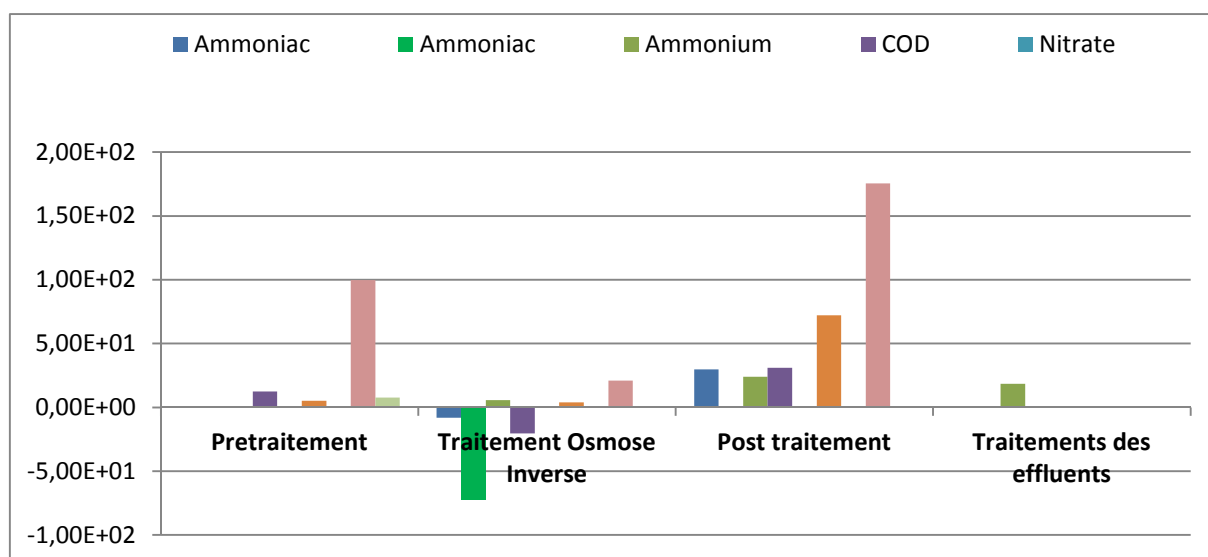


Figure 39: Contribution des substances émises à l'eutrophisation

Tableau XII : Contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement à l'eutrophisation

Substance	Unité	Compartiment	Pretraitement	Traitement Osmose Inverse	Post traitement	Traitements des effluents
Ammoniac	kg PO4 eq	Air	1,02E+00	-8,11E+00	2,99E+01	0,00E+00
Ammoniac	kg PO4 eq	Eau	0,00E+00	-7,26E+01	0,00E+00	0,00E+00
Ammonium	kg PO4 eq	Eau	5,65E-01	5,63E+00	2,41E+01	1,85E+01
COD	kg PO4 eq	Eau	1,23E+01	-2,04E+01	3,10E+01	0,00E+00
Nitrate	kg PO4 eq	Air	5,91E-04	1,02E-04	9,15E-03	0,00E+00
Nitrate	kg PO4 eq	Eau	5,08E+00	3,96E+00	7,21E+01	0,00E+00
Nitrite	kg PO4 eq	Eau	4,51E-03	1,07E-04	3,91E-02	0,00E+00
Phosphate	kg PO4 eq	Eau	9,98E+01	2,09E+01	1,76E+02	0,00E+00
Phosphore	kg PO4 eq	Eau	7,69E+00	8,03E-01	4,16E-01	0,00E+00
Total	kg PO4 eq		1,06E+03	-1,31E+03	2,33E+03	1,85E+01

**VI.6. Contribution des substances émises au réchauffement climatique**

Dans cette classe d'impact, tous les gaz à effet de serre émis durant le cycle de vie du procédé de dessalement et qui contribuent au réchauffement climatique à l'échelle globale sont pris en compte. Cet impact est caractérisé par rapport au CO<sub>2</sub> qui est pris comme substance de référence et dont les concentrations atmosphériques et le forçage radiatifs sont bien connus et modélisés à l'échelle mondiale. Ainsi, la participation de l'étape de traitement des effluents est absente puisqu'il n'y a aucune émission à l'air durant cette étape. La plus importante contribution revient à l'étape de post traitement avec le score du méthane qui est égal à 1,24E+05 [kg CO<sub>2</sub> eq], suivi par l'émission de l'hexafluorure de soufre avec un score de 1,13E+03[kg CO<sub>2</sub> eq]. Il faut souligner le rôle positif de la récupération d'énergie par le dispositif ERI dans l'étape de traitement par osmose inverse qui a permis d'éviter des émissions de CO<sub>2</sub> qui auraient participé avec un score de 4,70E+05 [kg CO<sub>2</sub> eq] dans le réchauffement climatique. Cet impact positif est montré avec des valeurs négatives sur le graphique et le tableau (Fig. 40; Tab.13).

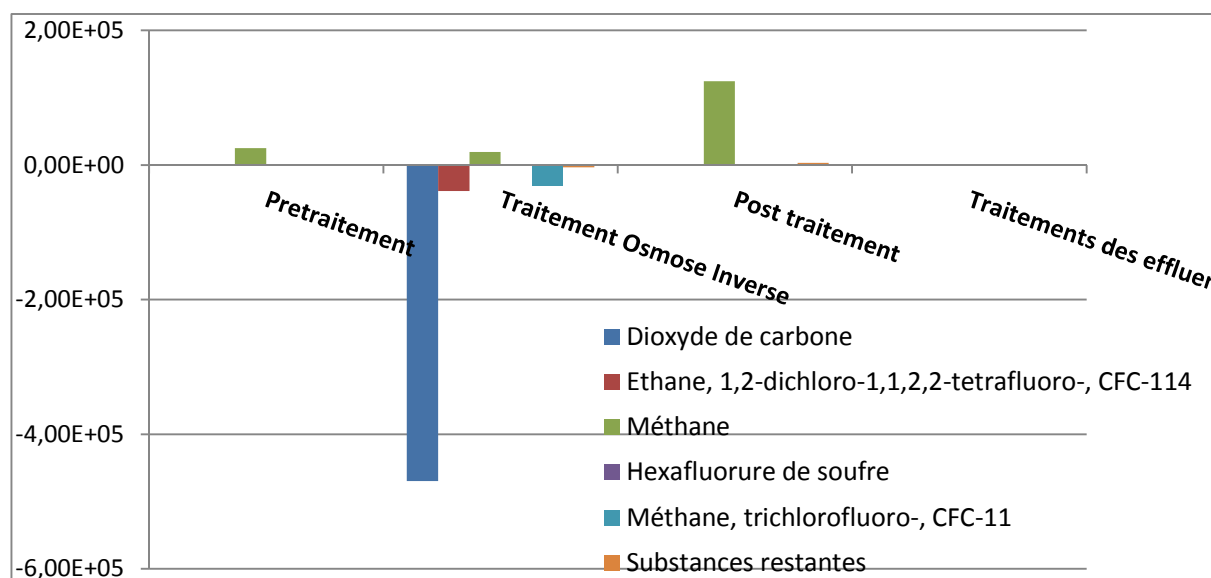


Figure 40: Contribution des substances émises au réchauffement climatique

Tableau XIII : Contributions des substances émises liées aux étapes de dessalement au réchauffement climatique

	Unité	Prétraitement	Traitement Osmose Inverse	Post traitement	Traitements des effluents
Dioxyde de carbone	kg CO2 eq	1,81E+02	-4,70E+05	4,01E+01	0,00E+00
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	kg CO2 eq	3,34E+00	-3,86E+04	5,39E+01	0,00E+00
Méthane	kg CO2 eq	2,49E+04	1,95E+04	1,24E+05	0,00E+00
Hexafluorure de soufre	kg CO2 eq	8,08E+01	5,25E+00	1,13E+03	0,00E+00
Méthane, trichlorofluoro-, CFC-11	kg CO2 eq	2,47E-04	-3,17E+04	6,63E-08	0,00E+00
Substances restantes	kg CO2 eq	4,40E+02	-3,38E+03	2,90E+03	0,00E+00
Total	kg CO2 eq	1,73E+05	-5,37E+06	3,50E+06	0,00E+00



# **Conclusion**

## **Conclusion et recommandations**

L'Analyse du Cycle de Vie appliquée au système de dessalement par osmose inverse de l'eau de mer au niveau de la station de Fouka sur le littoral algérois, a montré que c'est un outil pertinent qui a permis l'analyse globale et multicritères des impacts environnementaux de ce système en prenant en compte toutes les étapes, depuis le captage des eaux de mer jusqu'aux rejets en mer des effluents. Dans cette étude, l'effort de recherche a été concentré en premier lieu sur la qualité des données pour élaborer l'inventaire du cycle de vie de la station en se basant sur les conditions réelles du site et ses conditions environnementales. La collecte des données d'inventaire a été effectuée en suivant plusieurs modes. Le stage effectué à la station a permis de modéliser les étapes du procédé de dessalement avec les différents flux entrants et sortants du système en se basant sur les données techniques fournies par le site. Cependant, l'analyse des teneurs en polluants organiques et inorganiques dans les effluents n'a pas pu être effectuée faute de moyens et de temps. Ces données ont été estimées à partir des travaux publiés sur les stations de dessalement au niveau du littoral algérois, notamment les teneurs en métaux et hydrocarbures des eaux rejetées par les stations d'El Hamma et Cap Djinet.

Ensuite, toutes les données d'inventaires collectées ont été converties en impacts et dommages potentiels sur les cibles environnementales par le biais des modèles mathématiques de la méthode CML 1000 et ReCIPe. Les résultats d'analyse des impacts ont montré la prédominance de l'écotoxicité marine (eaux et sédiments) et la toxicité humaine comme classes d'impact majoritaires. Celles-ci sont dues aux émissions locales de métaux et des hydrocarbures contenues dans les eaux de saumure rejetées en mer. D'autres classes d'impact ont été moins importantes comme l'eutrophisation ou l'acidification, vu les teneurs relativement faibles des émissions d'éléments nutritifs par la station. Par ailleurs, la récupération d'énergie par le dispositif ERI lors des traitements des eaux de mer par osmose inverse, a permis de réduire l'impact Réchauffement climatique de la station. Ceci représente donc une performance à la fois environnementale et économique de la station de dessalement. Cette performance peut encore être optimisée par augmentation du rendement de la récupération énergétique jusqu'à 40%.

A ce stade d'analyse, il est prématuré de proposer un outil d'aide à la décision qui prend en charge toutes les options techniques et les axes d'amélioration du procédé de dessalement par osmose inverse, par manque de plusieurs données en particulier celles concernant la composition chimique des eaux rejetées ou la maintenance des équipements comme le renouvellement des filtres .

Néanmoins certaines recommandations peuvent être formulées :

- Dilution et dispersion des saumures rejetées (concentra salé) pour éviter un impact négatif brutal sur la vie marine.
- Mise à profit les progrès de la technologie de l'osmose inverse pour augmenter en continu la performance de dessalement dans la station de Fouka, par réduction de la consommation d'énergie et de ressources ; utilisation d'additifs chimiques anti-salissures ou anticorrosion moins nocifs et représentant moins de risque de toxicité pour la vie marine.
- Monitoring des rejets pour contrôler leur composition chimique et maîtriser leurs impacts sur les organismes marins et la qualité de l'eau de mer.
- Adaptation de solutions plus écologiques testées sur d'autres sites de dessalement dans le monde, surtout en Méditerranée, telles que l'aménagement de puits côtiers en Espagne qui permettent de réduire les impacts négatifs sur les écosystèmes littoraux liés au prétraitement des eaux marines grâce à une filtration naturelle par les sables (WWF, 2007).

### **Perspectives**

L'Analyse du Cycle de Vie du dessalement d'eau de mer en Algérie constitue une étude originale et représente également un intérêt scientifique du fait qu'il existe peu d'ACV sur les procédés de dessalement dans le monde. Toutefois, il y a un besoin d'affiner l'analyse et améliorer la caractérisation des impacts des émissions locales par une étude plus approfondie du devenir des polluants dans la colonne d'eau et les sédiments ainsi que leurs effets sur les espèces exposées du littoral algérien. Il serait donc intéressant de poursuivre les efforts afin de modéliser l'écotoxicité marine et la toxicité humaine via la chaîne alimentaire à l'aide de mesures in situ et des analyses au laboratoire qui sont adaptées aux conditions physico-chimiques de l'eau de mer et les caractéristiques géochimiques des écosystèmes littoraux, concernés par les impacts potentiels des sites de dessalement en Algérie.



# **Bibliographie**

## **BIBLIOGRAPHIE**

- ADEME. (2002)** Bilan environnemental sur les filières de recyclage : l'état des connaissances ACV. Coédition ADEME / BIO Intelligence Service, 40 p.
- Algérienne des eaux. (2014)** Algérienne des eaux, Dessalement. [En ligne] 2014.
- Apostol T., Rousseaux P., Navarro A. (2000)** Evaluation environnementale des systèmes énergétiques Application de l'analyse du cycle de vie (ACV) aux différentes filières de traitement des ordures ménagères avec valorisation énergétique. [Entropie.] , 2000, vol. 36, no 223, pp.48-55.
- Autrand O. (2007)** Le dessalement d'eau de mer: un avenir pour l'eau potable? ,Enasaia, Nancy,France
- Bare J., Norris G.A., Pennington D.W., Mckone T. (2003)** TRACI – The tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. Journal of Industrial Ecology 6(3-4), pp.49-78.
- Centre de développement des énergies renouvelables. ( 2014),** cder. [En ligne] 2014.
- Centre d'etudes et de recherche appliquées en urbanisme. (2006).**
- CMDPA. (2006)** Etude de la biodiversité de la baie de bousmail.
- Danis P. (2003)** Dessalement de l'eau de mer, Techniques de l'ingénieur, France
- Dawoud, M. A., Al Mulla, M. M. (2012).** Environmental Impacts of Seawater Desalination: Arabian Gulf Case Study. International Journal of Environment and Sustainability. Volume 1, Issue 3, 22-37.
- Derradji Z. (2009)** Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : solution pour l'alimentation en eau des villes cotières d'Algérie, HTE 142, pp. 78-86
- Drouiche., et al. (2011)** Reasons for the fast growing seawater desalination capacity in Algeria, Vol 25, 11, pp. 2743-2754.
- Finnveden G. (1999)** Methodological Aspects of Life Cycle Assessment of Integrated Solid Waste Management Systems. Resources, Conservation and Recycling 26, pp.173-187.
- Fouka. (2014)** Document interne de la station de dessalement Fouka
- Gaid K., Yvan T. (2007)** Le dessalement des eaux par osmose inverse: l'expérience de Véolia Water. *DESALINATION* ELSEVIER, Vol 203, pp. 1-14.
- Ghazi M., Duplay J., Khodja M. (2008)** Life-Cycle Assessment (LCA) of drilling mud in arid area. The 2008 SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production field, Nice, France, 15–17 April. SPE-111646 Paper, 13 p.

**Ghazi M. (2009)**

**Ghazi M. (2010)**

**Goedkoop M., Spriensma R. (2000)** The Eco-indicator 99: a damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology report, PRé Consultants, Pays Bas, 2000, 111 p.

**Guinee J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes, G., Kleijn, R., deKoning, A., van Oers, A., Sleeswijk, A.W., Suh, S., de Haes, H.A.U., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J., (2002)** Life Cycle Assessment, An Operational Guide to ISO Standard. University of Amsterdam.

**Hadouche I. (2003)** Étude de l'état de pollution de la baie de Bou- Ismail par les sels, Ismal, Algérie, pp. 13-17.

**Hauschild M., Potting J. (2004)** Spatial differentiation in life cycle impact assessment. The EDIP2003 methodology. Guidelines from the Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.

**Heijungs, R., Goedkoop, M., Struijs, J., Effting, J., Sevenster, M., Huppes, G., (2003).** Towards a life cycle impact assessment method which comprises category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report of the first project phase: design of the new method.

**ISO. (2006a)** ISO 14040 International Standard. In: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.

**ISO. (2006b)** ISO 14044 International Standard. In: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland.

**Jolliet O., Margni M., Charles R., Humbert S., Payet J., Rebitzer G., Rosenbaum R. (2003)** Impact 2002+ :A new Life Cycle Impact Assessment Methodology. International Journal of LCA 8 (6) pp.324-330.

**Kerfouf A., Benyahia M., Boutiba Z., (2010).** La qualité bactériologique des eaux de baignade du golfe d'Oran (Algérie littorale occidentale). Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 4, N°1: 22-31.

**Kettab A. (2001)** Les ressources en eau en Algerie: stratégies enjeux et vision, *Desalination*, Vol 136, pp. 25-33.

**Kohler A. (2006).** Environmental Assessment of industrial wastewater treatment processes and waterborne organic contaminant emissions. Thèse de doctorat, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 181p.

**LEM. (2006)** Etude de la courantologie de la baie de bousmail

**Mandri Y. (2011)** Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation, Université Lyon- France, 151p.

**Maurel A. (2006)** Dessalement de l'eau de mer et saumâtres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, Lavoisier Tec et Doc, France.

**Mehtougui M.S., Kerfouf A., Mehtougui F., Ardjoum S., Benyahia M. (2013).** Impacts du dessalement d'eau de mer sur les écosystèmes littoraux: cas de deux unités de l'ouest Algérien (Bousfer et Bouzedjar). European Journal of Scientific Research, ISSN: 1450-216X / 1450-202X Vol. 96 No 2 February, 2013, pp.245-249.

**Ministère des ressources en eau (2012)** Atelier pour la mise en œuvre des comptes et statistiques de l'eau.

**Ministere des ressources en eau (2014)** Ministère des ressources en eau. [En ligne] 2014.

**Morton, A. J., Callister, A. J., Wade, N. M. (1996).** Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes. Desalination. Volume 108, Issues 1-3, 1-10.

**Office national météorologique (2013)** Etude des conditions climatiques.

**Phil Dickie. (2007)** Making water. Desalination: option or distraction for a thirsty world? WWF's Global Freshwater Programme.53p.

**Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Fouka (2006).**

**Popkin R. (1967)** Desaliation: water for the world's future, Praeger publishers, pp 74-96.

**Remini B. (2010)** La problématique de l'eau en Algérie du nord, Larhyss journal, n° 08, pp. 27-46.

**Renou S. (2006)** Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 259 p.

**Rovel J. (2010)** *Dessalement de l'eau de mer*, Techniques de l'Ingénieur, J2700, Tome 2, Paris

**Ryding S.O., Steen B. (1991)** The EPS System. A PC-based System for Development and Application of Environmental Priority Strategies in Product Design - From Cradle to Grave. Gothenburg, IVL-report nr B 1022.

**SETAC (1997)** Life Cycle Impact Assessment: The state of the Art, 2<sup>nd</sup> edition (Eds): Barnthouse, L., Fava, J., Humphreys, K., Hunt, R., Laibson, L., Noesen, S., Norris, G., Owens, J., Todd, J., Vigon, B., Weitz, K., Young, J.

**Snc-Lavalin (2006)** Etude géotechnique du site d'étude

**Steen B. (1999)** A systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000 - General system characteristics, Chalmers, University of Technology, CPM Report 1999:4.

**Suh Y.J., Rousseaux P., (2001)** An LCA of alternative wastewater sludge treatment scenarios. Resources, Conservation and Recycling 00 (2001) 00–000, 10 p.

**Tata-Ducru F . (2006)** Dessalement de l'eau de mer: bilan des dernières avancées technologiques , Agence Francaise de développement , France.

**UNEP. (2003)** United Nations Environment Programme (UNEP) - Dessalement de l'eau de mer en méditerranée : évaluation et lignes directrices - 135p.

**UNEP. (2008)** United Nations Environment Programme (UNEP) - Desalination : Resource and Guidance Manual for Environmental Impact Assessments - 168p.

**Wenzel H., Hauschild M., Alting L. (1997).** Environmental assessment of industrial products - Volume 1 - Tools and case studies. London, Chapman & Hall.

**WWF . ( 2013)** World Wildlife Fund. [En ligne] 2013.

# **Annexes**

Possibilité de définir  
Des paramètres

The screenshot displays the SimaPro software interface. On the left is a navigation pane with categories like 'Processus', 'Étape du produit', and 'Paramètres'. The main area is divided into a table of processes and a detailed description of the selected process.

Nom	Unité	Type de déchets	P
Tap water {Europe without Switzerland} tap water production, microstrainer treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {Europe without Switzerland} tap water production, ultrafiltration treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {Europe without Switzerland} tap water production, underground water with chemical treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {Europe without Switzerland} tap water production, underground water with disinfection   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {Europe without Switzerland} tap water production, underground water without treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {GLO} tap water production, seawater reverse osmosis, conventional pretreatment, baseline module, single stage   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {GLO} tap water production, seawater reverse osmosis, conventional pretreatment, enhance module, single stage   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {GLO} tap water production, seawater reverse osmosis, conventional pretreatment, enhance module, two stages   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {GLO} tap water production, seawater reverse osmosis, ultrafiltration pretreatment, baseline module, single stage   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {GLO} tap water production, seawater reverse osmosis, ultrafiltration pretreatment, enhance module, single stage   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {GLO} tap water production, seawater reverse osmosis, ultrafiltration pretreatment, enhance module, two stages   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {RoW} tap water production, artificial recharged wells   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {RoW} tap water production, conventional with biological treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {RoW} tap water production, direct filtration treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {RoW} tap water production, microstrainer treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {RoW} tap water production, ultrafiltration treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {RoW} tap water production, underground water with chemical treatment   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei
Tap water {RoW} tap water production, underground water with disinfection   Alloc Def, U	kg	non défini	Ei

The detailed description for the selected process reads: "This dataset represents the production of 1 kg of drinking water (potable water) from seawater reverse osmosis with conventional pretreatment using enhanced membrane modules and a two stages configuration. An enhanced membrane is a polyamide membrane of 40.9 m2 of active membrane surface and maximum operating pressure of 1200 psig (83 bars). Two stages allow higher recovery rate, but requires higher operation pressure. Thus, only enhance membrane can be used with this configuration. This dataset is based on published literature and on modeling. Reverse osmosis system was modeled using typical seawater characterisation, two stages enhance module membrane system with recovery rate of 55% and energy recovery by pressure exchanger of 40%. It includes water intake of seawater, conventional pretreatment, reverse osmosis filtration, recarbonisation and emissions of brine to sea. The modeling of the reverse osmosis treatment was done using the ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) system design software from Dow Chemical. Recarbonation and post-treatment of permeate water are modeled with the Rothberg, Tamburini and Winsor (RTW) Model for Corrosion Control and Process Chemistry 4.0 by Tetra Tech. Typical seawater characterisation for salinity of 3.5% (w/w) was used for modeling. Composition is based on literature (Open University 1989). Open University (1989). Seawater: its composition, properties and behaviour. Gerry Bearman Editor, Pergamon Press, 165p.

Production volume: 3190000000000 kg  
Included activities start: From intake of seawater. This dataset includes energy and material inputs for the different water treatment stages: chlorination, coagulation, flocculation,

Navigateur de  
SimaPro

Explorateur des  
méthodes

Explorateur des  
bases de données

Ensemble des données  
disponibles

Description de la donnée

Figure 1: Interface principale de SimaPro

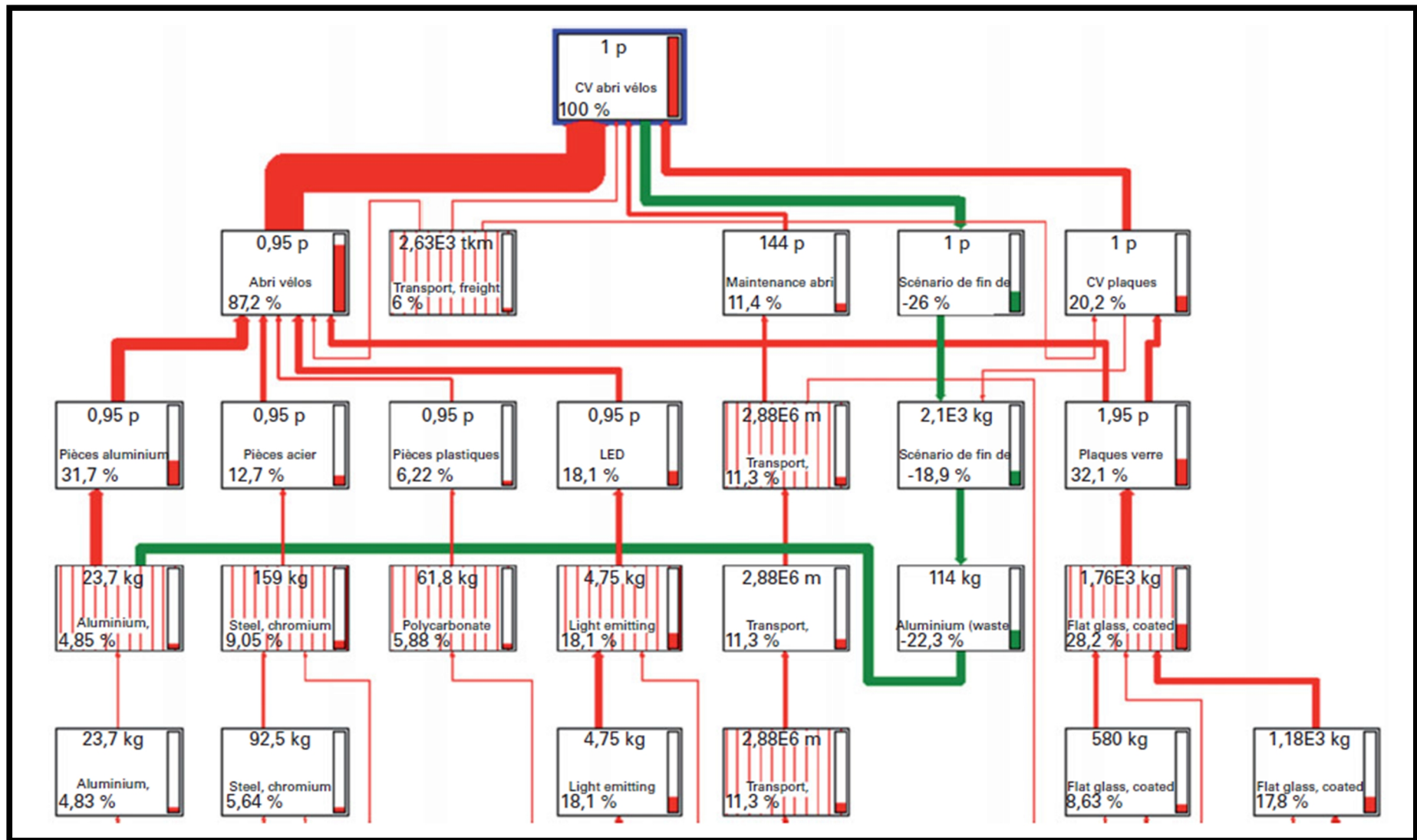


Figure 2: Exemple de réseau créé à partir des fiches (ici : il s'agit d'un résultat d'impacts sur l'indicateur changement climatique)