

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique  
Laboratoire Matériaux de Génie Civil et Environnement  
Mémoire de Master en Hydraulique

# Analyse multicritère sous système d'information géographique pour le benchmarking des stations d'épuration à boue activée

**ZIGHEM Mohamed El Amine**

Sous la direction de  
**Dr. A.LEFKIR codirigée par Mme. A.HAMRICHE**

Présenté et soutenu publiquement le **06 juillet 2017**

## Composition du Jury :

Président	Mr A.BERMAD	Professeur	ENP
Promoteurs	Mr A.LEFKIR	M.C.A	ENSTP
	Mme A.HAMRICHE	Doctorante	ENP
Examineurs	S.BEGHERIFA	Doctorant	ENP
	Mr K.HOUARI	MAA	Université de Boumerdes

**ENP 2017**



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique  
Laboratoire Matériaux de Génie Civil et Environnement  
Mémoire de Master en Hydraulique

**Analyse multicritère sous système  
d'information géographique pour le  
benchmarking des stations d'épuration  
à boue activée**

**ZIGHEM Mohamed El Amine**

Sous la direction de  
**Dr. A.LEFKIR codirigée par Mme. A.HAMRICHE**

Présenté et soutenu publiquement **le 06 juillet 2017**

**Composition du Jury :**

Président	Mr A.BERMAD	Professeur	ENP
Promoteurs	Mr A.LEFKIR	M.C.A	ENSTP
	Mme A.HAMRICHE	Doctorante	ENP
Examineurs	S.BEGHERIFA	Doctorant	ENP
	Mr K.HOUARI	MAA	Université de Boumerdes

**ENP 2017**

## ملخص

من أجل حسن اتخاذ القرارات و الاجراءات اللازمة و الصحيحة في تسيير محطات معالجة مياه الصرف الصحي و كذا المقارنة بينها ارتائنا عمل مشروع تخرج يساعد في اتخاذ هذه القرارات و الاوامر و هذا بانشاء قاعدة بيانات رقمية لكافة المحطات و هذه الاخيرة تسمح للمستخدم استخراج عدة معلومات و ذلك عن طريق دمج القاعدة البيانية على شكل خرائط للتمكن من عمل مقارنة بين المحطات و كذلك اخضعنا هذه القاعدة البيانية لفحص احصائي لبعض المعلومات المخزنة فيها لمعرفة مدى فعالية محطات معالجة مياه الصرف الصحي و فعلا هذه المذكرة سمحت لنا باستخراج عدة معلومات بدقة كبيرة على مواقع المحطات و المعلومات المتعلقة بها و جعل القاعدة البيانية شيئا ملموسا نتحكم بها بحرية مطلقة و هذا باستخدام نظام المعلومات الخغرافية.

**الكلمات المفتاحية :** نظام المعلومات الخغرافية, محطات معالجة مياه الصرف الصحي, الخرائط الموضوعية, قاعدة البيانات.

## Abstract

In order to have good decision-making and the righteous procedures in the wastewater treatment plants' management and to compare between two or more of those plants, we decided to dedicate a graduation project that will help in decision-making by creating a database for all the wastewater treatment plants that will let us extract different kinds of information by representing the database as maps that will help compare between the plants. We also made some statistical tests to some of the data existing in our database to see how efficient those treatment plants are. This work turned out to be an accurate way of extracting information about the plants' sites and some other data related to it and made the database something more concrete and easily manipulated by using the geographical information system.

**Keywords:** GIS, waste water treatment plant, thematic mapping, database.

## Résumé

Afin de contribuer à l'amélioration de la gestion des STEP et de les comparer entre elles, on a recueilli les données de différents paramètres mesurés au niveau des STEP ce qui nous a permis de constituer une base de données afin d'extraire différents types d'informations importantes à propos des stations d'épuration. Cette base de données sera présentée sous forme de cartes permettant une comparaison entre les stations. Nous avons appliqué quelques tests statistiques à certaines données recueillies afin d'évaluer l'efficacité de ces stations d'épuration. A travers ce travail on a essayé d'établir un SIG et des cartes thématiques qui regroupent un nombre important d'information relatives aux stations d'épuration et qui représentent un système de gestion automatisé permettant d'analyser, de trier et de traiter avec un maximum de rapidité et d'efficacité des informations de plus en plus désordonnées dans le but de ressortir avec un choix pertinent des meilleures stations d'épuration.

**Mots clés :** SIG, STEP, Carte thématique, base de données.

# Dédicace

*Je dédie ce travail à mes très chers parents, dont le sacrifice, la tendresse, l'amour, la patience, le soutien, l'aide et l'encouragement sont l'essentiel de ma réussite. Sans eux je ne serai pas à ce stade aujourd'hui.*

*A mes frères et mes sœurs pour leur soutien continue durant mon parcours.*

*A ma grande famille.*

*Et à tous mes amis.*

# Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce travail.

Ce travail que nous présentons a été effectué sous la direction de Monsieur A.Lefkir, Maitre de Conférences A à l'Ecole nationale supérieure des travaux publiquee et Madame A. HAMRICHE Doctorante à l'Ecole Nationale Polytechnique, qui ont suivie de très près ce travail, pour leur orientation pédagogique dans l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons à remercier Monsieur Abdelmalek BERMAD Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury de ma soutenance. Que Monsieur S.BEGHERIFA, Doctorant à l'Ecole nationale Polytechnique et Mr K.HOUARI, MAA à l'Université de Boumerdes, soient convaincus de ma sincère reconnaissance pour avoir accepté d'examiner et de critiquer ce mémoire.

Enfin, je tiens à remercier tous les gens qui ont contribué à ma réussite tout au long de mon parcours d'étude.

# Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale

9

## 1 Système d'information géographique

10

- 1.1 Définition d'un SIG . . . . . 10
- 1.2 Les composants d'un SIG . . . . . 10
- 1.3 Les principales fonctions . . . . . 11
  - 1.3.1 Saisie . . . . . 11
  - 1.3.2 Manipulations . . . . . 11
  - 1.3.3 Stockage et Gestion . . . . . 11
  - 1.3.4 Analyses et Interrogations . . . . . 11
  - 1.3.5 Visualisation et Rendement . . . . . 12
- 1.4 Le rôle de la cartographie thématique . . . . . 12
- 1.5 Démarche suivi pour la création des Couches sous ArcGis . . . . . 12
- 1.6 Conclusion . . . . . 15

## 2 Cartographie générale des stations d'épuration en Algérie

16

- 2.1 Introduction . . . . . 16
- 2.2 Répartition des STEP selon les organismes de gestion . . . . . 16
- 2.3 Répartition des STEP selon les procédés de traitement . . . . . 17
- 2.4 Répartition des STEP selon le nombre de station,la capacité (E-HB) et le débit nominal . . . . . 19
- 2.5 Répartition des STEP selon l'E-HB . . . . . 20
- 2.6 Combinaison (E-HB et Procédés d'épuration) . . . . . 21
- 2.7 Répartition des STEP selon l'age . . . . . 22
- 2.8 Conclusion . . . . . 23

## 3 Evaluation et classement des stations d'épuration par l'analyse hiérarchique

24

- 3.1 Introduction . . . . . 24
- 3.2 La démarche suivie pour l'AHP : . . . . . 24
  - 3.2.1 Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique . . . . . 24
  - 3.2.2 Comparaison par paires des éléments . . . . . 25
  - 3.2.3 Déterminer les priorités . . . . . 27
  - 3.2.4 Evaluer la cohérence des jugements . . . . . 28
  - 3.2.5 Synthétiser les priorités . . . . . 28
- 3.3 Représentation des résultats de l'AHP appliqué aux stations à boues activées 28
- 3.4 Représentation des résultats de l'AHP appliqué aux stations à boues acti-  
vées de capacité entre 100000-1000000 E-HA . . . . . 31

*TABLE DES MATIÈRES*

3.5	Représentation des résultats de l'AHP appliqué aux stations à boues acti- vées de capacité entre 10000-100000 E-HA . . . . .	35
3.6	Conclusion . . . . .	37
	<b>Bibliographie</b>	<b>40</b>

# Liste des tableaux

2.1	Statistique des STEP selon le procédés d'épuration . . . . .	17
2.2	Pourcentage des STEP selon l'organisme de gestion . . . . .	19
2.3	Répartition des STEP selon l'E-HB . . . . .	20
2.4	Répartition des STEP selon l'E-HB et le procédé d'épuration . . . . .	21
2.5	Répartition des STEP selon l'âge des STEP . . . . .	22
3.1	Echelle verbale des jugements . . . . .	26
3.2	La matrice B des jugements relatifs du niveau (1) . . . . .	27
3.3	La matrice des jugements relatifs du niveau (2) . . . . .	27
3.4	Les valeurs de l'indice de cohérence selon le nombre d'éléments comparés . . . . .	28

# Table des figures

1.1	Les composants d'un SIG . . . . .	10
1.2	Interface du site (Global Administrative Areas) . . . . .	12
1.3	Boite de dialogue ajout du tableau . . . . .	13
1.4	Boite de dialogue ajout des coordonnées . . . . .	14
1.5	Affichage des données cartographiques . . . . .	14
1.6	Organisation des Tables . . . . .	15
2.1	Répartition des STEP l'E-HB . . . . .	16
2.2	Répartition des STEP selon la procedés de traitement . . . . .	17
2.3	Répartition des STEP selon les procédés d'épuration . . . . .	18
2.4	Répartition des STEP à boues activées . . . . .	18
2.5	Répartition des STEP selon le nombre, la capacité et le débit nominal . . . . .	19
2.6	Répartition des STEP selon la capacité . . . . .	20
2.7	Répartition des STEP selon l'Eq Hab . . . . .	21
2.8	Répartition des STEP l'E-HB . . . . .	22
2.9	Âge des STEP . . . . .	22
2.10	Répartition des STEP selon l'âge de mise en service . . . . .	23
3.1	Structure hiérarchique d'un problème selon la méthode AHP . . . . .	25
3.2	Note des STEP selon l'efficacité épuratoire . . . . .	29
3.3	Note des STEP selon la charge polluante admise à la STEP . . . . .	29
3.4	Note des STEP selon le respect des normes de rejet . . . . .	30
3.5	Note des STEP selon la consommation énergétique . . . . .	30
3.6	Classement des stations d'épuration . . . . .	31
3.7	Note des STEP selon l'efficacité épuratoire . . . . .	32
3.8	Note des STEP selon la charge polluante admise à la STEP . . . . .	32
3.9	Note des STEP selon le respect des normes de rejet . . . . .	33
3.10	Note des STEP selon la consommation énergétique . . . . .	34
3.11	Classement des stations d'épuration . . . . .	34
3.12	Note des STEP selon l'efficacité épuratoire . . . . .	35
3.13	Note des STEP selon la charge polluante admise à la STEP . . . . .	36
3.14	Note des STEP selon le respect des normes de rejet . . . . .	36
3.15	Note des STEP selon la consommation énergétique . . . . .	37
3.16	Classement des stations d'épuration . . . . .	37

# Introduction Générale

L'eau est une ressource précieuse qu'il faut impérativement préserver, protéger et gérer afin qu'elle ne soit pas gaspillée ou menacée. On doit donc faire face aux divers problèmes qui la menacent de manière économique, efficace et durable. La pollution des eaux est actuellement l'un des plus grands problèmes du siècle, auxquels s'attachent de nombreux pays dans le monde afin de le résoudre.

Le traitement des eaux usées est donc un des services indispensables pour le développement d'une société. Il soutient l'économie, favorise le bien-être des individus et la protection de l'environnement. Le fonctionnement efficace de ce service est d'une importance primordiale pour permettre leur croissance et une réalisation significative de leurs plans et objectifs.

L'intérêt porté par les pouvoirs publics algériens au traitement des eaux usées s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation des stations d'épurations qui sont au nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation et qui atteindra 272 unités à la fin du quinquennat 2015-2019.

Cependant, on remarque que ces ouvrages de traitement ne sont pas bien gérés dans notre pays. Chose qui a poussé notre réflexion au choix de ce thème.

A travers ce travail on utilisera le principe d'analyse hiérarchique (une méthode d'aide de décision développée par Saaty) pour établir des indicateurs de performance qui nous aideront à classer les STEP du territoire national par rapport à la pollution admise, rendement épuratoire, respect de l'environnement et à la consommation énergétique. Ce classement indiquera par la suite, les STEP les mieux classées qui ont un fonctionnement optimale. Après cette étape on va essayer d'établir un SIG et des cartes thématiques qui regroupent et résument les résultats de cette méthode en les visualisant géographiquement.

Dans le présent document le premier chapitre est consacré à une introduction aux systèmes d'informations géographiques et cartes thématiques.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des différentes stations d'épuration avec quelques statistiques disponibles en Algérie avec des représentations de ces statistiques sur des cartes thématiques.

Le troisième chapitre est réservé à l'évaluation et au classement des stations d'épuration par l'analyse hiérarchique.

Enfin, une conclusion générale et perspectives mettra l'accent sur l'importance des résultats obtenus avec des recommandations suggérées et qui seront nécessaires pour une bonne amélioration de fonctionnement des STEP.

# Chapitre 1

## Systeme d'information géographique

### 1.1 Définition d'un SIG

Un Système d'Informatique Géographique est un système informatique capable de :

- Assembler
- Ordonner
- Manipuler
- Analyser
- Afficher

des informations avec des références géographiques, c'est à dire,des données identifiables par leur emplacement,Un SIG inclus également :

Les données rentrant dans le système.

L'opérateur du système.

### 1.2 Les composants d'un SIG

- Opérateurs.
- Données géographiques.
- Hardware :PC,Scanneur,GPS...
- Procédures :Gestion de bases de données,Analyse spatiales...
- Logiciel :QGIS,ESRI ArcGis...



FIGURE 1.1: Les composants d'un SIG

## 1.3 Les principales fonctions

### 1.3.1 Saisie

Convertir les données (papiers, bases de données, données de terrains, GPS, télédétections, couches de données géographiques existantes, etc) dans un format informatique convenable lisible par les SIG.

### 1.3.2 Manipulations

Les sources d'informations peuvent être d'origines très diverses d'où la nécessité de les harmoniser afin de pouvoir les exploiter conjointement (c'est le cas des échelles, du niveau de détail, des conventions de représentation...) Ces manipulations peuvent être temporaires afin de se coordonner au moment de l'affichage ou bien être permanentes pour assurer alors une cohérence définitive des différentes sources de données[1]

### 1.3.3 Stockage et Gestion

#### Pour les petits projets

On peut stocker les informations géographiques comme de simples fichiers.

#### Pour les grands projets

Quand le volume de données grandit et que le nombre d'utilisateurs de ces mêmes informations devient important, il est essentiel d'utiliser un SGBD (Système de Gestion de Bases de Données) pour faciliter le stockage, l'organisation et la gestion des données.

### 1.3.4 Analyses et Interrogations

Peut être vue comme « la visualisation et la combinaison des données géographiques a fin de dériver de nouvelles informations ». Ils existent 2 types d'analyses :

#### Interrogations

- Celles qui servent à extraire des informations d'un SIG
- Celles qui servent à poser une question à un SIG qui va répondre avec des informations spatiales ainsi qu'avec des information sur les alias.
- Disposant d'un SIG, il devient donc possible de réaliser des interrogation, i.e. poser des questions (simples, ou nécessitant des analyses telle que l'analyse de proximité) au SIG.

#### Geoprocessing (Analyse spatiale)

Analyses des relations spatiales entre objets dans la même couches ou dans plusieurs couches de données et créer de nouvelles données.

Toute opération SIG qui donne naissance à de nouvelles données. Elles peuvent être : Simples e.g. copier des données et les coller dans un autre emplacement. Avancées :réaliser plusieurs opérations sur différentes couches de données pour créer des éléments nouveaux et uniques.

Extraction : créer un sous ensemble d'éléments d'une couche de données sur la base de l'étendue géographique d'un autre élément.

Superposition : combinaison de 2 ou plusieurs couches de données.

Proximité : trouver des zones proches à un élément

### 1.3.5 Visualisation et Rendement

Pour de nombreuses opérations géographiques, la finalité consiste à bien visualiser des cartes et des graphes. Une carte vaut mieux qu'un long discours. La carte est en effet un formidable outil de synthèse et de présentation de l'information.

## 1.4 Le rôle de la cartographie thématique

La cartographie a pour rôles l'enregistrement de l'information, le traitement de celle-ci et sa communication. Qu'elle soit quantitative ou qualitative, l'information collectée doit être simple de consultation et exhaustive. Elle doit ensuite être mise en ordre, discrétisée, catégorisée. Puis le choix de l'image à transmettre est fait en fonction du public visé, une représentation cartographique efficace résidant dans le temps nécessaire pour mémoriser correctement l'information. Quelque soit le public, plus l'image est simple, plus le message est facile à mémoriser.

La cartographie thématique est une façon très efficace d'exprimer des idées et de repérer des phénomènes qui ne le seraient pas, ou plus difficilement, par d'autres approches.[2]

## 1.5 Démarche suivi pour la création des Couches sous ArcGis

Pour la création du SIG, il suffit de suivre les étapes suivantes :

- Télécharger la carte de l'Algérie à partir du site "www.gadm.org".(File geodatabases)

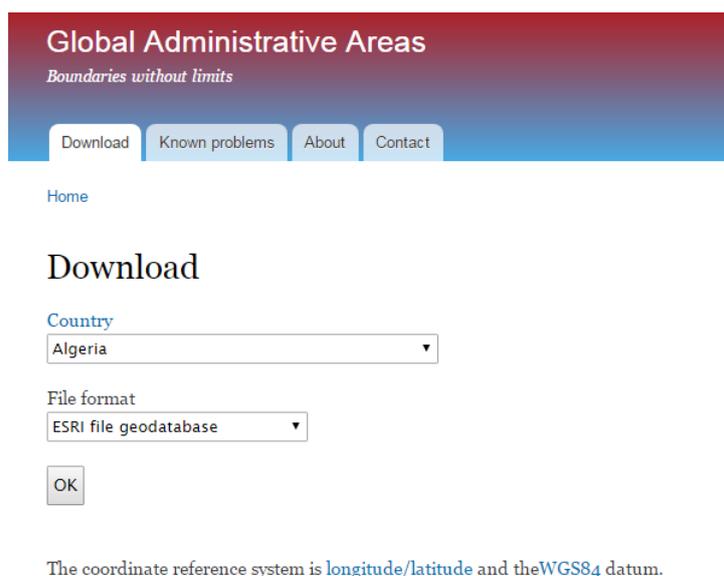


FIGURE 1.2: Interface du site (Global Administrative Areas)

- Lancer ArcCatalog[13]

- Nous cliquons sur connect to foldere et nous choisisons le fichier télécharger "carte Algerie"
- Importer les deux tableaux (Fiche technique et Bilan mensuel) sous format Excel

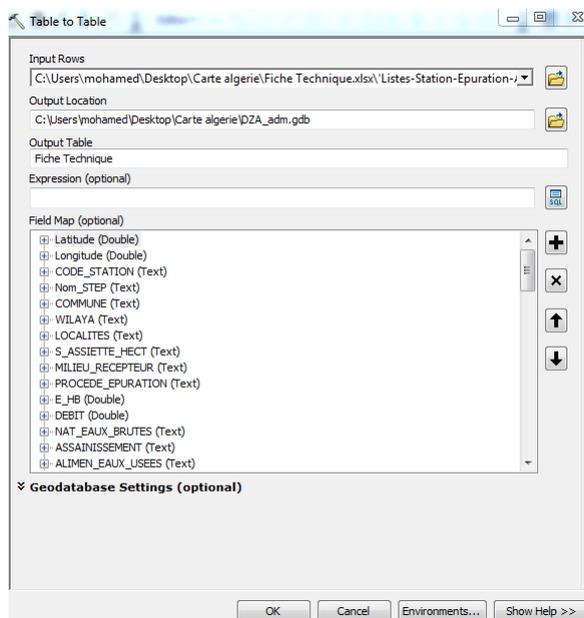
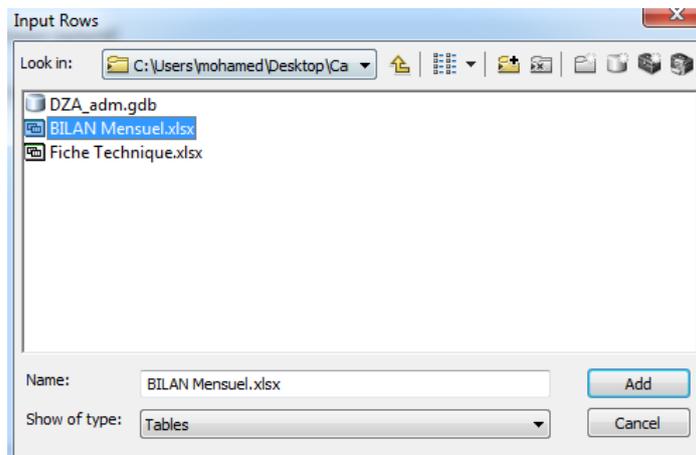


FIGURE 1.3: Boite de dialogue ajout du tableau

- Créer la couche des points à partir de la fiche technique , nous cliquons sur "Display XY data".

**Remarque** La carte , que nous avons importé , est géo-référenciée, donc les informations de localisation géographique sont chargées automatiquement lorsque nous ouvrons la carte. Le système géographique choisi est un système de coordonnées Géographiques (Word, WGS-1984)

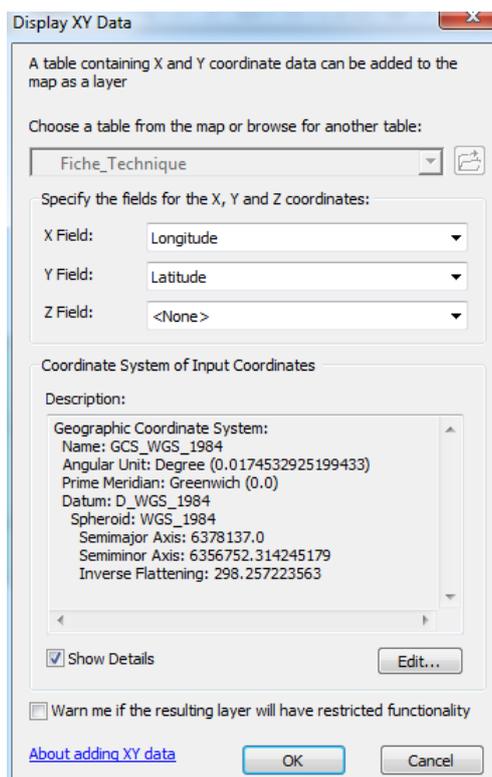


FIGURE 1.4: Boite de dialogue ajout des coordonnées

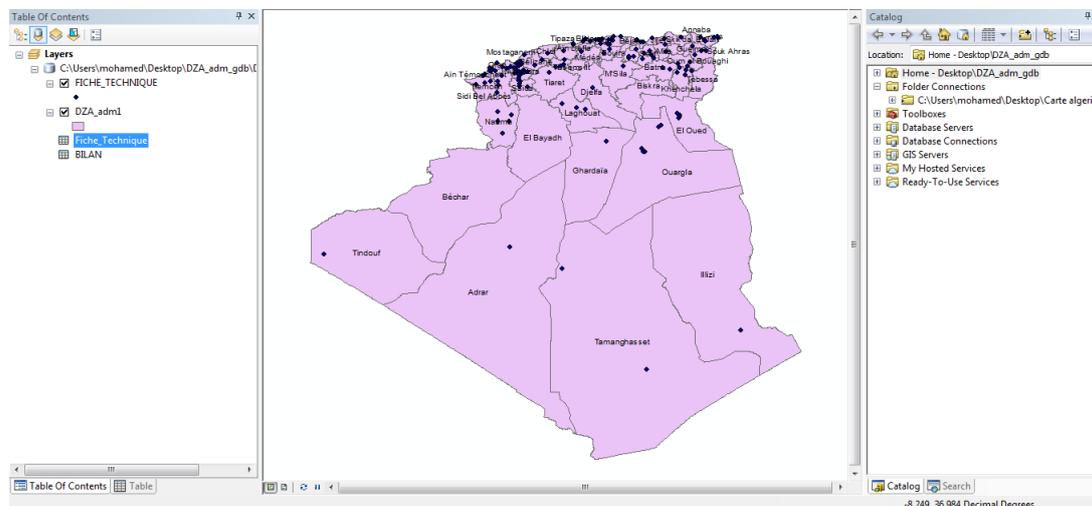


FIGURE 1.5: Affichage des données cartographiques

## L'organisation générale des tables

La figure 1.6 l'organisation générale de nos tables attributaires, donc en premier lieu on a cherché les coordonnées géographiques des stations d'épuration, ensuite on attribué un code spécifique à chacune d'elle pour pouvoir les reconnaître facilement et servir de jointure pour la seconde table, on a analysé toutes les informations relatives au données générales, aux bases de dimensionnement, aux procédés de traitement, aux principales contraintes afin de faciliter leur intégration dans notre base de données.

La seconde table contient les données mensuelles relatives à l'auto surveillance (paramètres d'eaux brutes et eaux épurées), au prétraitement (déchet, sables), suivi des boues (quantités des boues produite, matière sèches...) et l'énergie consommée.

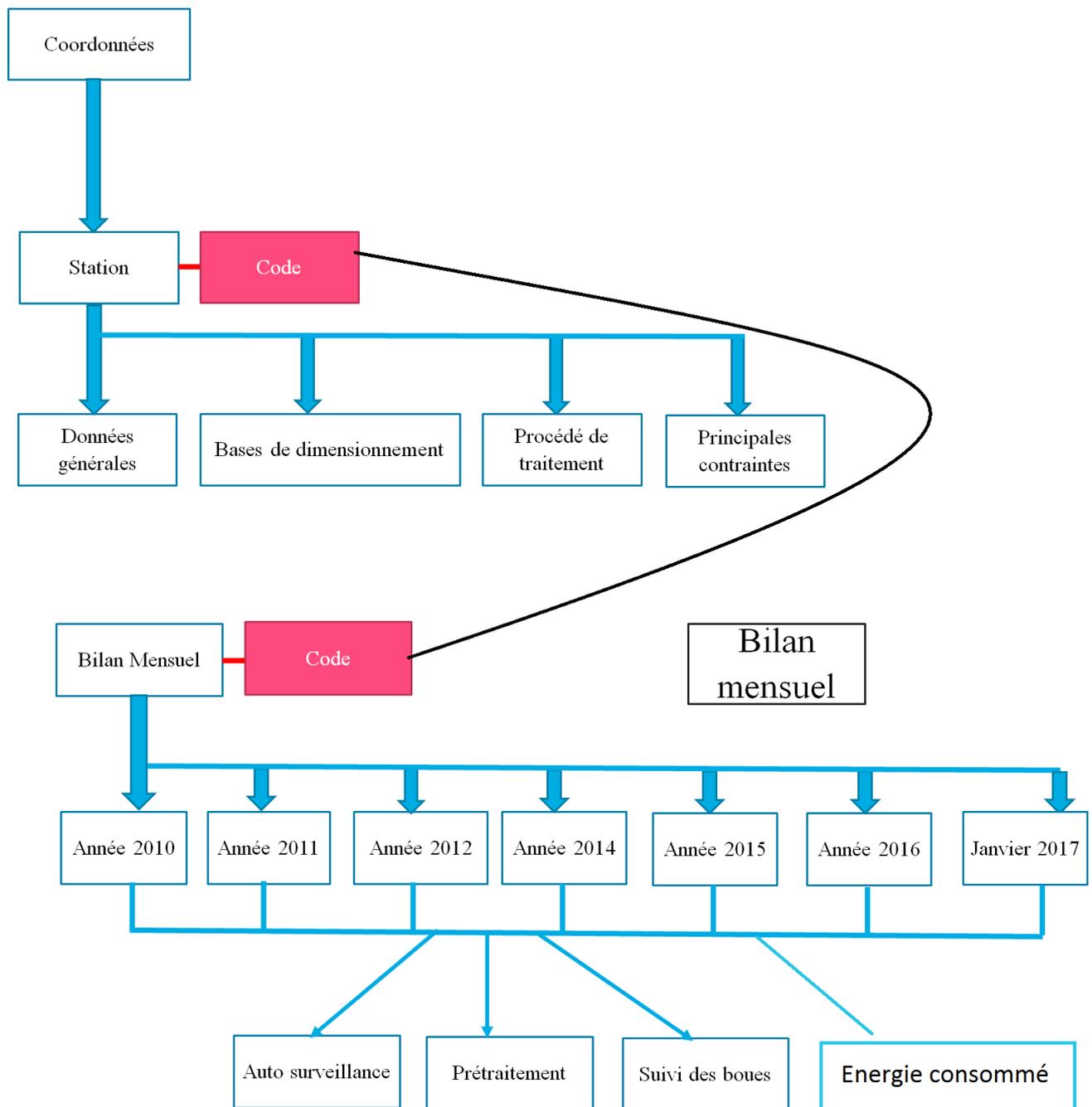


FIGURE 1.6: Organisation des Tables

## 1.6 Conclusion

Le SIG est donc un outil de cartographie informatique et d'analyses spatiales, il opère en l'occurrence comme un outil d'aide à la décision et pour faciliter la gestion dans plusieurs domaines.

# Chapitre 2

## Cartographie générale des stations d'épuration en Algérie

### 2.1 Introduction

Dans ce chapitre on présente les différents stations d'épuration gérées par les différents établissements dédiés à cet effet. Des statistiques de données recueillies permettant d'avoir une vision générale sur les types de procédés d'épuration utilisés sont illustrées.

### 2.2 Répartition des STEP selon les organismes de gestion

Les stations d'épuration en Algérie sont gérées par quatres organismes :

- ONA
- SEAAL
- SEOR
- SEACO

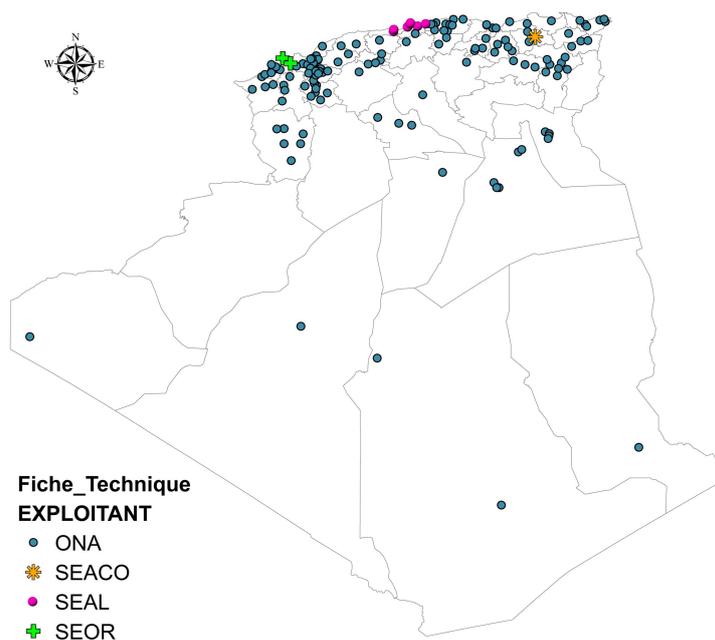


FIGURE 2.1: Répartition des STEP l'E-HB

## 2.3 Répartition des STEP selon les procédés de traitement

Les procesés d'épuration qui utilisées en Algérie sont :

- A FILTRES PLANTES
- BOUES ACTIVEES
- BOUES ACTIVEES (AEROMOD) A FAIBLE CHARGE
- BOUES ACTIVEES A FAIBLE CHARGE
- BOUES ACTIVEES A FAIBLE CHARGE avec Denitrification –Dephosphatation
- BOUES ACTIVEES A MOYENNE CHARGE
- BOUES ACTIVEES A TRES FAIBLE CHARGE
- BOUES ACTIVEES A TRES FAIBLE CHARGE (Aeration prolongee)
- BOUES ACTIVEES : Oxydation alternee (a faible charge)
- LAGUNAGE AERE
- LAGUNAGE NATUREL
- OXYLAG : Lagunage Aéré par insufflation d'air
- TRAITEMENT PAR PLANTES
- MONOBLOK

Le tableau 2.1 et la figure 2.2 présentent la répartition des 147 Stations d'épuration selon le procédé d'épuration :

TABLE 2.1: Statistique des STEP selon le procédés d'épuration

PROCEDE	N des STEP	Pourcentage%
BOUES ACTIVEES	73	49%
A FILTRES PLANTES	3	2%
LAGUNAGE AERE	27	19%
Monobloc	1	1%
LAGUNAGE NATUREL	43	29%

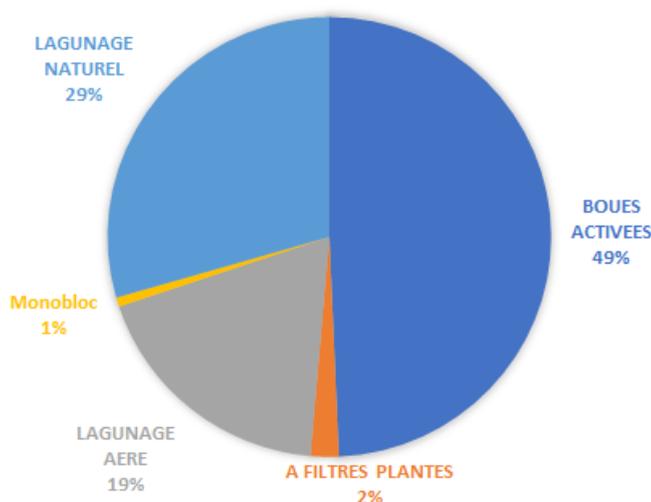


FIGURE 2.2: Répartition des STEP selon la procedés de traitement

La moitié des stations d'épuration qui existent en ALGERIE sont à boues activées, l'autre moitié est répartie entre lagunage naturel et aéré, alors que les STEP à filtres plantés et monobloc représente uniquement 3 %.

La carte 2.3 représente la répartition des STEP selon les procédés d'épuration.

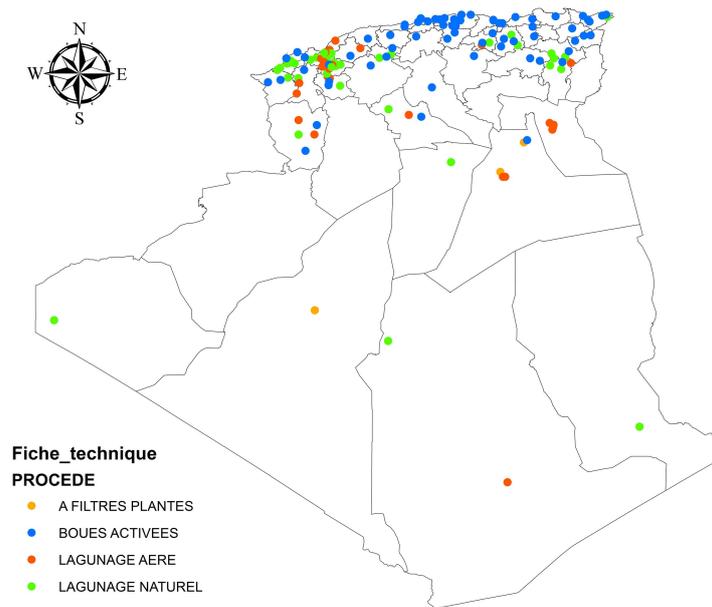


FIGURE 2.3: Répartition des STEP selon les procédés d'épuration

On remarque que la moitié des stations d'épuration étudiées sont à boues activées, ces dernières sont concentrées au Nord du pays parce qu'elles nécessitent une surface assez petite. L'autre moitié est répartie entre le lagunage naturel et aéré. On les trouve dans les haut-plateaux et le sud du pays parce qu'elles nécessitent une surface assez petite. Nous remarquons, entre autre, que les stations à filtres plantés sont négligeables. Dans la carte suivante on représente la répartition des stations à boues activées

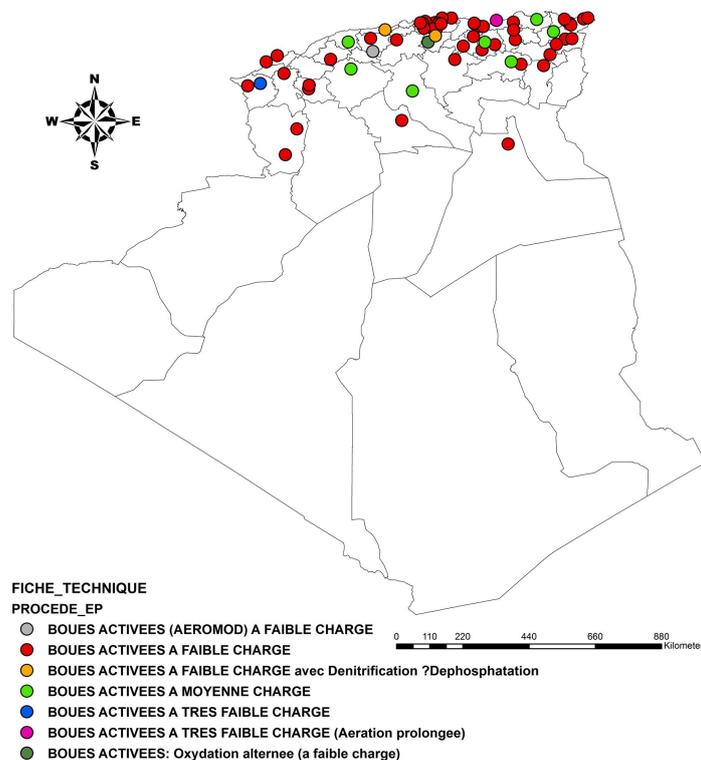


FIGURE 2.4: Répartition des STEP à boues activées

La figure montre que la majorité des stations à boues activées sont à faible charge parce que les eaux usées épurées dans ce cas sont des eaux domestiques et par conséquent, elles contiennent de faibles charges de pollution.

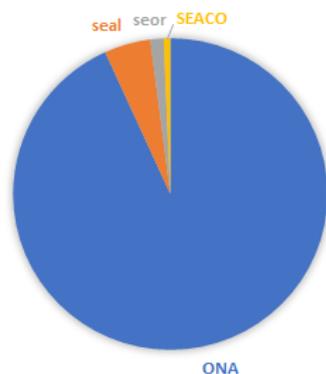
## 2.4 Répartition des STEP selon le nombre de station, la capacité (E-HB) et le débit nominal

Le tableau 2.2 représente la répartition des stations d'épuration selon le nombre de station gérées par différents organismes, Selon leur équivalent habitant et le débit nominal épuré par chaque organisme.

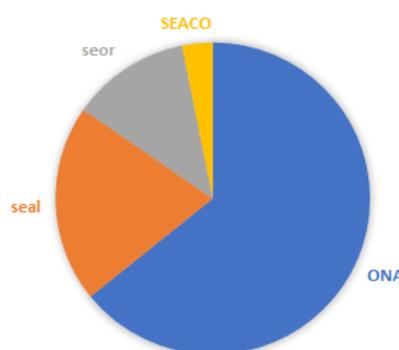
TABLE 2.2: Pourcentage des STEP selon l'organisme de gestion

Organisation	N STEP	%	Eq-hab	%	Q nominale ( $m^3/j$ )	%
ONA	137	93.20	9 187 862	64.17	1 408 902	67.35
SEAAL	7	4.76	2 930 000	20.46	313 800	15.00
SEOR	2	1.36	1 750 000	12.22	300 000	14.34
SEACO	1	0.68	450 000	03.14	69 120	03.3

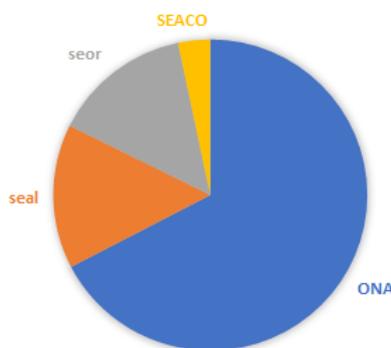
L'ONA gère le plus grand nombre de stations en ALGERIE (93.20 %). La plus grande station en ALGERIE est la station de BARRAKI , ca capacité est 1,8 M d' E-HB , celle-ci est gérée par la SEAAL.



(a) Répartition des STEP selon l'organisme de gestion



(b) Répartition des STEP selon la capacité (Eq-hab)



(c) Répartition des STEP selon le débit nominal épuré ( $m^3/j$ )

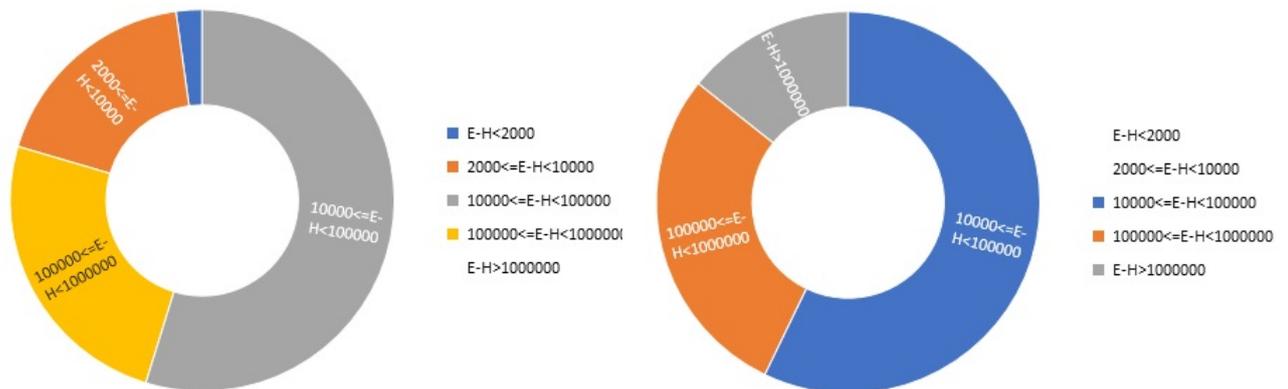
FIGURE 2.5: Répartition des STEP selon le nombre, la capacité et le débit nominal

## 2.5 Répartition des STEP selon l'E-HB

Le tableau 3.3 et la figure 2.6 représente la répartition des STEP selon l'équivalent habitant qui est un paramètre important dans la comparaison entre la capacité des stations.

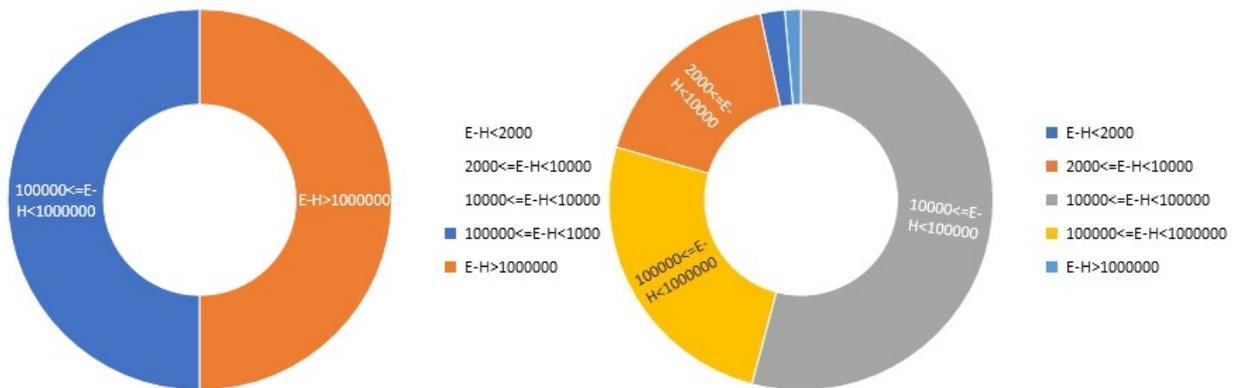
TABLE 2.3: Répartition des STEP selon l'E-HB

	$E-H < 2\ 000$	$[2\ 000 ; 10\ 000]$	$[10\ 000 ; 100\ 000]$	$[100\ 000 ; 1M]$	$Eq-H \geq 1M$
ONA	3	25	75	34	0
SEAAL	0	0	4	2	1
SEOR	0	0	0	1	1
SEACO	0	0	0	1	0
TOT	3	25	79	38	2
%	2 %	17 %	54 %	25 %	1 %



(a) Répartition des STEP selon la capacité (Eq-hab)ONA

(b) Répartition des STEP selon la capacité (Eq-hab)SEAAL



(c) Répartition des STEP selon la capacité (Eq-hab)SEOR

(d) Répartition des STEP selon la capacité (Eq-hab)TOTALE

FIGURE 2.6: Répartition des STEP selon la capacité

On remarque que la majorité des stations sont dimensionnées pour un équivalent habitant de 10 000 jusqu'à 100 000 E-HB (54 %), et que les plus grandes stations ( $E-HB > 1\ 000\ 000$ ) en Algérie sont gérées par la SEAAL et La SEOR.

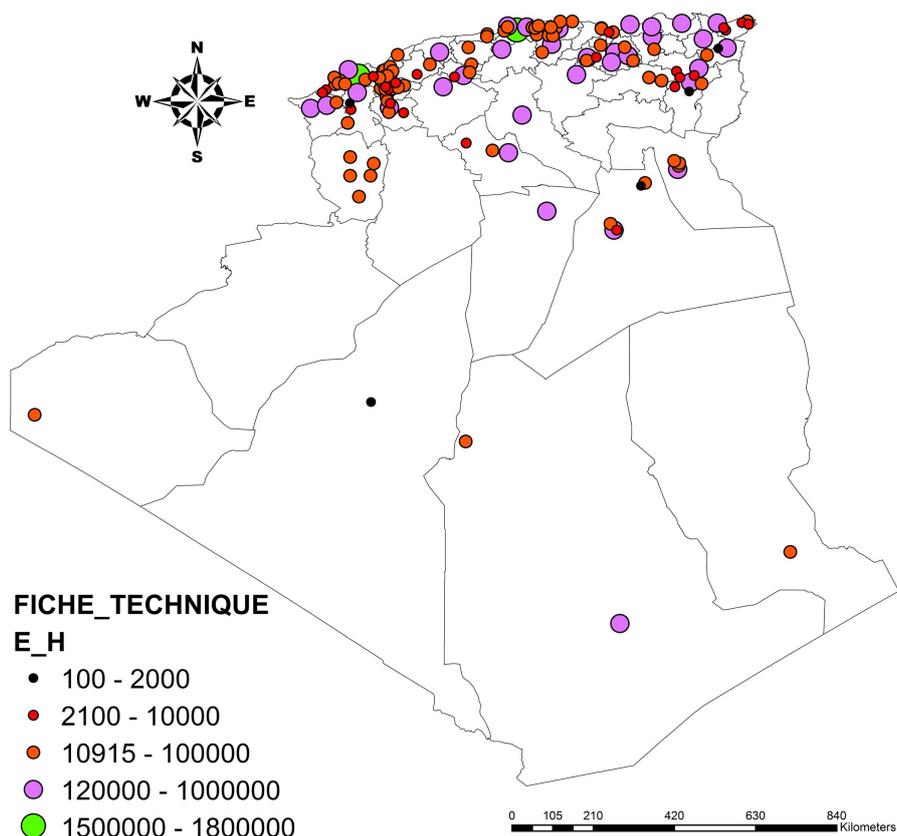


FIGURE 2.7: Répartition des STEP selon l'Eq Hab

On remarque que les plus grandes stations d'épuration sont localisées au nord du pays par contre le Sahara ne comporte que très peu de stations qui sont toutes de petites tailles, cela est dû à la faible population de cette zone.

## 2.6 Combinaison (E-HB et Procédés d'épuration)

Le tableau 2.4 représente la répartition des STEP selon l'E-HB et leurs procédés d'épuration

TABLE 2.4: Répartition des STEP selon l'E-HB et le procédé d'épuration

	$\text{Eq-Ha} < 2.10^3$	$[2.10^3 ; 10^4]$	$[10^4 ; 10^5]$	$[10^5 ; 10^6]$	$\text{Eq-Ha} \geq 10^6$
Boues Activées	0	5	32	34	2
A Filtres Plantés	2	0	1	0	1
Lagunage Aéré	0	3	21	3	1
Lagunage Naturel	1	16	25	1	1
Monobloc	0	1	0	0	0

On remarque que les stations de type boues activées sont dimensionnées pour une capacité de traitement supérieure à 10 000 E-HB (68 stations) par contre les stations de type lagunage naturel et aéré sont dimensionnées pour une capacité inférieure à 10 000 E-HB (66 stations). Les figures ci-dessous représentent la répartition des STEP entre la combinaison de l'âge des stations et le procédé d'épuration.

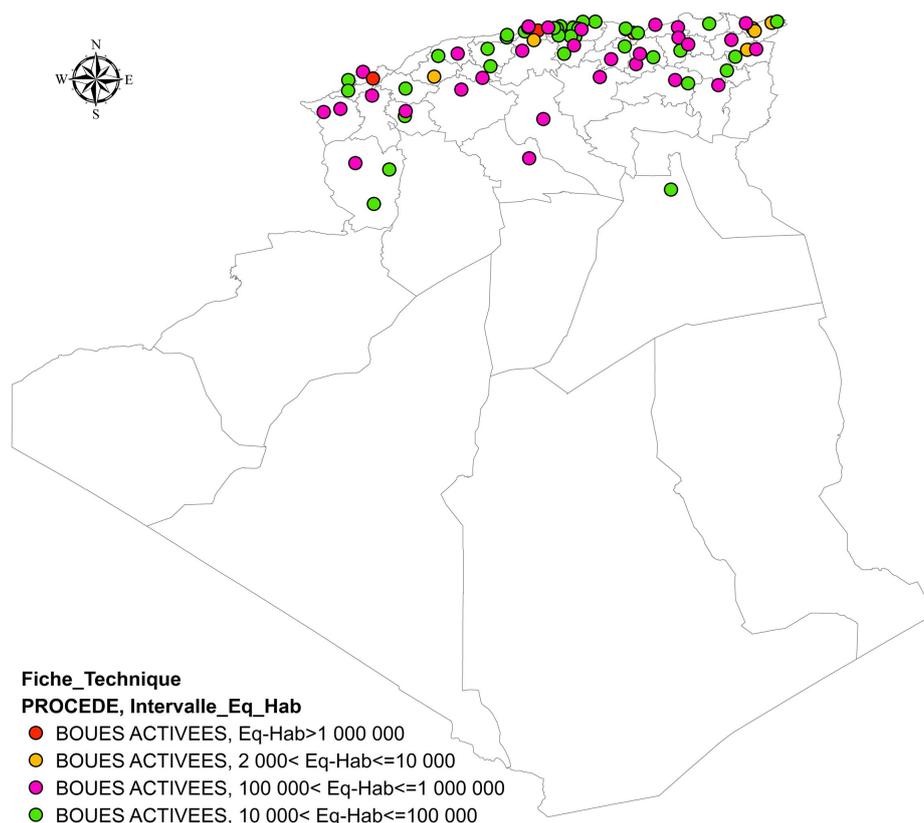


FIGURE 2.8: Répartition des STEP l'E-HB

## 2.7 Répartition des STEP selon l'âge

Le tableau 2.5 et les figures 2.9 et 2.10 représentent la répartition des STEP selon l'âge.

TABLE 2.5: Répartition des STEP selon l'âge des STEP

	Age<5ans	5≤Age<10ans	10≤Age<20ans	20≤Age<30ans	Age≥30ans
Nombre	34	57	47	7	2

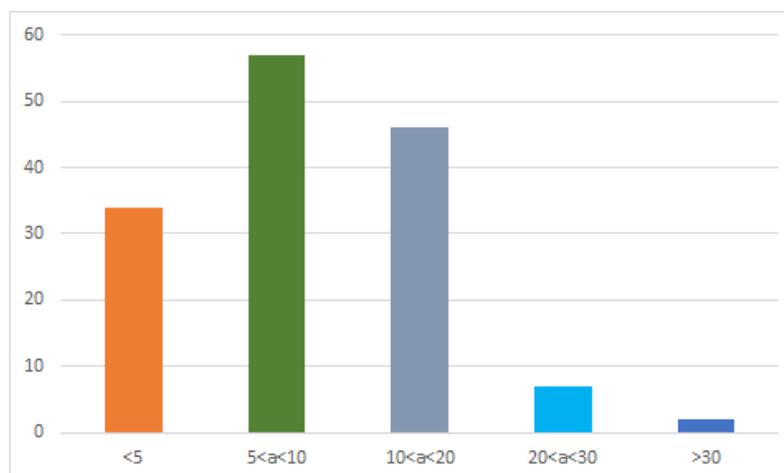


FIGURE 2.9: Âge des STEP

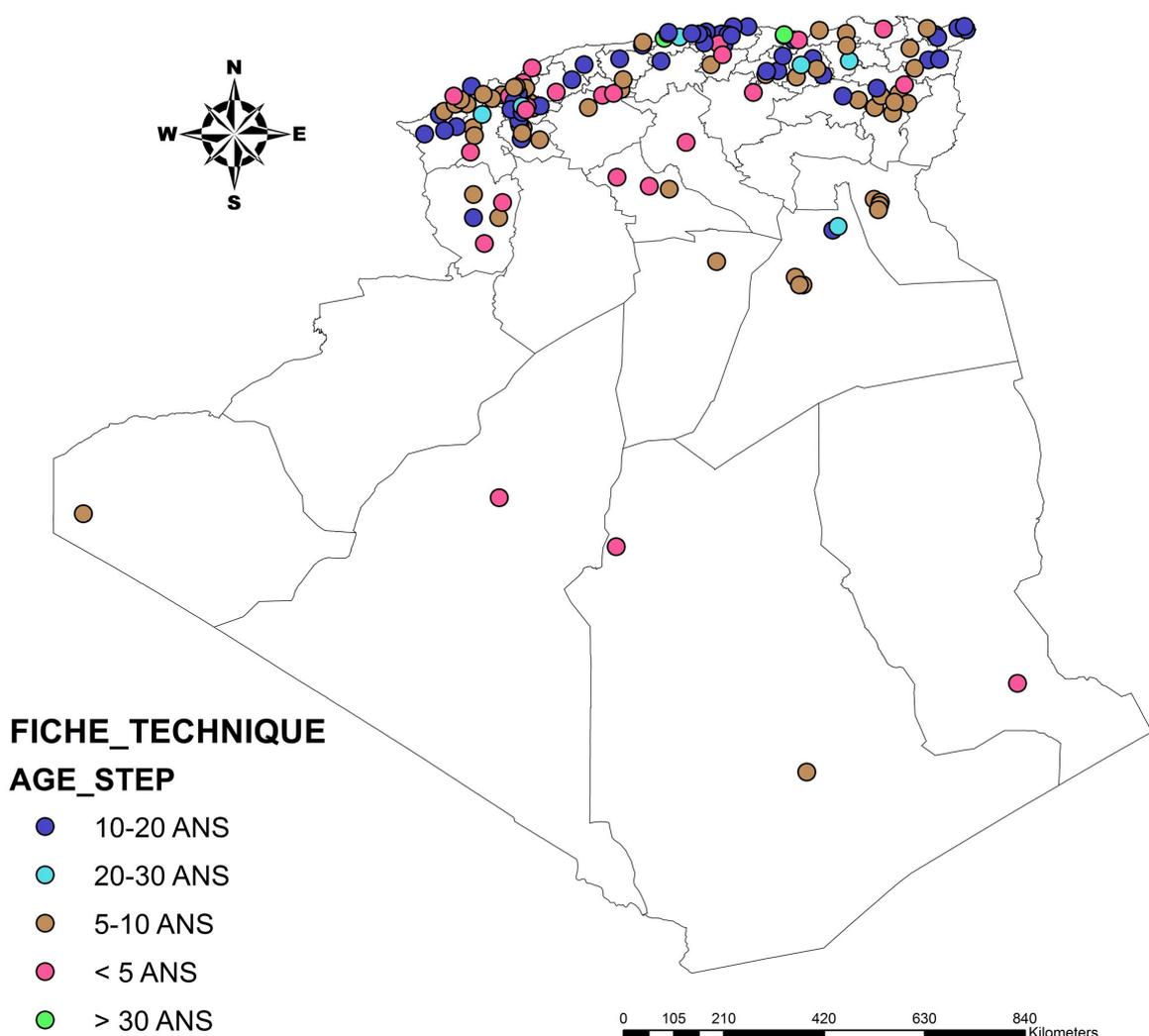


FIGURE 2.10: Répartition des STEP selon l'âge de mise en service

9 stations d'épuration ont plus de 20 ans , soit 7 % des stations, 91 (63 %) ont moins de 10 ans, et 94 % des stations ont moins de 20 ans, sachant que cet âge correspond à la durée d'amortissement d'une station d'épuration .

Donc on remarque que la majorité des stations (137 stations 94 %) ont été mises en service depuis 20 ans au maximum à cause d'une convention signée avec l'OMS à Rio de Janeiro. La distribution exprimée dans la carte ci-dessus, montre que la plupart des stations ont une date de mise en service inférieure à dix (10) ans. On remarque aussi que les stations qui ont une date de mise en service comprise entre 10-20 ans sont localisées au Nord du pays.

## 2.8 Conclusion

L'ALGERIE est un pays en voie de développement qui se voit attribuer chaque année un nombre plus important de station d'épuration sur le territoire national ce dernier permet de recirculer 0.7 Milliard de mètre cube d'eau qui est une quantité énorme pour la réutilisation.

# Chapitre 3

## Evaluation et classement des stations d'épuration par l'analyse hiérarchique

### 3.1 Introduction

La mise en place d'un Système d'Information Géographique requiert une méthodologie particulière, du fait des nombreuses aptitudes requises pour l'accomplissement du travail. Il s'agit dans un premier temps d'identifier les données nécessaires, de les collecter avant de les intégrer au système.

Dans ce chapitre on va élaborer un système d'évaluation et de classement des stations d'épuration en Algérie qu'on va représenter sur des cartes

### 3.2 La démarche suivie pour l'AHP :

La procédure d'agrégation selon la méthode AHP comporte cinq étapes :

- Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique
- Comparaison par paire des éléments
- Déterminer les priorités
- Évaluer la cohérence des jugements
- Synthétiser les priorités

#### 3.2.1 Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique

On commence par décortiquer un système complexe en structure hiérarchique et ceci en déterminant les éléments du problème des plus généraux aux plus spécifiques, on procédera par la suite au classement de ces éléments par niveaux. Dans le cas général la hiérarchisation comporte trois niveaux sous forme de pyramide, le plus haut représente l'objectif à atteindre, juste en-dessous on retrouve les critères et les sous-critères et c'est les éléments qui affectent la prise de décision et enfin comme troisième niveau et en bas de la pyramide on retrouve les alternatives,

C'est les cas possibles de décision. En résumé cette première étape consiste à :

- Définir l'objectif cible (niveau 0)
- Définir les critères et les sous-critères de décision ou d'analyse (niveau 1)
- Définir les alternatives (Niveau 2)

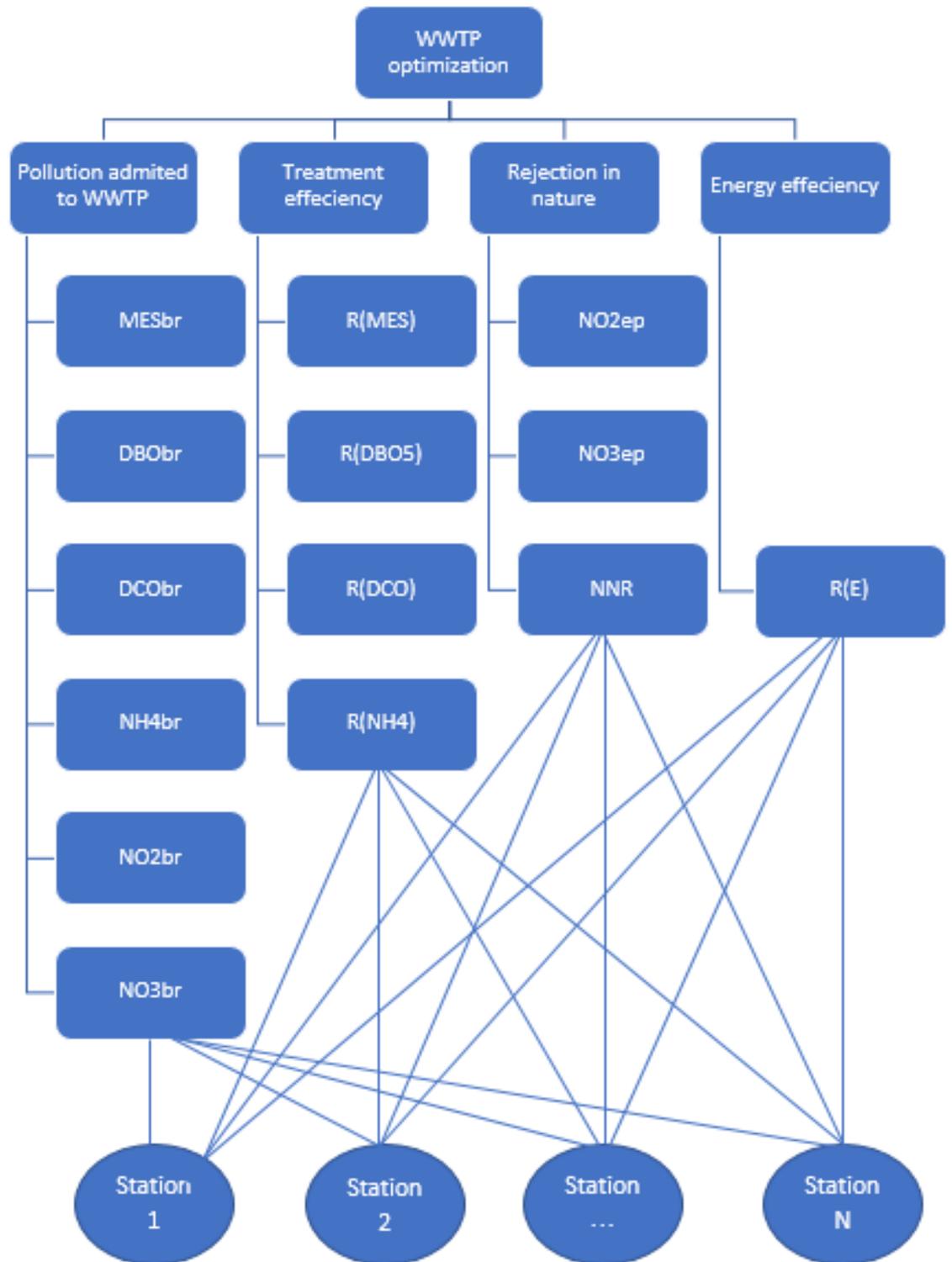


FIGURE 3.1: Structure hiérarchique d'un problème selon la méthode AHP

### 3.2.2 Comparaison par paires des éléments

Une fois la pyramide construite, on doit émettre des priorités pour chaque élément inscrit dans chaque niveau de la pyramide afin d'en déterminer l'importance. Pour ce faire, l'évaluation de l'importance relative de chaque élément par rapport à un

autre élément du même niveau se fait en comparant deux à deux ces derniers contribuant ainsi à la réalisation du niveau supérieur adjacent. Il faut donc choisir une échelle de valeurs pour spécifier le degré d'importance d'un élément par rapport à un autre. L'échelle de valeur (1 à 9) est adoptée.

Cette échelle de valeur permet au décideur d'incorporer sa subjectivité, de contribuer par son expérience et ses connaissances lors de la détermination des importances relatives des éléments pour chaque niveau. Le choix de cette échelle repose sur notre capacité naturelle à établir des distinctions dans la force des relations qui existent entre les éléments.

TABLE 3.1: Echelle verbale des jugements

Intensité d'importance	Définition	Explication
1	Importance égale entre les deux éléments	Deux activités contribuent également à l'objectif
3	Modérée importance du 1er sur le 2eme critère	Deux activités contribuent, également à l'objectif L'expérience et le jugement favorisent fortement une activité par rapport à l'autre
5	Grande importance	L'expérience et le jugement favorisent fortement une activité par rapport à l'autre
7	Très grande importance	Une activité est fortement favorisée et sa domination a été démontrée dans la pratique
9	Importance extrême	Une activité est fortement favorisée et sa domination a été démontrée dans la pratique
2,4,6,8	Valeurs intermédiaires entre les deux jugements adjacents	Lorsqu'un compromis est nécessaire
Réciproques	Si l'activité i a l'un des nombres ci-dessus qui lui sont attribués par rapport à l'activité j alors : j à la valeur réciproque par rapport à i.	
Rational	Ratios découlant de l'échelle	Si la consistance devait être force en obtenant de n valeurs numériques le long de la matrice

Ainsi, à partir de cette échelle de valeurs, nous complétons une matrice de jugement M, à chaque niveau. Le nombre de matrices dépend du nombre d'éléments présents à chaque niveau. Le rang de la matrice de chaque niveau dépend du nombre d'éléments présents au niveau inférieur. Pour le niveau (1) on note la matrice carrée des jugements

$$B = [b_{ij}]_{m \times m} \quad (3.1)$$

où m est le nombre de critères.  $b_{ij}$  : le coefficient d'importance relative du critère Cj par rapport au critère Ci. Le tableau suivant présente la matrice carrée des jugements.

TABLE 3.2: La matrice B des jugements relatifs du niveau (1)

Critères	$C_1$	$C_2$	....	$C_m$
$C_1$	1	$b_{12}$		$b_{1m}$
$C_2$	$1/b_{12}$	1		$b_{2m}$
...			1	
$C_m$	$1/b_{1m}$	$1/b_{2m}$		1

Le décideur, de la même manière que précédemment, attribue des coefficients d'importances relatives des actions potentielles par rapport à chaque critère. Pour chaque critère j est définie une matrice de jugements notée

$$D_j = [\delta_{ik_j}]_{n \times n} \quad (3.2)$$

pour le niveau (2). Cette matrice est représentée dans le tableau suivant :

TABLE 3.3: La matrice des jugements relatifs du niveau (2)

Critères	$a_1$	$a_2$	....	$a_m$
$a_1$	1	$b_{12}$		$b_{1m}$
$a_2$	$1/b_{12}$	1		$b_{2m}$
...			1	
$a_m$	$1/b_{1m}$	$1/b_{2m}$		1

Une fois la comparaison par paires des éléments appartenant au même niveau effectuée, on procédera à la recherche d'un vecteur de priorité qui permettra le classement des alternatives par ordre croissant ou bien décroissant, ce classement contribuera à l'accomplissement de l'objectif du niveau supérieur adjacent et ainsi de suite jusqu'à arriver à l'objectif principal.

### 3.2.3 Déterminer les priorités

Une fois ces matrices comparatives créées, une mesure relative est dérivée de ces différents éléments. La mesure relative d'un élément à un niveau donné (critère fils), en lien avec l'élément du niveau adjacent plus élevé (critère père), constitue le poids du critère fils associé à ce niveau. Pour définir ces poids, Saaty a proposé une méthode basée sur la détermination des valeurs propres  $\lambda$  de la matrice des jugements. En effet, la détermination des poids à un niveau donné, caractérisé par une matrice des jugements M (où  $M = B$  pour le niveau (1) et  $M = D_j$  pour le niveau (2)), est effectuée comme suit : 41 - Résoudre l'équation  $\det [M - \lambda I] = 0$  et déterminer les valeurs propres de la matrice M. Avec  $\det$  (déterminant) - Calculer le vecteur propre V relatif à la plus grande valeur propre :  $\lambda_{max}$  Ainsi, les valeurs des composants du vecteur V représentent les poids des éléments du niveau en question (les poids des critères si on se situe au niveau (1)  $V = W$  ou les poids des actions si on est au niveau (2)  $V = \psi$ ). Saaty a aussi montré que la valeur propre maximale  $\lambda_{max}$  du problème de recherche des valeurs propres était réelle et supérieure à la taille de la matrice. Puis, en résolvant le système  $B V = \lambda_{max} I V$  pour le niveau (1) et  $D_j V = \lambda_{max} I V$  pour le niveau (2), et en ajoutant la condition que la somme des poids doit être égale à 1 ; il a démontré que les valeurs des poids peuvent être obtenues par une autre technique qui consiste à :

- Normaliser la matrice des jugements par colonne en divisant chaque élément d'une colonne par la somme des éléments de cette même colonne.

- Calculer la moyenne arithmétique des nombres sur chaque ligne de la matrice normalisée obtenue précédemment.

Ainsi, la valeur de la moyenne obtenue pour une ligne correspondant à un critère du niveau inférieur définit le poids de ce critère relativement au critère du niveau supérieur[12].

TABLE 3.4: Les valeurs de l'indice de cohérence selon le nombre d'éléments comparés

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.0	0.0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.59

### 3.2.4 Evaluer la cohérence des jugements

La cohérence des résultats doit également être vérifiée. Pour chacune des matrices de jugement B et Dj, on peut calculer un indice de cohérence. Pour une matrice donnée, on retient sa valeur propre maximale  $\lambda_{max}$ . L'indice de cohérence CI d'une matrice m x m est :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (3.3)$$

l : nombre d'éléments comparés Le ratio de cohérence est ensuite calculé en utilisant la formule :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.4)$$

Où RI est l'indice de cohérence obtenu par un grand nombre de simulations et dont les valeurs sont données dans le tableau 3.4 :

En calculant ce ratio, on peut vérifier la cohérence des valeurs de la matrice de jugement. Il fournit une mesure de la probabilité que la matrice a été complétée purement au hasard.

### 3.2.5 Synthétiser les priorités

Une fois que les priorités locales, pour tous les critères figurant dans la hiérarchie, ont été déterminées, AHP calcule un score d'évaluation globale attaché à chacune des alternatives identifiées. Le classement des actions peut être établi en calculant la moyenne pondérée (par les poids des critères) des notes attribuées aux actions. On note pour une action ai son poids global  $\phi_i$ . Il est calculé par l'équation suivante :

$$\phi_i = \sum_{j=1}^m \psi_{ij} x w_j \quad (3.5)$$

Le classement des actions est obtenu en rangeant les valeurs des poids globaux par ordre décroissant.

## 3.3 Représentation des résultats de l'AHP appliqué aux stations à boues activées

Dans toutes les cartes ci-dessous les valeurs indiquées sur les cartes représentent le pourcentage de performance des stations d'épuration.

### Représentation des stations d'épuration selon l'efficacité épuratoire

La figure 3.2 représente la répartition de note des stations d'épuration selon l'efficacité épuratoire.

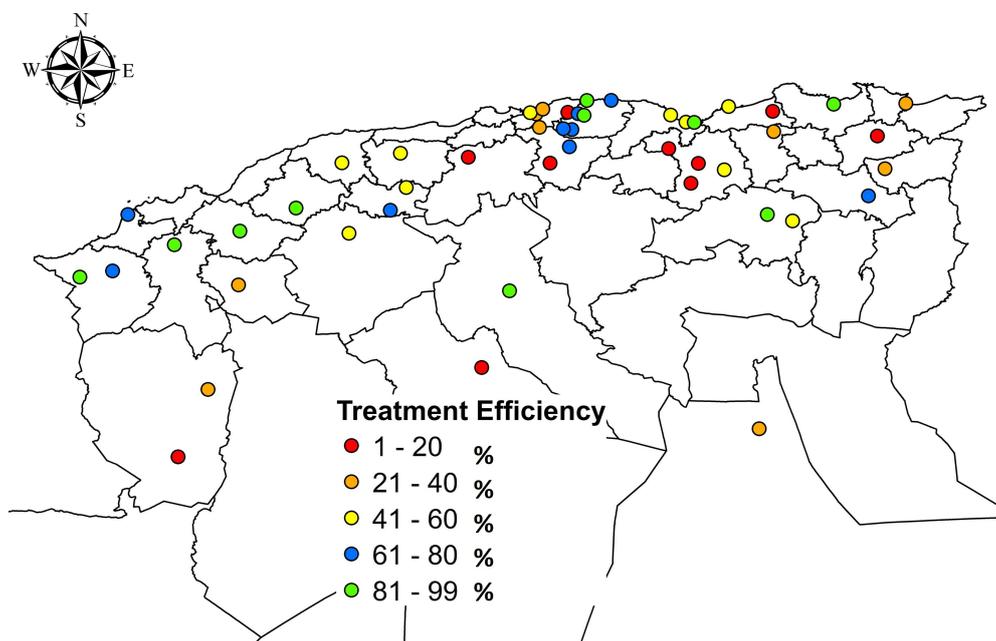


FIGURE 3.2: Note des STEP selon l'efficacité épuratoire

### Représentation des stations d'épuration selon la charge polluante admise à la STEP

La figure 3.3 représente la répartition de note des stations d'épuration selon la charge polluante admise à la STEP.

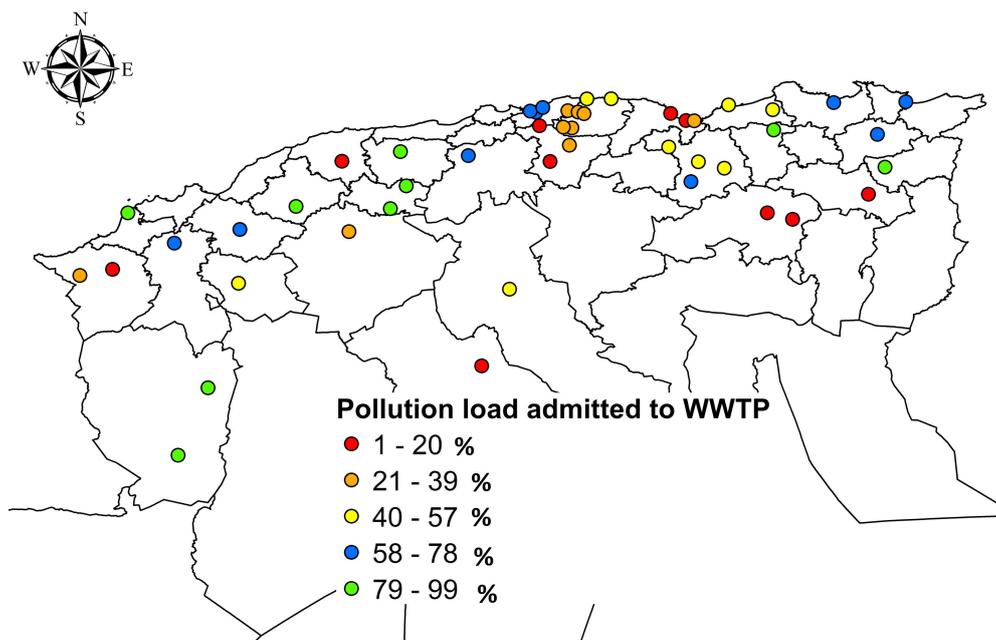


FIGURE 3.3: Note des STEP selon la charge polluante admise à la STEP

### Représentation des stations d'épuration selon le respect des normes de rejet

La figure 3.4 représente la répartition de note des stations d'épuration selon le respect des normes de rejet.

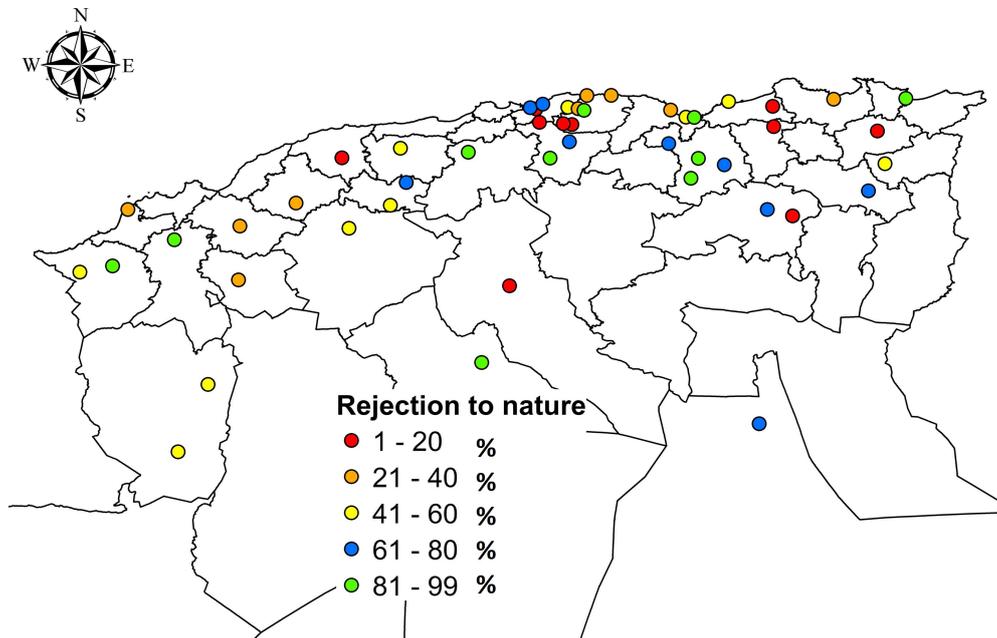


FIGURE 3.4: Note des STEP selon le respect des normes de rejet

### Représentation des stations d'épuration selon la consommation énergétique

La figure 3.5 représente la répartition de note des stations d'épuration selon la consommation énergétique

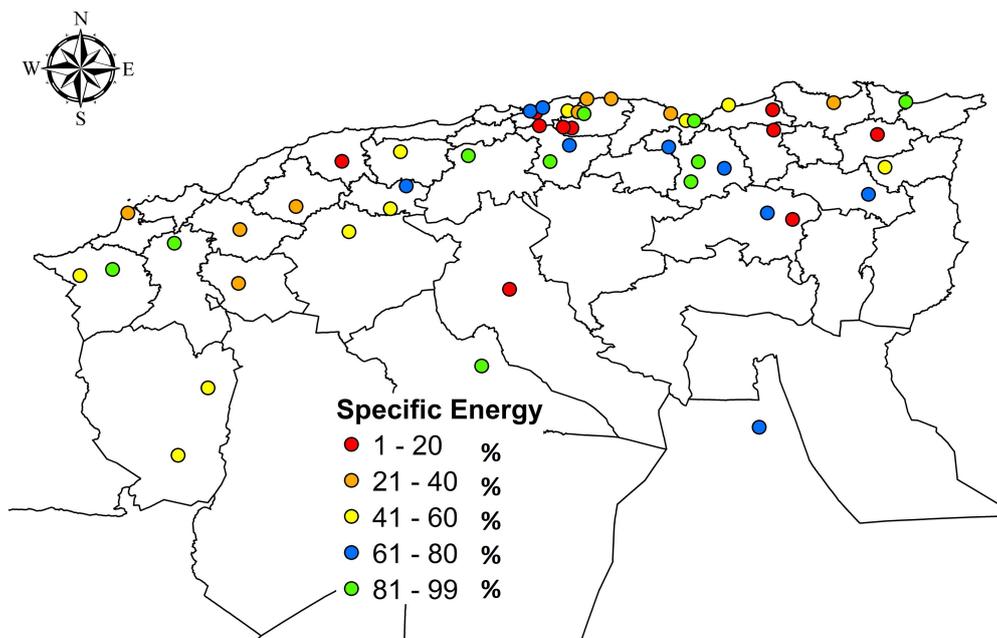


FIGURE 3.5: Note des STEP selon la consommation énergétique

### Représentation des stations d'épuration selon le score final

La figure 3.6 nous représente la répartition de note des stations d'épuration selon leurs score finale.

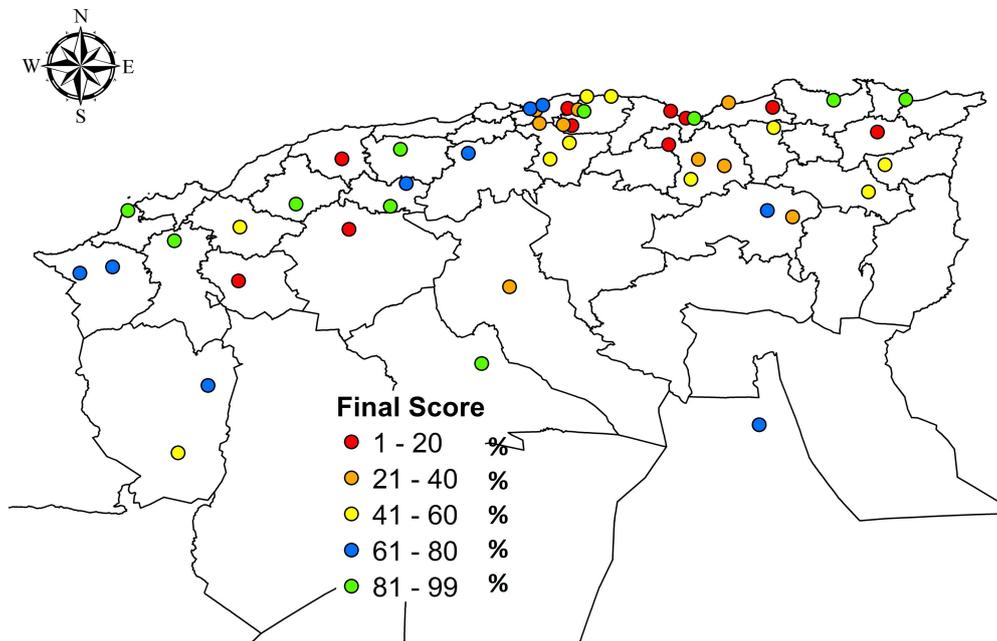


FIGURE 3.6: Classement des stations d'épuration

## 3.4 Représentation des résultats de l'AHP appliqué aux stations à boues activées de capacité entre 100000-1000000 E-HA

### Représentation des stations d'épuration selon l'efficacité épuratoire

La figure 3.7 représente la répartition de note des stations d'épuration selon l'efficacité épuratoire.

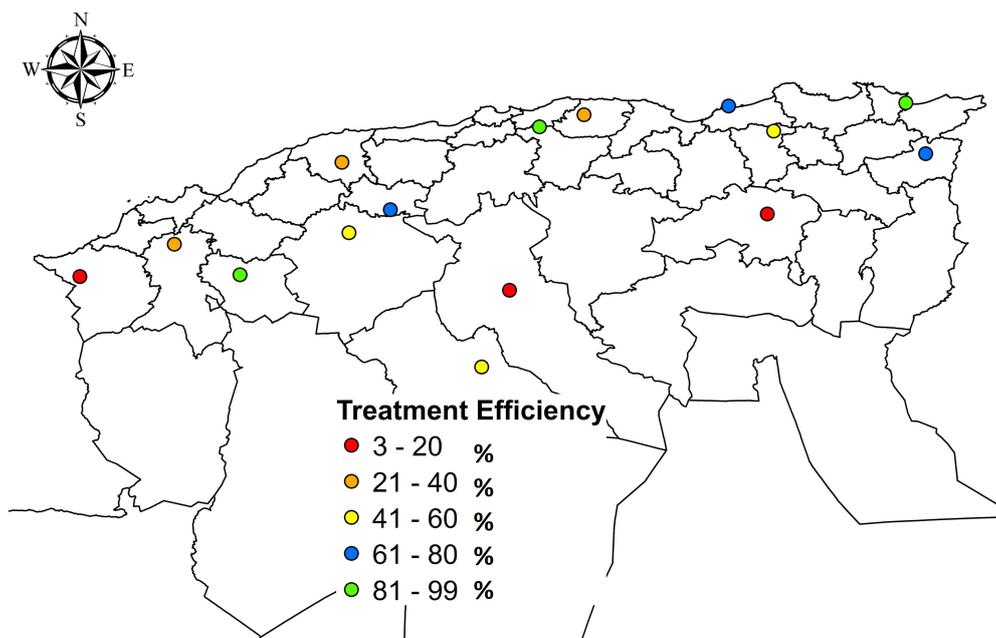


FIGURE 3.7: Note des STEP selon l'efficacité épuratoire

### Représentation des stations d'épuration selon la charge polluante admise à la STEP

La figure 3.8 représente la répartition de note des stations d'épuration selon la charge polluante admise à la STEP.

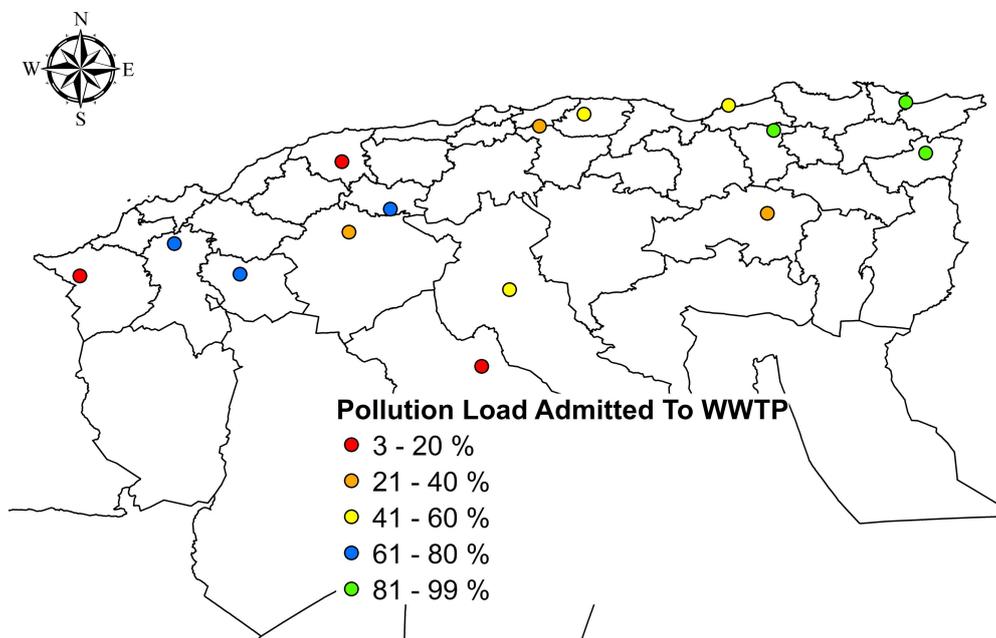


FIGURE 3.8: Note des STEP selon la charge polluante admise à la STEP

### Représentation des stations d'épuration selon le respect des normes de rejet

La figure 3.9 représente la répartition de note des stations d'épuration selon le respect des normes de rejet.

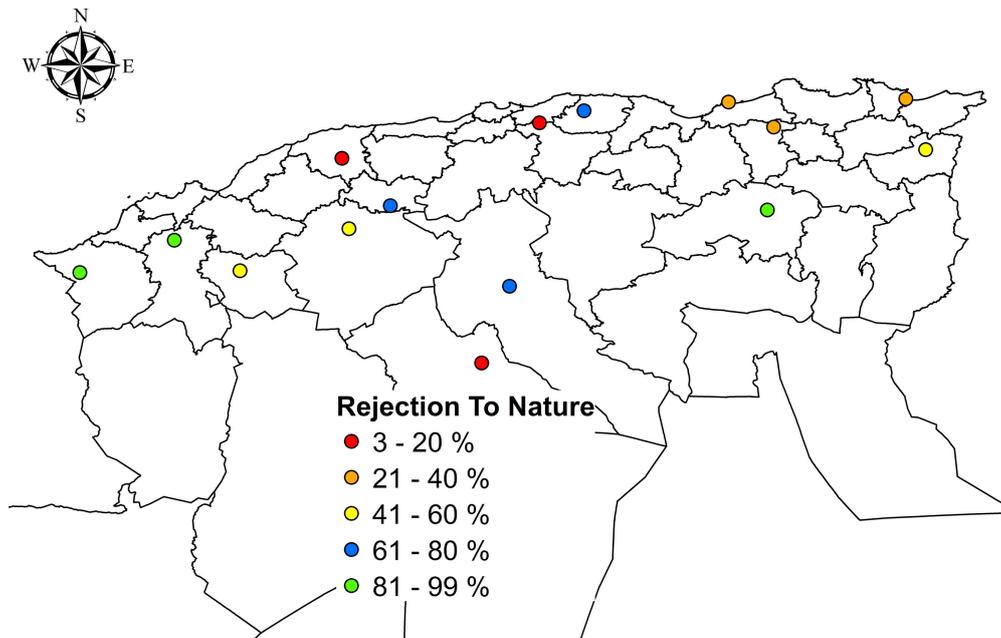


FIGURE 3.9: Note des STEP selon le respect des normes de rejet

### Représentation des stations d'épuration selon la consommation énergétique

La figure 3.10 représente la répartition de note des stations d'épuration selon la consommation énergétique

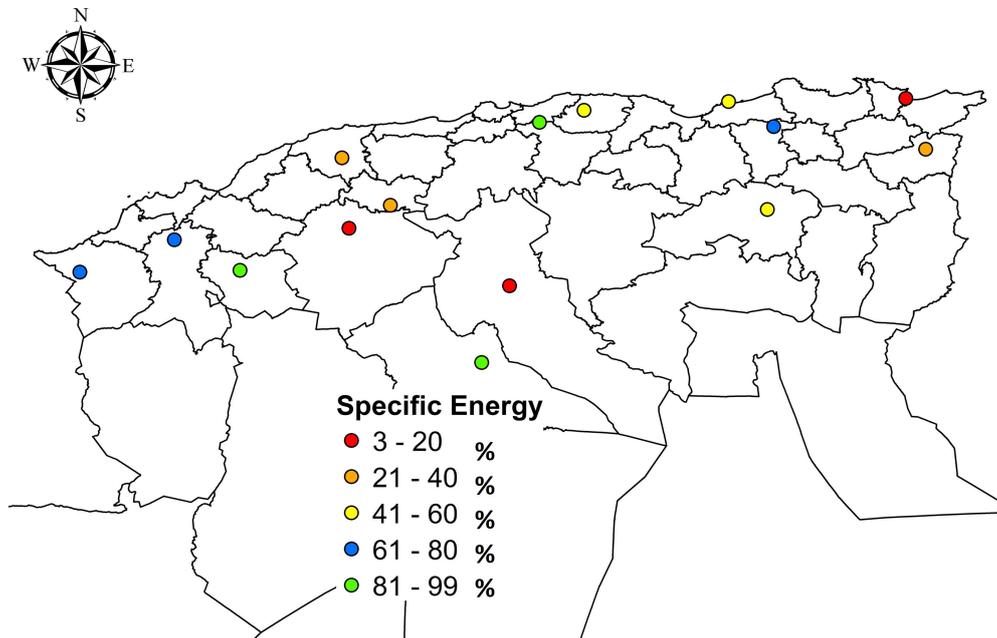


FIGURE 3.10: Note des STEP selon la consommation énergétique

### Représentation des stations d'épuration selon le score finale

La figure 3.11 nous représente la répartition de note des stations d'épuration selon leurs score finale.

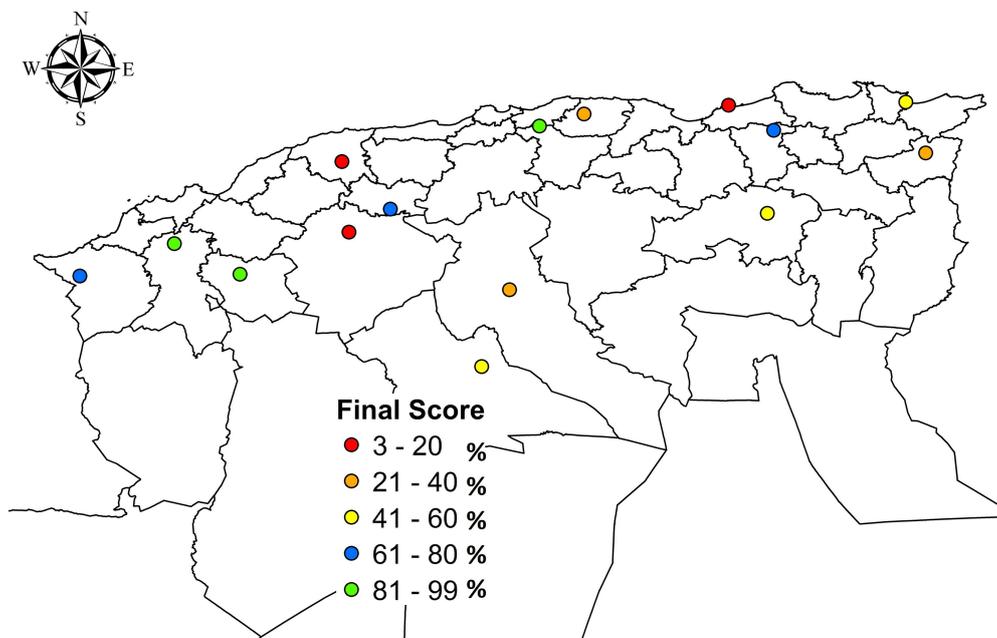


FIGURE 3.11: Classement des stations d'épuration

### 3.5 Représentation des résultats de l'AHP appliqué aux stations à boues activées de capacité entre 10000-100000 E-HA

#### Représentation des stations d'épuration selon l'efficacité épuratoire

La figure 3.12 représente la répartition de note des stations d'épuration selon l'efficacité épuratoire.

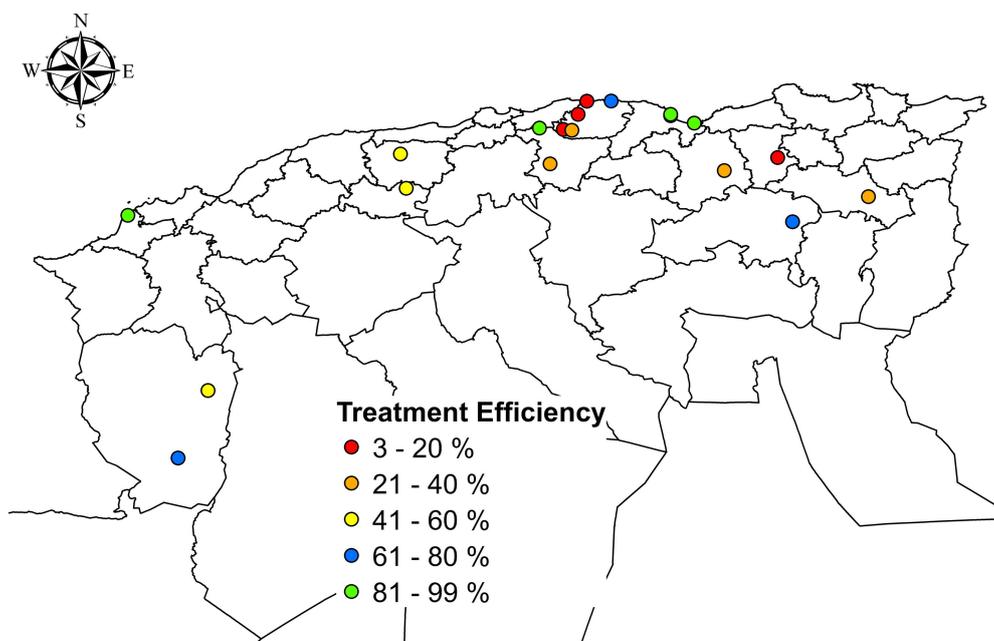


FIGURE 3.12: Note des STEP selon l'efficacité épuratoire

#### Représentation des stations d'épuration selon la charge polluante admise à la STEP

La figure 3.13 représente la répartition de note des stations d'épuration selon la charge polluante admise à la STEP.

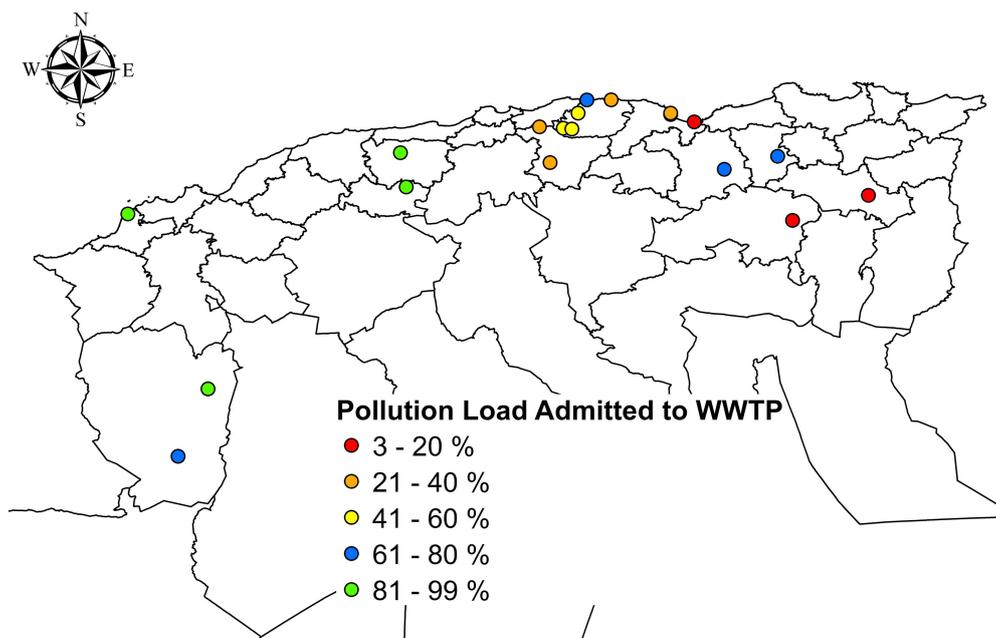


FIGURE 3.13: Note des STEP selon la charge polluante admise à la STEP

### Représentation des stations d'épuration selon le respect des normes de rejet

La figure 3.14 représente la répartition de note des stations d'épuration selon le respect des normes de rejet.

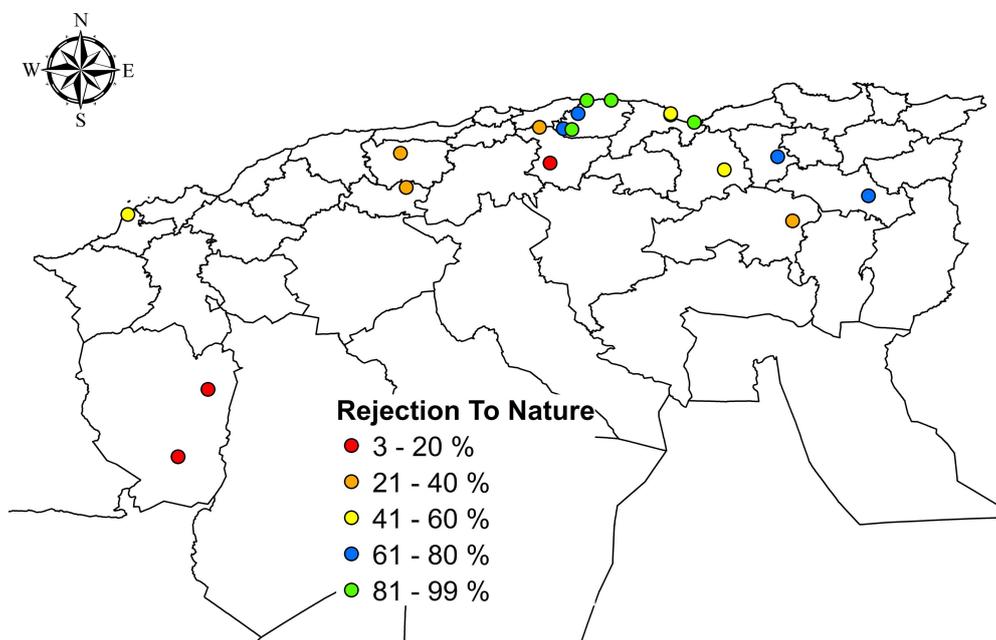


FIGURE 3.14: Note des STEP selon le respect des normes de rejet

### Représentation des stations d'épuration selon la consommation énergétique

La figure 3.15 représente la répartition de note des stations d'épuration selon la consommation énergétique

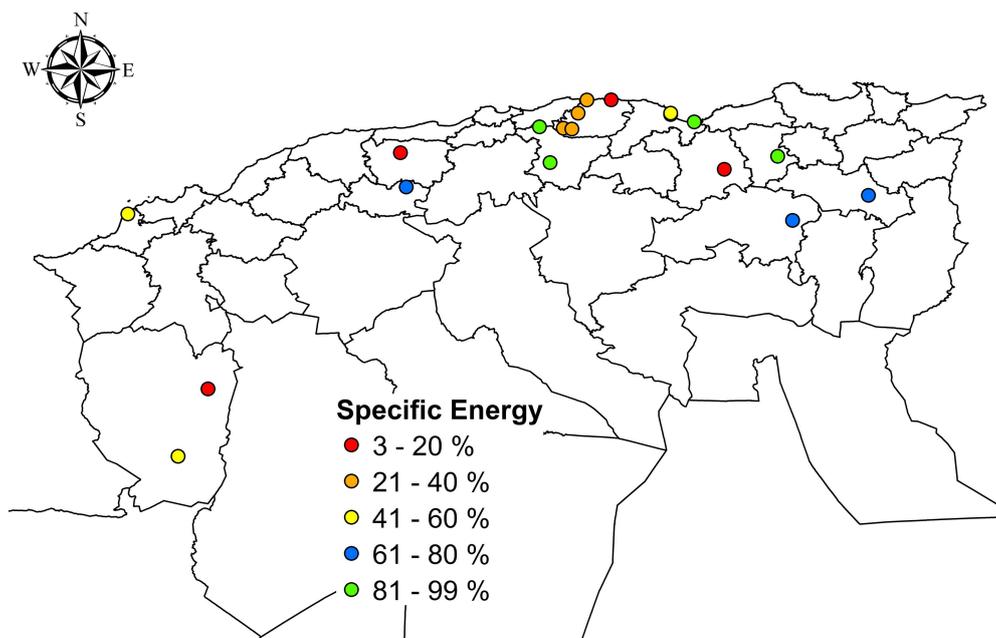


FIGURE 3.15: Note des STEP selon la consommation énergétique

### Représentation des stations d'épuration selon le score final

La figure 3.16 nous représente la répartition de note des stations d'épuration selon leurs score finale.

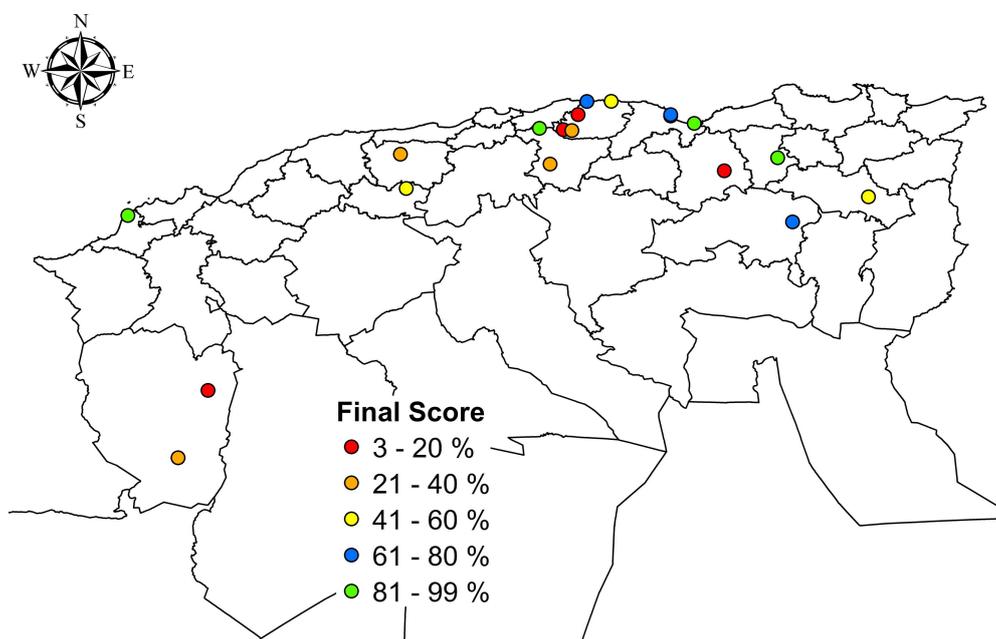


FIGURE 3.16: Classement des stations d'épuration

## 3.6 Conclusion

Nous avons abordé les techniques et les fondements du concept de l'analyse multicritère, d'ailleurs plusieurs chercheurs et gérants d'entreprises se sont fiés à cette méthode. L'objectif principal de cette méthode est d'aider et d'orienter l'utilisateur dans ses prises de décision, notamment lorsqu'il s'agit d'un problème complexe, ce qui nous a poussés

à choisir la méthode AHP comme un outil très puissant et très pratique qui va nous permettre d'organiser la gestion d'une STEP en considérant cette dernière comme une entreprise de production.

Les résultats présentés ci-dessus montrent les énormes capacités des SIG dans la manipulation et la gestion des données relatives aux stations d'épuration des eaux usées. En effet, on peut manipuler et exécuter des tâches qui sont capitales dans la gestion des stations d'épuration pour des résultats efficaces et précis. Si toutes les facilités sont disponibles, la base de données et les autres composantes graphiques du SIG peuvent être facilement mises à jour pour y ajouter les nouveaux éléments. De plus la révision des cartes devient plus facile dans l'environnement des SIG.

En plus de tout cela, les résultats obtenus peuvent également fournir des informations aux autres professionnels .

L'utilisation des SIG pour la gestion des stations a permis que les informations fiables se trouvent désormais à un clic de souris. Les risques de pertes sont limités et les interventions plus rapides. Les organismes de gestion pourront donc améliorer leurs prestations pour fournir des performances plus satisfaisantes à leur clientèle.

# Conclusion Générale et Perspectives

Le présent travail a été l'occasion, de montrer que l'outil SIG élaboré permet une gestion plus rapide, efficace et performante des données comme il peut être un très bon outil d'aide à la décision.

Les données attributaires des stations d'épuration de l'Algérie, qui sont actuellement acquises, gérées, stockées et présentées sous une forme analogique, ont été numérisées, digitalisées et intégrées dans une base de données dans le cadre de ce travail. Les données spatiales ont été numérisées et ramenées à un format cartographique.

Les résultats présentés démontrent quelques-unes des énormes capacités des SIG dans la gestion des données relatives aux STEP. Avec les SIG, on peut manipuler et exécuter des tâches qui sont capitales dans la gestion des stations d'épuration pour des résultats efficaces et précis. Les résultats obtenus peuvent également fournir des informations aux autres professionnels comme par exemple les filières de traitement, les maîtres d'ouvrages, les organismes de gestion, etc

Il s'agira de mettre à jour régulièrement la base de données qui requiert une abondance de données actualisées, détaillées, facilement accessibles et compréhensibles par tous les utilisateurs. De plus, il faut que celle-ci soit hébergée sur un serveur sécurisé pour prévenir au maximum les risques de pertes et d'éventuelles détériorations.

Pour la cartographie numérique, qui constitue en général la plus grosse partie du travail lors de la création d'un SIG, la disponibilité d'un matériel et de logiciels adéquats sont exigés.

Il en découle que l'établissement d'un SIG nécessite un travail laborieux à accomplir.

Ce travail s'accompagne aussi de moyens plutôt importants. Le passage à une gestion via un SIG nécessite d'importants moyens en matière de finance et de personnel.

Il requiert une étroite collaboration entre les différents services publics et municipalités.

L'utilisation des SIG pour la gestion des stations a permis que les informations fiables se trouvent désormais à un clic de souris. Les risques de pertes sont limités et les interventions plus rapides. Les organismes de gestion pourront donc améliorer leurs prestations pour fournir des performances plus satisfaisantes à leur clientèle.

On suggère aussi que les paramètres d'auto-surveillance soient mise à jour régulièrement et de passé de pas de temp mensuel au pas de temp journalier pour affiner l'étude.

# Bibliographie

- [1] *Toutes les fonctions d'un SIG | Esri France - Les principales fonctions.* 24 juin 2016. URL : <https://www.esrifrance.fr/sig4.aspx>.
- [2] *Cartographie thématique - Cartographie thématique.* 17 mai 2017. URL : <https://www.esrifrance.fr/cartographie-thematique.aspx>.
- [3] *Cartographie et visualisation dans ArcGIS for Desktopdash Aide | ArcGIS for Desktop.* 24 juin 2016. URL : <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap>.
- [4] Bambang SUMANTRI, Naoki UCHIYAMA et Shigenori SANO. « Least square based sliding mode control for a quad-rotor helicopter and energy saving by chattering reduction ». In : *Mechanical Systems and Signal Processing* 66-67 (2016), 769–784.
- [5] *Les solutions SIG du leader mondial des Systèmes d'Information Géographique | Esri France - Comment fonctionne un SIG.* 24 juin 2016. URL : <https://www.esrifrance.fr/sig3.aspx>.
- [6] *Office National de l'Assainissementb.* 17 mai 2017. URL : <http://www.ona-dz.org/Organisation.html>.
- [7] *CARTOGRAPHIE THÉMATIQUE - Hypergé.* 17 mai 2017. URL : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article377>.
- [8] *Épuration des eaux usées.* 17 mai 2017. URL : [http://www.seor.dz/?page\\_id=449](http://www.seor.dz/?page_id=449).
- [9] *Épuration des eaux bull; SEAAL.* 17 mai 2017. URL : <http://www.seaal.dz/qui-sommes-nous/metiers/assainissement/epuration-des-eaux/>.
- [10] CHITTI KAHINA. « Elaboration de Cartes thématiques pour la gestion des stations d'épuration en Algérie ». Projet de fin d'études, Ingénierat. Ecole Nationale Polytechnique, 2016.
- [11] ZIGHEM MOHAMED ELAMINE. « Cartographie des STEP et analyse statistique des données ». Projet de fin d'études, Ingénierat. Ecole Nationale Polytechnique, 2017.
- [12] SOUAR BRAHIM. « Clustérisation par KPI pour l'optimisation du procédé d'épuration par boue activée ». Projet de fin d'études, Ingénierat. Ecole Nationale Polytechnique, 2017.
- [13] Licence ARCGIS. « DEPARTEMENT SIG/ Direction exploitation et de maintenance/ONA-dg ».