République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed Draïa Adrar
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Matieres

MEMOIRE

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la matière

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie de l'environnement

Intitulé

EVALUATION DE LA CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION D'ADRAR PAR LES INTRANTS AGRICOLES : CONTRIBUTION AU PROJET CONTRAT DE NAPPE D'ADRAR

Présenté par :

MOUILAH Mohammed Amin

Soutenu publiquement le 03/07/2019

Devant le jury :

Président :	RADJI Ghania	M. A. A	Univ. Adrar
Promoteur :	KALLOUM Slimane	M. C. A	Univ. Adrar
Co-promoteur :	NASRI Bahous	Doctorant	Univ. Adrar
Examinateur :	IDDOU Abdelkader	Proffesseur	Univ. Adrar
En collaboration avec :	REZK-KALLAH Hassiba	Proffesseur	Univ. Oran1

Année Universitaire : 2018/2019

Dédicaces

Dieu merci pour m'avoir donner la force d'accomplir ce modeste travail que je dédions à nos très chers parents qui m'ont soutenu tout au long de ces années d'étude et qui n'ont jamais cessé de me soutenir dans l'effort et la persévérance, en témoignage de mon amour et de ma reconnaissance

Mes parents

Puisse dieu vous donner longue vie et bonne santé pour veiller sur moi.

Remerciements

Louange à Allah qui m'a accordé l'aboutissement de ce travail.

***J**e remercie vivement*
***Dr. KALLOUM Slimane** , Maitre de conférence classe A, pour son accueil cordial, son encadrement, sa grande disponibilité ainsi que pour ses nombreux conseils aussi bien pratiques que scientifiques tout au long de ce projet et surtout pour son talent de responsable qui m'a beaucoup influencé et impressionné pour la vie.*
*Je tiens particulièrement à remercier le **Pr. REZK-KALLAH Hassiba**, Professeur en Toxicologie, pour les efforts que vous avez déployés tout au long de ma formation pratique et théorique. Vous avez aussi su me motiver en tirant le meilleur de moi même en m'orientant dans la direction la plus ambitieuse.*
***M**es remerciements s'adressent également au*
***Dr. NASRI Bahous**, ingénieur en chimie industrielle qui a supervisé chaleureusement et efficacement ce travail.*
***M**es enseignants d'université africaine Ahmed DRAIA Adrar pour leurs contributions à ma formation Master 2 en Chimie d'environnement.*
***M**a gratitude va également aux membres du jury pour honorer ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce travail.*
***J**e remercie finalement mes chers parents, ma famille, mes amis, pour leur présence ainsi que leur soutien tout au long de ces années.*

Je faillis à la tradition si je n'exprime pas ici mon profond respect envers ceux dont je ne fais pas mention ici, mais qui resteront dans ma mémoire.

TABLE DES MATIERES

	Page
LISTE DES ABREVIATIONS ……..	**i**
LISTE DES TABLEAUX…….....	**ii**
LISTE DES FIGURES …….....	**iii**
INTRODUCTION…….....	**01**

PARTIE THEORIQUE

Chapitre I : Eaux souterraines

I.1. Généralités, définitions…….....	**03**
I.2. Captage de l'eau souterraine…….....	**04**
I.2.1. Puits de surface…….....	**04**
I.2.2. Puits tubulaire…….....	**05**
I.2.3. Puits à drains rayonnants……..	**05**
I.2.4. Captage de source…….....	**05**
I.2.5. Galerie drainante…….....	**05**
I.2.6. Forage…….....	**05**
I.3. Impacts anthropiques sur les aquifères…….....	**06**
I.3.1. Menaces d'ordre qualitatif…….....	**06**
I.3.2. Menaces d'ordre quantitatif……	**06**

Chapitre II : Aperçu sur les fertilisants

II.1. Données générales et utilisation…….....	**08**
II.2. Situation de l'Algérie par rapport aux engrais……...	**09**
II.3. Effets des engrais sur l'environnement…….	**10**
II.3.1. Pollution azotée: cas des nitrates et nitrites……	**11**
II.3.2. Pollution phosphatée…….....	**14**
II.3.3. Impacts des pollutions azotées et phosphatées…….	**15**
II.3.4. Méthodes instrumentales pour l'analyse des anions (nitrate, nitrite et phosphate) ……	**16**
II.4. Aspects réglementaires…….....	**17**
II.4.1. Législation Européenne……...	**17**
II.4.2. Législation Algérienne ……...	**18**
II.4.3. Recommandations et normes proposées sur le plan national et international……	**19**

Chapitre III : Analyse spatiale

III.1. Bases de l'analyse spatiale…….....	**22**
III.1.1. Système d'information géographique…….....	**22**
III.1.2. ArcGIS…….....	**22**
III.1.3. Extensions ArcGIS…….....	**23**
III.2. Méthodes d'étude de la variabilité spatiale……	**24**
III.2.1. Approche déterministe……..	**24**
III.2.2. Approche statistique……	**24**
III.2.3. Nombre d'observation (échantillonnage) ……...	**25**
III.2.4. Emplacement des échantillons……	**25**
III.3. Modèles de la variation spatiale……	**25**
III.3.1. Phénomène discret et continue……	**25**
III.3.2. Phénomène spatiaux discontinu……..	**26**
III.4. Modélisation de la variabilité spatiale……	**26**

III.4.1. Approche géostatistique…… **26**
III.4.2. Interpolation par krigeage…….. **29**

PARTIE PRATIQUE

Objectifs et démarche générale de l'étude **30**

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

IV.1. Contexte général d'étude……. **31**
IV.1.1. Présentation de la zone d'étude…… **31**
IV.1.2. Enquête auprès des professionnels d'agricultures (DSA, OAIC, OF, ANRH) ……... **31**
IV.1.3. Modalités des prélèvements …… **31**
IV.2. Applications de la géostatique à l'hydrochimie ……. **31**
IV.2.1. Mise en œuvre des points d'échantillonnage……... **32**
IV.2.2. Cartographie de la surface des teneurs en nitrates ……... **32**
IV.3. Détermination de la conductivité électrique et du potentiel d'hydrogène …… **36**
IV.3.1. Détermination de la conductivité électrique……... **36**
IV.3.2. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH) …… **37**
IV.4. Analyse des anions ……..... **37**
IV.4.1. Validation d'une méthode analytique …….. **37**
1) Définition de la validation analytique …….. **37**
2) Détermination des paramètres de validation de la méthode ……... **38**
IV.4.2. Dosage desanions ……..... **41**
1) Nitrates ……..... **41**
2) Nitrites ……..... **43**
3) Orthophosphates……... **44**

Chapitre V : Résultats

V.1. Contexte général d'étude……... **47**
V.1.1. Résultat de l'enquête descriptive sur terrain……... **47**
1) Besoins en eau……..... **47**
2) Agriculture……..... **47**
3) Typologie des engrais minéraux utilisés ……... **48**
4) Engrais organiques et les élevages……. **49**
5) Autres données recueillies à partir de l'enquête sur le terrain……... **50**
V.2. Applications de la géostatique à l'hydrochimie…… **50**
V.2.1. Etude statistique……..... **51**
1) Histogramme des données……... **52**
2) Paramètres statistiques usuels…….. **52**
V.2.2. Interpolation par les méthodes classiques…….. **53**
V.2.3. Interpolation par Krigeage (approche géostatistique) ……... **54**
1) Variogramme……..... **54**
2) Krigeage……..... **56**
V.3. Détermination de la conductivité électrique et du potentiel d'hydrogène…… **56**
V.4. Analyse des anions ……..... **57**
V.4.1. Résultats de la validation analytique du dosage des anions ……. **57**
V.4.2. Teneurs en anions retrouvées dans les eaux de forages……. **58**

Chapitre VI : Analyse des résultats et Discussion

VI.1. Enquête sur terrain ……..... **59**
VI.2. Méthodes d'estimation……..... **60**
VI.3. Conductivité…… **60**
VI.4. pH……..... **60**
VI.5. Nitrates……..... **60**
VI.6. Nitrites…….. **61**
VI.7. Orthophosphates ……..... **62**

Conclusion ……..... **63**

Références Bibliographiques

Annexes

Résumé

LISTE DES ABREVIATIONS

Abs	Absorbance
ACGIH	American Conference of Governemental Industrial Hygienists.
ADN	AcideDésoxyriboNucléique
AEP	Alimentation en Eau Potable
AMP	Adénosine MonoPhosphate
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ARN	AcideRiboNucléique
ATP	AdénosineTriPhosphate
BOA	Bactéries oxydant l'ammoniac (BOA).
BON	Bactéries oxydant le nitrite (BON).
CE	Commission Européenne
CI	Chromatographie ionique
CL	Chromatographie Liquide.
CNN	Composés N-Nitrosés
CV	Coefficient de Variation
D	Densité
DBO 5	Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours
DCE	Directive cadre sur l'eau
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DSA	Direction des services agricoles
EPA	Environmental Protection Agency.
EU	Union Européenne
FDA	Agence américaine des produits Alimentaires et Médicamenteux
GRAS	Généralement Reconnu Comme Sûr
IDW	Pondération par l'Inverse de la Distance
JOA	Journal Officiel Algérien.
KO	Krigeage Ordinaire
KU	Krigeage Universel
LOD	Limit of Detection
LOQ	Limite of Quantification
MES	Matière en Suspension
NPK	Azote Phosphore Potassium
OF	Observatoire de Fouggara
OMS	Organisation Mondiale de la Santé.
PNM	Plan National de Mise en œuvre.
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement.
QSP	Quantité Suffisante Pour
SIG	Systéme d'Information Géographique
TSH	thyroid stimulating hormon
USEPA	US Environmental Protection Agency.
UV	Ultra-Violet

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1 : Caractéristiques de quelques engrais minéraux ……....…… **09**

Tableau 2 : Seuils en phosphore à partir desquels l'eutrophisation des plans d'eau peut débuter. ……....……....……....……... **16**

Tableau 3 : Paramètres à analyser sur les échantillons d'eaux brutes prélevés au niveau des ouvrages et des installations de production. ……....……..... **19**

Tableau 4 : Périodicité minimale des analyses d'eaux brutes à effectuer au niveau des ouvrages et installations de production destinés à l'alimentation en eau potable. …… **19**

Tableau 5 : Méthodes référentielles d'analyse des nitrates, nitrites, phosphore, conductivité selon la réglementation Algérienne. ……....……..... **19**

Tableau 6 : Concentration maximale acceptable (CMA) en nitrate dans les eaux selon différents organismes. ……....……....……....…… **20**

Tableau 7 : Concentration maximale acceptable (CMA) en nitrite dans l'eau selon différents organismes. ……....……....……....…… **20**

Tableau 8 : Limites des classes de qualité (indice SEQ-Eau) pour l'altération des masses d'eau par les matières phosphorées. ……....……....……... **20**

Tableau 9 : Teneurs retenus pour les matières phosphorées en Algérie et au Québec…….. **21**

Tableau 10 : Tableau récapitulatif des valeurs limites concernant la conductivité électrique, le pH, les nitrates, les nitrites, le phosphore selon la législation Algérienne…... **21**

Tableau 11 : Mode opératoire pour la détermination des nitrates……....…… **42**

Tableau 12 : Mode opératoire pour la détermination des nitrites. ……....…... **44**

Tableau 13 : Mode opératoire pour la détermination des orthophosphates. ……. **46**

Tableau 14 : Paramètres statistiques relatifs aux teneurs en nitrates (2010). ……... **52**

Tableau 15 : Identification des échantillons en fonction de leur origine. …… **57**

Tableau 16 : Valeurs mesurées de la conductivité électrique (C) et du (pH) durant les la compagne d'échantillonnage. ……....……....…….. **57**

Tableau 17 : Résultats de la validation analytique du dosage des trois anions…… **57**

Tableau 18 : Tableau recapulatif des résultats d'analyses physico-chimiques obtenus durant la campagne d'échantillonnage. ……....……....……... **58**

Tableau 19 : Statistiques de la moyenne des erreurs d'estimation de deux méthodes d'estimation. ……....……....……....……... **60**

Tableau 20 : Comparaison des teneurs en nitrates (mg/l) à d'autres études. ……..... **61**

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1 : Schéma d'aménagement d'un forages de surface. ……..... **04**
Figure 2 : Stress hydrique et pénurie de l'eau dans le monde. ……..... **06**
Figure 3 : cycle de l'azote……....……....……... **11**
Figure 4 : Description du logiciel Arcgis……....……..... **23**
Figure 5 : Applications d'Arcgis. ……....……....……... **23**
Figure 6 : Formes d'échantillonnage spatial……....……..... **25**
Figure 7 : Exemple de phénomènes spatialement continu et discret……..... **26**
Figure 8 : Procédure d'analyse variographique. ……....……. **27**
Figure 9 : Semi-variogramme théorique (modèle sphérique). ……..... **29**
Figure 10 : Introduction des données ……....……..... **32**
Figure 11 : Choix d'assistant géostatistique……....……..... **32**
Figure 12 : Choix de la méthode Krigeage……....……..... **33**
Figure 13 : Choix du type de krigeage, la surface de sortie, ordre de la suppression de la tendance ……....……....……....…….. **33**
Figure 14 : Elimination des tendances……....……..... **34**
Figure 15 : Choix d'anisotropie pour la modélisation du semivariogramme…… **34**
Figure 16 : Choix du quartier recherché……....……..... **35**
Figure 17 : validation croisée……....……....…….. **35**
Figure 18 : Sommaire de la méthode ……....……....……. **36**
Figure 19 : Répartition des forages selon leurs usages. ……....…….. **47**
Figure 20 : Proportion des types de cultures dans la zone d'étude. ……..... **48**
Figure 21 : Portrait des différents engrais minéraux utilisés par les agriculteurs……. **48**
Figure 22 : Répartition des engrais minéraux recensés en fonction de leur pool minéral azoté……....……....……....……..... **49**
Figure 23 : Répartition des engrais minéraux recensés en fonction de leur pool minéral phosphaté……....……....……....……. **49**
Figure 24 : Observations menées sur le terrain concernant l'usage des engrais organiques. ……....……....……....……. **50**
Figure 25 : Localisation des prélèvements d'eaux analysées……..... **51**
Figure 26 : Répartition spatiale des points inventoriés……..... **51**
Figure 27 : Histogramme des teneurs moyennes en nitrates. ……....…….. **52**
Figure 28 : Carte de répartition des teneurs en nitrates par la méthode IDW……... **53**
Figure 29 : Tendance globale des teneurs en nitrates. ……....……. **54**
Figure 30 : Semi-variogramme de l'autocorrélation spatiale des teneurs en nitrates. ….. **55**
Figure 31 : Modélisation du semi-variogramme de teneurs en nitrates. …….. **55**
Figure 32 : Carte de répartition des teneurs en nitrates par la méthode de Krigeage ordinaire. ……....……....……....……. **56**

INTRODUCTION

modernisation de l'agriculture dans la deuxième moitié du XXème siècle a été marquée par l'introduction et l'utilisation massive des **intrants chimiques**. Ces derniers permettent de réduire significativement les pertes et d'accroitre la productivité agricole en éliminant les ravageurs et les adventices, ce qui augmente de fait les rendements des cultures.

Cependant, en dehors de leurs effets bénéfiques, ces intrants (pesticides et engrais) peuvent entrainer des conséquences néfastes sur **la santé de l'homme** et sur **l'environnement** (Debenest, 2007).

Les problèmes environnementaux et l'approfondissement des connaissances sur le rôle de l'environnement sur la santé de l'homme sont devenus une préoccupation de plus en plus grandissante. L'**eau**, a été ainsi un sujet d'intérêt ; Est-ce à un problème de quantité d'eau disponible auquel l'humanité sera confrontée dans les prochaines décennies ? Est-ce plutôt un problème de qualité d'eau qu'il faudra surmonter ?

Si l'intérêt s'est porté en premier temps sur la contamination des réseaux de surface, le **problème des eaux souterraines** est aujourd'hui pertinent.

En effet, l'eau souterraine est d'une importance capitale dans la plupart des régions du monde. Toutefois, cette ressource qui était jadis de bonne qualité, se trouve actuellement menacée par diverses sources de contamination ponctuelles et **diffuses**.

La pollution **diffuse d'origine agricole (fertilisante et pesticide)** constitue aujourd'hui une importante cause de dégradation de la qualité de cette ressource et principalement des **nappes phréatiques, plus vulnérables**.

En effet, La pollution continue à réduire le bilan global des ressources hydriques et engendre un risque pour la santé humaine surtout lorsqu'il s'agit de la consommation des eaux de forages où la **majorité de la population s'approvisionne directement de l'aquifère.**

Les données retrouvées dans la littérature ainsi que les résultats des enquêtes menées lors de ce travail auprès des professionnels sur les intrants agricoles les plus utilisés on a conduits à choisir **les nitrates, les nitrites, et les orthophosphates** comme indicateurs. A cet effet, il serait important de pouvoir quantifier leurs teneurs dans les eaux.

Ce travail s'articule autour de deux axes :

Une première partie bibliographique décrivant l'utilisation des engrais minéraux, les risques liés à leur mauvaise utilisation, la réglementation régissant ces produits ainsi que les différentes techniques de dosage. De plus, l'utilisation de la géostatistique dans l'analyse exploratoire des données spatiales et la création des surfaces interpolées.

Une deuxième partie pratique, concernera les volets suivants :

- L'évaluation des facteurs de risque conduisant à la présence des résidus d'intrants dans la nappe phréatique par le biais d'enquête auprès des professionnels sur les intrants réellement appliqués aux cultures.
- La création des modèles continus à partir des données échantillonnées et de prédire ainsi les valeurs sur des régions où le prélèvement n'a pas pu être effectué.
- La validation analytique du dosage des anions (NO_3, NO_2, PO_4^{3-}) par spectrométrie d'absorption moléculaire dans le visible.
- L'estimation des teneurs en éléments nutritifs (nitrates, nitrites et phosphates) des eaux souterraines de la région d'Adrar, afin d'identifier les forages contaminés.

PARTIE THEORIQUE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralités, définitions

L'eau est un excellent solvant vis-à-vis des éléments minéraux et organiques. Par conséquent, l'eau pure (H_2O) n'existe pas à l'état naturel sur la planète.

L'eau douce ne représente que 2,8 % du volume total, les 97,2 % restants correspondent aux mers et océans. L'eau douce se situe majoritairement dans les glaces polaires, les glaciers de montagne (2,15 % des réserves), les eaux souterraines (0,63 %) et les eaux de surface : cours d'eau, lacs, fleuves, atmosphère, humidité des sols etc. (0,015 %) (Levi, 2013).

À la vue de ces chiffres, les ressources en eau paraissent largement suffisantes alors que la majeure partie des eaux douces n'est guère utilisable directement par l'homme. En effet, sur un volume de 38 millions de km3 d'eau douce, 29,5 millions sont en fait prisonniers du froid dans les glaciers et les calottes polaires, et 4,6 millions emprisonnés également dans les grandes profondeurs du sol (+ de 800 m de profondeur). Si bien qu'il ne reste plus, comme eau douce réellement utilisable, qu'environ 0,3 % de l'eau de la terre (dont 95 % en eaux souterraines) (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2010).

L'eau souterraine : est l'eau qui s'infiltre dans le sol. Elle se déplace à travers les pores et les fractures du sol jusqu'à ce qu'elle atteigne une couche peu perméable. Cette eau s'accumule au-dessus de cette couche et remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les graviers (Barrette, 2006), formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé nappe ou aquifère (Agence Eau Seine Normandie ,2008).

Les principales structures sont :

- **Nappes libres** dont la surface supérieure de l'eau fluctue dans le sol sans contrainte. Il n'existe pas de « couvercle » de roche imperméable sur la réserve qui est en communication avec la surface du sol, et la pluie efficace peut l'alimenter par toute la surface ; aussi appelés nappe phréatique correspondant à la masse d'eau la plus facilement accessible lorsqu'un terrain est foré. L'autre type de nappe libre correspond aux nappes alluviales qui entourent le cheminement des fleuves et rivières en se déplaçant dans le même sens. En termes de qualité, ces eaux sont, selon leur profondeur, plus ou moins facilement influençables par les contaminants provenant de la surface ;
- **Nappes captives**, généralement situées en grande profondeur, sont protégées par leur situation entre deux couches de terrains imperméables. Elles sont moins vulnérables à la contamination sauf aux points de recharge (Barrette, É., 2006; Levi.Y.2013).
- **Eaux souterraines** jouent un rôle tampon qui permet de mieux équilibrer les périodes de pluie et de sécheresse.

Par leur fonction de réservoir, elles approvisionnent les sources, les fontaines et les rivières et participent ainsi à part entière au grand **cycle de l'eau (**Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2010).

L'eau souterraine, est un vaste milieu biologique abritant une multitude d'organismes souterrains (par ex les vers Oligochètes constituent un groupe très intéressant pour caractériser les différentes pollutions) (Bravard, Clémens, 2008).

L'attention du public est généralement attirée sur les risques liés à l'eau de boisson, toutefois, les eaux souterraines constituent un capital fragile de nos civilisations et sont en relation directe avec l'eau de boisson. Il est donc indispensable de protéger la qualité de cette ressource (Levi, 2013).

I.2. Captage de l'eau souterraine

Toujours et partout, les hommes ont su tirer du sous-sol l'eau nécessaire à leurs différents besoins, selon différentes techniques :

I.2.1. Puits de surface « classiques »

Connue dès l'antiquité, cette technique de captage s'est améliorée au fil des siècles (forages maçonnés, forages avec buses préfabriquées…).

Dans des nappes étendues, elle permet de choisir l'emplacement du captage, souvent au plus près du lieu d'utilisation (Agence de l'eau Adour-Garonne, 2012).

C'est un ouvrage de captage dont le diamètre intérieur est généralement supérieur à 60 cm et qui a une profondeur d'au plus 9 m à partir de la surface du sol (figure 1). Comme il est alimenté à partir de la nappe phréatique (aquifère libre), ce forages est plus vulnérable à la contamination puisqu'il exploite la portion supérieure de la nappe phréatique (Barrette, 2006).

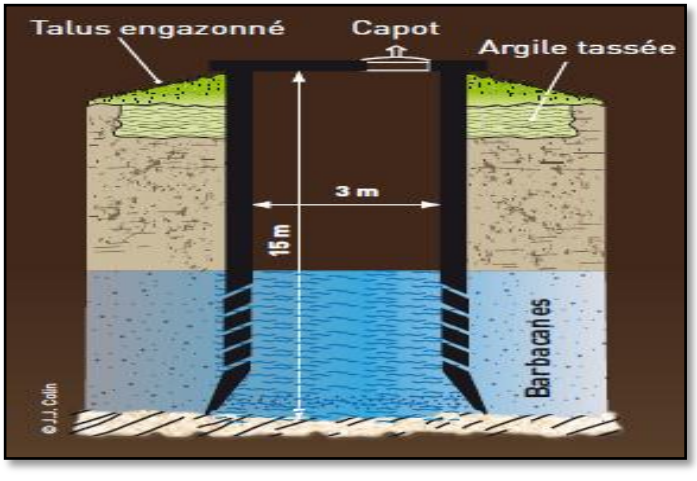

Figure 1: Schéma d'aménagement d'un puits de surface
(Agence de l'eau Adour-Garonne, 2012).

I.2.2. Puits tubulaire (ou forages artésien)

C'est un ouvrage de captage généralement de petit diamètre (152 mm) et de grande profondeur de plus de 9 m (en moyenne 45 m). Plus exactement, le terme « artésien » désigne un puits qui exploite un aquifère confiné pour lequel une condition artésienne est observée (remontée de l'eau dans le tubage, voire jaillissement à la surface).

En raison de la profondeur à laquelle l'eau souterraine est captée, les forages tubulaires sont moins vulnérables à la contamination (Barrette, 2006).

I.2.3. Puits à drains rayonnants

Pour obtenir de très gros débits, on augmente le diamètre« virtuel » des forages en forant horizontalement des drains.

Plus coûteux qu'un forage ordinaire, ce mode est réservé à des usages spécifiques (Agence de l'eau Adour-Garonne, 2012).

I.2.4. Captage de source

C'est l'un des modes les plus anciens. L'eau est captée où elle sort naturellement du sol et amenée jusqu'à son lieu d'utilisation par une conduite ou un aqueduc, parfois très longs (ancien aqueduc romain de Cahors : 33km) (Agence de l'eau Adour-Garonne, 2012).

I.2.5. Galerie drainante

C'est un conduit fermé (canal de drainage ou galerie) de faible pente aménagé dans un aquifère pour collecter par gravité (écoulement naturel) les eaux souterraines.

Peu utilisé en France, ce mode de captage né en Iran s'est répandu dans les régions semi-arides (Afghanistan, Algérie, Maroc…) et jusqu'en Espagne. Les galeries, de la taille d'un homme, peuvent y atteindre plusieurs kilomètres (Agence de l'eau Adour-Garonne, 2012).

I.2.6. Forage

Très vieille technique née en Chine avec des tiges de bambou assemblées, elle s'est améliorée au fil du temps. Apparues au 19ème siècle, des techniques modernes continuent de se perfectionner.

Un trou est creusé dans le sol et les déblais évacués au fur et à mesure.

Si nécessaire le terrain est maintenu pour éviter les éboulements, puis les tubes définitifs et les crépines perforées sont mis en place. Parfois le tubage définitif accompagne l'avancement de la foration.

On peut capter par forage des nappes très profondes (jusqu'à plusieurs milliers de mètres) ou de faible profondeur (Agence de l'eau Adour-Garonne, 2012).

I.3. Impacts anthropiques sur les aquifères

Les écosystèmes d'eau douce sont victimes de nombreuses menaces, qu'elles soient qualitatives (pollution individuelles ou collectives, urbaines, industrielles ou agricoles) ou quantitative (le stress hydrique).

I.3.1. Menaces d'ordre qualitatif (la pollution)

Les sources de pollution constituent un véritable problème de plus en plus critique. Il faut distinguer dans les risques de pollution, les pollutions diffuses et les pollutions ponctuelles dans le temps et l'espace, qui peuvent être accidentelles. Les premières se font à grande échelle (apports agricoles, retombées atmosphériques) ou peuvent être dues à des teneurs inhabituelles en éléments chimiques présentes dans les sols d'une région.

Les secondes sont plutôt liées à des dysfonctionnements d'installations industrielles ou au transport de matières dangereuses pouvant provoquer des rejets toxiques dans le milieu naturel (des fuites sur des conduites ou des cuves, ou l'infiltration de lixiviats d'un dépôt solide) (Bravard ; Clemens, 2008).

I.3.2. Menaces d'ordre quantitatif (le stress hydrique et pénurie d'eau)

On parle de stress hydrique quand la demande en eau dépasse les ressources disponibles.

L'humanité pourrait manquer d'eau durant ce siècle ou du moins la ressource risque de devenir inaccessible dans certaines zones de la planète (figure 2). L'Algérie en est un. Elle est confrontée à un manque d'eau important dû à la semi-aridité de son territoire, aux faibles précipitations, et à la sécheresse qui sévit d'année en année face à des besoins qui ne cessent d'augmenter (Khaldi, 2005).

Figure 2 : Stress hydrique et pénurie de l'eau dans le monde (PNUE, 2010).

En Algérie, la demande en eau et la sécheresse associées ont causé une diminution de la ressource en eau souterraine. La pénurie de ressources hydriques superficielles a entraîné, pendant les dernières années, une exploitation intensive des nappes souterraines surtout à usage agricole, ce qui a produit de fortes baisses de niveaux phréatiques.

D'après les statistiques de 1994-1995, la ressource en eau mobilisable en Algérie est de 14.43 Km 3/an. Cette valeur est inférieure à la normale si on considère la capacité de mobilisation des ressources en eau pour la majorité des pays de la méditerranée qui ont une population légèrement supérieure, et même inférieure que celle de l'Algérie. Cette situation a entraîné des restrictions et des coupures dans l'approvisionnement en eau potable, dans de nombreux noyaux urbains surtout les grandes villes comme Oran et Alger. Ces restrictions sont devenues de plus en plus sévères suite à la persistance de la sécheresse des deux dernières décennies.

En 1987 la population était de 23 millions et sera de 46 millions en2020, ce qui se traduira par une consommation en eau potable et industrielle de l'ordre de 5 milliards de m3/an, alors que la mobilisation actuelle est à peine de2 milliards de m3/an. En comptant les eaux destinées à l'irrigation qui s'élèvent à 6 milliards de m3/an, ce sont 11 milliards de m3/an qui devront être prélevés pour subvenir aux divers besoins du pays.

La diminution des apports pluviométriques qui alimentent en majeure partie le système aquifère et l'accroissement des besoins en eau pour une population de plus en plus importante nous amènent à nous interroger quant au futur de cette ressource (Bekkoussa et al.,2008).

II.1. Données générales et utilisation

Les engrais minéraux correspondent à l'ensemble des matières fertilisantes épandues à la surface des sols et destinées à apporter aux végétaux les éléments indispensables à la constitution de leurs tissus. On distingue les engrais minéraux et les engrais organiques (appelés aussi engrais de ferme) qui comprennent les effluents d'élevage (fumiers bovins, lisiers bovins, porcins ou de volaille), les composts, les boues résiduaires des stations d'épuration, etc (Testud, 2003).

Ils se présentent en général sous forme de granulés sphériques de 2 à 3 mm de diamètre ; ils sont épandus de manière mécanique, soit par gravité, soit à l'aide d'appareils centrifuges ou pneumatiques générant des poussières. II existe également des formes liquides pour pulvérisation ou injection dans le sol. Les engrais à usage domestique (pour plantes d'intérieur ou pour le jardinage) sont usuellement des concentrés liquides à diluer, parfois des granulés ou des bâtonnets imprégnés (Testud, 2003).

En pratique, les engrais minéraux visent à suppléer aux insuffisances des sols en azote - d'où l'importance des nitrates dans leur composition - mais aussi en phosphore et en potassium.

Ils peuvent être des engrais simples (azote [N], phosphate [P] ou potassium [K]) ou des engrais composés, binaires (NP, NK, PK) ou bien plus couramment ternaires (NPK) (tableau 1).

Les principaux constituants de ces engrais sont :

- Sous forme d'azote : nitrate d'ammonium ou ammonitrate (NH_4NO_3), sulfate d'ammonium [$(NH_4)_2S0_4$], urée, ammoniac liquéfié, etc ;
- Sous forme de phosphore : phosphate de calcium [$Ca_3(PO_4)_2$] et superphosphates issus du traitement des phosphates de roche naturels, scories Thomas de sidérurgie, acide phosphorique, etc;
- Sous forme de potassium : chlorure, nitrate et sulfate de potassium (KCl, KNO_3 et K_2SO_4).

Un engrais granulé NPK typique contient 15 à 20 % d'ammonitrate, 8 à 10 % d'anhydride phosphorique sous forme de phosphates d'ammonium et bicalcique, 5 à 15 % d'oxyde de potassium. Mais bien d'autres compositions sont disponibles sur le marché pour répondre à la demande spécifique de chaque type de sol et de culture ; certaines formulations d'engrais prêts à l'emploi contiennent de la cyanamide calcique ($CaCN_2$), qui est plutôt un amendement de sol (Testud, 2003; FAO, 2003).

Les « matières actives » des engrais minéraux solides - nitrates, phosphates et sels de potassium sont des substances non volatiles, très hydrosolubles, voire pour certains (nitrates d'ammonium) hygroscopiques (Testud, 2003).

Du point de vue réglementaire, les engrais ne font pas l'objet d'un classement concernant leur toxicité : certaines formulations liquides sont étiquetées irritantes (Xi) ou corrosives (C) si de l'acide phosphorique est présent à plus de 10 et 25 % respectivement (Testud, 2003).

Il existe cependant, un plafond à la réponse des plantes aux apports azotés, et l'excès d'azote est même nocif à certaines cultures (vigne, arbres fruitiers, betterave à sucre, tournesol, etc.), notamment en favorisant des maladies fongiques et/ou l'infestation par les insectes (Testud, 2003; FAO, 2003; Tessier, 2005).

Tableau 1 : Caractéristiques de quelques engrais minéraux (Moughli, 2000).

Engrais	Avantages	Inconvénients
Ammonitrate	NO_3 est immédiatement disponible, parmi les engrais solides, second après l'urée en teneur en azote.	lessivable, et soumis à la dénitrification dans des sols chauds et humides. Stockage difficile : absorbe l'eau de l'air et durcit après exposition à l'air
urée	Solubilité élevée ; non lessivable après sa conversion sous forme de NH4 ; moins de risque de brulure des feuilles en cas de pulvérisation foliaire	Lessivable par les pluies ou irrigation (juste après l'apport) ; risque de perte de NH_3 par volatilisation si pas incorporé dans le sol par un travail du sol ou eau d'irrigation
Nitrate de potassium	Bonne source d'azote et de potassium	cher
Superphosphate triple (TSP)	Riche en phosphore	

II.2. Situation de l'Algérie par rapport aux engrais

Compte tenu du manque de bases de données et/ou de publications se rapportant à la fertilisation d'une manière générale et à l'utilisation des engrais par culture en particulier, il n'a pas été possible d'accéder à certaines informations (FAO, 2005).

La fabrication des engrais azotés et phosphatés satisfait non seulement les besoins du marché intérieur mais permet aussi l'exportation (FAO, 2005).

L'utilisation des engrais par l'agriculture n'est pas connue exactement, sauf pour les agriculteurs chargés du programme d'intensification des céréales et pour les agriculteurs cultivant la pomme de terre. Un quart seulement des exploitations céréalières applique des engrais et/ou du fumier (FAO, 2005).

Pour les céréales, La moyenne conseillée d'utilisation des deux principaux engrais (N et P_2O_5) oscille entre50 et 100 kg par hectare (FAO, 2005).

Pour la pomme de terre, on assiste à une utilisation intensive des engrais (NPK 15-15-15) et dont les rendements oscillent entre 15 et 40 tonnes par hectare.

Le Programme national de développement de l'agriculture (PNDA) favorise l'intensification agricole. Il prévoit la mise en place de systèmes de cultures en fonction des zones agro-écologiques du pays et encourage une réduction de la jachère. Toutefois, un effort de vulgarisation est à faire pour promouvoir une fertilisation plus adaptée et équilibrée. Surtout dans les zones céréalières, le phosphore et le potassium sont essentiels pour augmenter la tolérance à la sécheresse et favoriser l'assimilation de l'azote (FAO, 2005).

Dans toutes les conditions, l'engrais azoté reste le plus utilisé, probablement de par son effet instantané et remarquable sur les cultures de céréales et dont l'impact sur la culture est mesurable (visible), à l'inverse des autres engrais dont l'effet sur les cultures n'est pas apparent. Un effort de vulgarisation est à faire dans ce sens pour mettre en exergue la synergie et la complémentarité des engrais (FAO, 2005).

L'Algérie, malgré ses richesses, ses potentialités et ses capacités, utilise peu d'engrais comparativement au Maroc. L'utilisation semble se stabiliser autour de 45 unités d'éléments nutritifs/ha, mais reste en deçà des normes d'intensification des cultures et d'amélioration de la productivité (FAO, 2005).

Actuellement l'agriculture algérienne ne consomme que 100 000 tonnes d'éléments fertilisants environ par an alors que, selon la moyenne mondiale, la consommation devrait se situer à 850 000 tonnes par an (FAO, 2005).

II.3. Effets des engrais sur l'environnement

Parmi les effets négatifs attribués aux engrais, on peut citer :

- ils polluent l'atmosphère à travers la dénitrification et la volatilisation de l'ammoniac et contribuent ainsi au réchauffement global de la terre (gaz à effet de serre) associé à un phénomène d'acidification des milieux naturels (figure 3).
- ils polluent le sol par des métaux lourds toxiques tels que le cadmium ;
- ils polluent les rivières et les eaux côtières, ce qui peut entrainer l'eutrophisation et affecter la vie des poissons et autres vies aquatiques ;
- ils polluent les eaux souterraines, ce qui affecte la potabilité de l'eau et augmente les dangers de santé ;

Ces effets négatifs des engrais sont le résultat de leur mauvaise utilisation plutôt que des propriétés intrinsèques de ces produits (Moughli, 2000 ; Union européenne, 2010 ; Levi, 2013).

Parmi ces déséquilibres environnementaux, on va détailler les formes de pollutions associées aux éléments fertilisants les plus utilisés dans pays à savoir l'azote et le phosphore (FAO, 2005).

II.3.1. Pollution azotée: cas des nitrates et nitrites

1) Description, cycle de l'azote

Le nitrate et le nitrite sont des produits de l'oxydation naturelle de l'azote (~78 % de l'atmosphère de la Terre) par les microorganismes dans les végétaux, le sol, l'eau et dans une moindre mesure, par les éclairs ; à travers « le cycle de l'azote » nécessaire à tous les organismes vivants (figure 3).

Bien que le nitrate soit la forme la plus stable d'azote oxydé, en conditions anaérobies et en présence d'une source de carbone, il peut être réduit en nitrite par l'action des microbes. Lorsqu'il y a peu d'oxygène, le processus de dénitrification réduit le nitrite en azote gazeux.

La nitrification est un processus en deux étapes suivant lequel l'ammoniac est oxydé en nitrite, ceux-ci étant ensuite oxydés par des bactéries oxydant l'ammoniac (BOA) et des bactéries oxydant le nitrite (BON), respectivement (Santé Canada, 2012) :

$$NH_3 + O_2 \rightarrow NO_2^- + 3H^+ + 2e^-$$

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2e^-$$

Outre la nitrification bactérienne, la minéralisation et l'hydrolyse peuvent transformer les sources organiques d'azote, comme les matières organiques dans le sol, le fumier et les engrais à base d'urée, en nitrate (Union européenne, 2010).

Figure 3 : Cycle de l'azote (Union européenne, 2010).

2) Utilisations et sources d'exposition

Les processus anthropiques sont les sources les plus répandues de nitrate et de nitrite surtout les activités agricoles par l'utilisation d'engrais inorganiques au nitrate de potassium ou d'ammonium ainsi que de fumier contenant des nitrates organiques , le traitement des eaux usées, les excréments des humains et des animaux, ainsi que les rejets provenant des procédés industriels et des véhicules motorisés. Le nitrate et le nitrite peuvent être produits par nitrification dans l'eau à la source ou dans les réseaux de distribution, lorsque de l'ammoniac est employé à des fins de désinfection à la chloramine (Santé Canada, 2012).

Leurs sels sont utilisés depuis des siècles pour la salaison et la conservation des viandes et du poisson ainsi que pour la fabrication de certains fromages.

Environ 80 % de l'exposition totale au nitrite provient du nitrite formé par la réduction du nitrate par les bactéries orales.

Les nitrates sont également employés dans des applications industrielles comme agents oxydants (par exemple dans la production d'explosifs), et on utilise souvent du nitrate de potassium purifié dans la fabrication du verre. Dans le passé (pendant les années 1930), on administrait de fortes doses de nitrate d'ammonium comme diurétique jusqu'à ce que des cas de méthémoglobinémie soient signalés.

3) Devenir dans l'environnement

En milieu aquatique, il est plus courant de trouver du nitrate que du nitrite car l'ion nitrite est plus instable que l'ion nitrate (OEHHA, 1997 ; U.S. EPA, 2002 ; OMS, 2007).

Les concentrations de nitrate dans les eaux souterraines varient le plus souvent entre 4 et 9 mg NO_3^-/L, tandis que les concentrations en nitrite peuvent en général aller jusqu'à 0,3 mg NO_2^- /L en raison de plusieurs facteurs, notamment le type de sol, la géochimie et l'âge des eaux souterraines. Elles sont habituellement plus élevées que les concentrations dans les eaux de surface parce que les végétaux absorbent très peu de nitrate issu des eaux souterraines et parce que le carbone organique nécessaire à la dénitrification est habituellement absent de ces eaux.

Cependant, les activités agricoles peuvent faire augmenter les concentrations de nitrate jusqu'à plusieurs centaines de milligrammes par litre (concentration non précisée) dans les eaux souterraines et les eaux de surface (OMS, 2007 ; Santé Canada, 2012).

Lorsque l'azote n'est pas entièrement absorbé par les cultures, de l'azote inorganique ou résiduel demeure dans le sol et se présente principalement sous forme de nitrates, lesquels sont facilement lessivés des sols jusque dans les eaux souterraines ou entraînés vers les eaux de surface par le ruissellement .Lorsque les pâturages sont labourés à l'automne et que le sol

est laissé en jachère (nues) pendant l'hiver, les nitrates accumulés dans le sol peuvent être lessivés jusque dans les eaux souterraines (Santé canada, 2012 ; Rodier et al., 2009).

Les types de forages le plus fréquemment contaminés sont les forages peu profonds (inférieure à 15 m) forés ou creusés dans des aquifères libres situés dans des régions agricoles, et on recommande aux propriétaires de ce genre de forages d'analyser le nitrate et le nitrite au moins une fois par année, au printemps ou à l'automne, lorsque les concentrations de nitrate sont habituellement à leur maximum (Santé canada, 2012).

4) Effets sur la santé

a) Toxicité aiguë

Les nitrates sont peu irritants pour la peau et les muqueuses ; ils ne sont pas sensibilisants (Testud, 2003).

Les doses létales des nitrates varient entre 4 et 50 g et entre 67 et 833 mg/kg et celles du nitrite entre 1,6 et 9,5 g et entre 33 et 250 mg/kg (Santé Canada, 2012).

a-1) Effets sur la méthémoglobinémie

La méthémoglobinémie est l'effet indésirable le plus souvent signalé de l'exposition humaine au nitrate ou au nitrite (Santé Canada 2012).

Les nitrites sont beaucoup plus toxiques : ils sont vasodilatateurs, hypotenseurs et puissamment méthémoglobinisants (Testud, 2003).

b) Toxicité subchronique (Santé Canada, 2012).

b-1) Effets sur la thyroïde

Les effets du nitrate sur la fonction thyroïdienne variaient d'une étude à l'autre tant chez les animaux que chez les êtres humains. De manière générale, ces études suggèrent qu'une exposition à des niveaux élevés de nitrate dans l'eau potable (>50 mg/L) pourrait être associée à une augmentation du volume thyroïdien. Une forte exposition au nitrate était associée à des taux significativement plus faibles de TSH dans le sérum de femmes adultes dans l'étude de van Maanen et coll. (1994), mais avec des taux plus élevés d'hypothyroïdie sous-clinique (augmentation de TSH) chez les enfants dans l'étude slovaque.

b-2) Diabète sucré insulinodépendant de type 1

Les données regroupées militent en faveur d'une association entre l'apport en composés contenant de l'azote et le risque de diabète sucré insulinodépendant de type 1 (DID) (Santé Canada, 2012).

c) Exposition prolongée et cancérogénicité

Des données montrent que les effets cancérogènes possibles du nitrate/nitrite ingérés dépendent directement de la formation endogène de composés N-nitroso (CNN) génotoxiques/cancérogènes.

En général, la façon dont les nitrates ingérés contribuent au cancer peut être résumée par quatre événements clés, à savoir : 1) la réduction de nitrate en nitrite; 2) la nitrosation endogène; 3) la conversion de CNN en espèces très réactives (alkylantes); 4) l'alkylation de macromolécules intracellulaires (ADN, ARN et protéines), qui est responsable de la formation subséquente de tumeurs.

d) Toxicité pour la reproduction et le développement

Manassaram et coll. (2006) concluent que les études actuelles ne fournissent pas de preuve suffisante d'une relation causale entre l'exposition au nitrate dans l'eau potable et des effets indésirables sur la reproduction et le développement mais que cette question mérite d'être approfondie (Santé Canada, 2012).

II.3.2. Pollution phosphatée

1) Utilisations et sources d'exposition

La pollution phosphatée des eaux provient à plus de 85 % de l'épandage d'engrais en agriculture et des déjections des animaux d'élevage. Bien que l'usage des détergents soit souvent immodéré, les effluents domestiques en représentent moins de 10 %. Depuis 2007, les phosphates sont interdits dans les lessives pour le linge destinées aux particuliers. Les poudres pour la vaisselle et les lessives industrielles ne sont pas concernées.

Les phosphates peuvent aussi provenir des traitements de vaccination des eaux industrielles contre la corrosion et l'entartrage ou des adjuvants actifs ajoutés aux détergents. Ceux-ci participent à la diminution de la dureté de l'eau, facilitent l'émulsion des huiles et des graisses et maintiennent les salissures en suspension dans l'eau ; l'alcalinité du milieu, modifiée, favorise l'action détersive.

Les phosphates ont longtemps échappé au traitement des stations d'épurations biologiques classiques et de ce fait, se retrouvaient dans les rejets. Le remplacement des phosphates par des complexants organiques (NTA) et l'intégration dans les stations d'épuration a nettement diminué les rejets en phosphates (Pütz, 2008 ; Rodier et al, 2009).

2) Rôle biologique des phosphates

Les phosphates sont des nutriments essentiels à l'ensemble des êtres vivants, végétaux et animaux (Testud, 2011).

Le phosphore est un constituant fondamental des acides nucléiques, des phospholipides membranaires et de nombreuses enzymes ainsi qu'un élément central de l'énergétique cellulaire (adénosine triphosphate [ATP], adénosine monophosphate [AMP], phosphocréatine).

3) Effets sur la santé humaine

Le phosphore ne constitue pas une menace directe aux doses et sous les formes rencontrées dans les eaux de boisson provenant du réseau d'eau potable, et il ne présente aucune toxicité. (Observatoire de l'eau en Bretagne 2013). La Food and Drug Administration (FDA) américaine considère les phosphates inorganiques comme des Generally Recognized As Safe (GRAS) depuis 1973 (Testud, 2011).

Leur toxicité aigüe est extrêmement faible ; les DL50 par voie orale chez le rat s'échelonnent entre 1 380 et 10 600 mg/kg (Testud, 2003 ; Testud, 2011).

4) Phosphore dans l'environnement

Le phosphore total est présent dans les eaux naturelles sous deux formes : phosphate et phosphore organique. Le phosphore peut se trouver sous différentes formes oxydées ;

Sous la forme acide, on trouve les acides méta (HPO_3), pyro (H_4P2O_7) et ortho (H_3PO_4). En milieu aqueux, les acides méta et pyro tendent vers une forme plus stable : l'orthophosphate. Pratiquement, c'est sous cette forme qu'on le rencontre dans les eaux superficielles dont le pH est compris entre 5 et 8 (Rodier et al., 2009).

Leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (Rodier et al. 2009).

Dans les eaux de forages, la présence de phosphates peut avoir pour origine une infiltration en provenance de fosses d'aisance ou de dépôts de fumier (purin), des rejets industriels (industries agro-alimentaires, ateliers de traitement de surface, laveries) et/ou domestiques ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par certains pesticides (Pütz, 2008).

II.3.3. Impacts des pollutions azotées et phosphatées

1) Eutrophisation

Ce sont principalement les phosphates - et non les nitrates - qui sont responsables des phénomènes d'eutrophisation (développement anarchique d'algues de la famille des cyanophycées) des eaux stagnantes des lacs, estuaires, marais ou lagunes (tableau 2). Il en résulte une véritable dégradation, qui peut devenir irréversible (Rodier et al., 2009 ;Testud, 2011 ; Observatoire de l'eau en Bretagne, 2013).

Les caractéristiques principales de l'eutrophisation sont :

- la multiplication des algues et du plancton qui réduit le passage de la lumière, accroît la consommation d'oxygène et s'accompagne d'une modification profonde de la faune, tant en quantité qu'en qualité (Rodier et al., 2009 ; Conseil général du Morbihan, 2012 ;Observatoire de l'eau en Bretagne, 2013).
- la modification des paramètres physico-chimiques du milieu. Suivant le développement de la situation, on passera d'un système oligotrophe à un système mésotrophe pour aboutir à un système eutrophique caractérisé par une anaérobiose généralisée (Rodier et al., 2009 ; Dorioz, 2013).

Tableau 2 : Seuils en phosphore à partir desquels l'eutrophisation des plans d'eau peut débuter.

Seuil de l'eutrophisation en P total	Référence
>20 µg /L	(Lemercier.M. 2003)
> 0,5 mg/L	(Rodier et al. 2009)
> 20 µg/L	(Rodier et al.2009)
0,03 mg/L(Au Québec)	(Painchaud.J. 1997 ; Lemercier.M 2003)
> 0.2 mg/l	(Conseil général du Morbihan 2012)

2) Marées vertes

Ce sont des proliférations de macro-algues vertes qui ont lieu surtout au printemps et en été dans les secteurs côtiers à hydrodynamisme faible. Elles se multiplient principalement dans les eaux mal renouvelées et assez peu profondes du proche littoral.

Elles représentent une forme d'eutrophisation particulière au littoral, mais à la différence des cyanobactéries, leur facteur limitant est l'azote et non le phosphore (Conseil général du Morbihan, 2012).

II.3.4. Méthodes instrumentales pour l'analyse des anions (nitrate, nitrite et phosphate)

1) Spectrométrie d'absorption moléculaire (absorption des radiations lumineuses de l'UV et du visible)

C'est la première méthode qui a facilité l'analyse hydrologique. L'emploi de nombreux réactifs organiques pour le développement des réactions colorées a permis un accroissement tant de ses possibilités que de sa sensibilité. Bénéficiant de nombreuses années d'expérience, applicable à de nombreuses substances (ex : nitrates, nitrites, phosphates...etc.), elle est devenue d'utilisation courante dans l'analyse de l'eau.

Cependant, beaucoup d'éléments, en particulier ceux possédant une toxicité, ne se retrouvent dans l'eau qu'à des teneurs très faibles, d'où l'intérêt de méthodes complémentaires pour le dosage des traces.

2) Analyse en flux

La mise au point de chaînes automatiques d'analyse spectrométrique, dont les réalisations commerciales sont nombreuses et variées, a permis de développer encore les moyens du travail en série et d'étendre le domaine des applications de la méthode avec l'analyse en flux continu.

L'intérêt de ces méthodes d'analyse en flux est multiple. Parallèlement à une augmentation des cadences analytiques, l'automatisation des modes opératoires a permis de réduire les coûts d'analyse (quantités de réactifs mis en œuvre – frais de personnel), tout en minimisant les erreurs et en optimisant les conservations des réactifs

De nombreux systèmes d'analyse en flux reposent sur une détection spectrométrique (UV ou visible), mais d'autres modes de détection sont également mis en œuvre en chimie analytique : fluorimétrie, photométrie de flamme, absorption atomique, potentiométrie, ampérométrie.

3) Chromatographie ionique (CI)

La chromatographie ionique (CI) trouve un domaine d'application très étendu pour l'analyse des ions dans les eaux.

Le procédé physicochimique utilisé pour la séparation des ions est l'échange d'ions. Le mécanisme de cette séparation par échange d'ions repose sur une compétition entre des ions de même charge présents respectivement dans l'échantillon et dans la phase mobile vis-à-vis du groupement fonctionnel de la phase stationnaire de charge opposée.

La phase stationnaire comporte en surface des sites ionisables (et échangeables, de type échangeurs d'ions) et la phase mobile est une solution aqueuse de sels contenant l'ion appelé « ion développeur ».

À l'issue de la séparation, la détection des espèces est assurée par un détecteur adapté (souvent conductimétrique). La quantification s'effectue grâce à la réalisation d'une gamme d'étalonnage, chaque espèce étant détectée sous la forme d'un pic sensiblement gaussien dont l'aire est proportionnelle à la quantité injectée.

L'utilisation de détecteurs spécifiques permet d'accéder au domaine de l'analyse de traces.

II.4. Aspects réglementaires

II.4.1. Législation Européenne

Au niveau européen, la **directive 80/778 du 15 juillet 1980** relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine fixant la quantité maximale en **nitrates** à 50 mg par litre.

La **directive 91/676 du 12 décembre 1991**, appelée **" Directive Nitrates "** sur la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole (Testud, 2003 ; Viennot et al., 2009).

Dans le domaine environnemental, la **directive cadre sur l'eau (DCE, directive 2000/60/CE)** du 23 octobre 2000 définit le cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen (Amalric.L. et al. 2012).

Pour la première fois avec la DCE, les eaux souterraines sont incorporées dans un système intégré de gestion de l'eau. Cependant, les critères d'état chimique n'étaient pas totalement résolus au moment de l'adoption cette directive conduisant ainsi à l'élaboration de la directive du 12 décembre 2006 spécifique aux eaux souterraines **(2006/118/CE)**.

II.4.2.Législation Algérienne

En Algérie, des lois ont été légiférées pour contrôler l'utilisation des produits phytosanitaires.

- **Loi n° 87-17 du 01 AOUT 1987** relative à la protection phytosanitaire ; elle décrit les mesures relatives à la fabrication, l'emballage, l'étiquetage, l'entreposage, la distribution, la commercialisation et l'utilisation des produits phytosanitaires.
- **Décret exécutif n° 95-387 du 28 Novembre 1995,** fixant la liste des ennemis des végétaux et les mesures de surveillance et de lutte qui leur sont applicables
- **Décret exécutif n° 95-405 du 2 Décembre 1995** relatif au control des produits phytosanitaires a usage agricole. Il précise les conditions d'homologation, de fabrication, de commercialisation, et d'utilisation des produits phytosanitaires.
- **Arrêté du 13 mars 2000** définissant **le contenu des mentions et indications d'emballage des produits phytosanitaires à usage agricole.**
- **Loi n° 03-10 du 19/07/2003** relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Elle institue la protection de la diversité biologique ; de l'air et de l'atmosphère ; de l'eau et des milieux aquatiques ; de la terre et du sous-sol ; des milieux désertiques ; du cadre de vie.
- **Décret exécutif n° 03-451 du 7 Chaoual 1424 correspondant au 1er décembre 2003** définissant les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les matières et produits chimiques dangereux ainsi que les récipients de gaz sous pression.il fixe les conditions d'acquisition sur le marché extérieur des engrais, des produits phytosanitaires à usage agricole.
- **Décret exécutif n° 09-414 du 28 Dhou El Hidja 1430 correspondant au 15 décembre 2009** fixant la nature (Tableau 3), la périodicité (Tableau 4) et les méthodes d'analyse de l'eau de consommation humaine (Tableau 5).

Tableau 3 : Périodicité minimale des analyses d'eaux brutes à effectuer au niveau des ouvrages et installations de production destinés à l'alimentation en eau potable.

Débit journalier produit (m3/jour)	Périodicité eaux superficielles	Périodicité eaux souterraines
Inférieur à 100	Une fois par an	Une fois tous les deux ans
100 à 5 000	Deux fois par an	Une fois par an
5001 à 20 000	Six fois par an	Trois fois par an
Supérieur à 20 000	Douze fois par an	Six fois par an

Tableau 4 : Paramètres à analyser sur les échantillons d'eaux brutes prélevés au niveau des ouvrages et des installations de production.

Groupes de paramètres	Paramètres
Paramètres organoleptiques	Couleur; Odeur
Paramètres physico-chimiques.	Cl^- ; pH; Conductivité ; DBO $_5$; DCO ; MES ; SO_4^{-2} ; O_2 dissous
Paramètres chimiques	NH_4 ; Ba ; B ; Fe ; F ; Mn ; NO_3^- ; P ; As ; Cd ; Cr ; Cu ; CN ; Hg ; Pb; Se ; Zn ; HAP ;Phénols ; Agents de surface ; Azote kjeldhal ; Pesticides
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli; Entérocoques ; Salmonelles

Tableau 5 : Méthodes référentielles d'analyse des nitrates, nitrites, phosphore, conductivité selon la réglementation Algérienne.

Paramètres	Méthodes d'analyse
Nitrates	par spectrophotométrie d'absorption moléculaire par flux continu
Nitrites	par spectrophotométrie d'absorption moléculaire par flux continu
Phosphore	par spectrophotométrie
Conductivité à 20°C	électrochimique par sonde

- **Décret exécutif n°11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011**relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine**.** Il fixe les paramètres de qualité de l'eau de consommation Humaine ainsi que les modalités de contrôle de conformité (Annexe 1).

II.4.3. Recommandation et normes proposées sur le plan national et international

1) Nitrates et nitrites

On peut exprimer les concentrations de nitrate et de nitrite sous deux formes: comme concentration d'ions (c'est-à-dire en mg de NO_3^-/L ou en mg de NO_2^-/L) (tableau 6,7), ou comme concentration d'azote élémentaire (N) (Santé Canada, 2012).

Tableau 6 : Concentration maximale acceptable (CMA) en nitrate dans les eaux selon différents organismes (Rodier et al. 2009 ; Agence de l'eau Seine-Normandie, 2009; Journal Officiel de la République Française, 2007 ; J.O.A, 2011).

Organisme	Eau souterraine	Eau potable
OMS	/	50mg/l
CE	/	50mg/l 25mg/l *
Réglementation Française	≤ 100mg/l	50mg/l
Santé Canada 2012	/	45 mg/L
EPA des É.-U. (1991)	/	45 mg/L
Réglementation Algérienne	/	50 mg/L

Tableau 7 : Concentration maximale acceptable (CMA) en nitrite dans l'eau selon différents organismes (Rodier et al, 2009 ; Journal Officiel de la République Française, 2007 ; J.O.A, 2011).

Organisme	Eau potable
OMS	3mg/l (à court terme), 0.2 mg/l(à long terme)
CE	0,5 mg/l
Réglementation Française	0,5 mg/l
EPA des É.-U. (1991)	3,3 mg/L
Réglementation Algérienne	0,2 mg/L

2) Composés phosphorés

Les **orthophosphates et Phosphore** total sont retenus pour la caractérisation de l'état des masses d'eau, en application de la **directive cadre sur l'eau** (éléments de qualité physico chimique – nutriments) sont les mêmes que celles appliquées dans le **Système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-Eau)** ; les classes de qualité (code couleur - valeurs seuils (Q90) (tableau 8,9).

Tableau 8 : Limites des classes de qualité (indice SEQ-Eau) pour l'altération des masses d'eau par les matières phosphorées (Lemercier, 2003 ; Conseil général du Morbihan, 2012 ; Observatoire de l'eau en Bretagne, 2013).

Orthophosphate (PO_4^{-3}) :	Rouge - Mauvais : Q90 ≥ 2 mg/L ; Orange - Médiocre : 1 ≤ Q90 < 2 mg/L Jaune - Moyen : 0,5 ≤ Q90 < 1 mg/l; Vert - Bon : 0,1 ≤ Q90 < 0,5 mg/l; Bleu - Très bon : Q90 <0,1 mg/l
Phosphore total (P) :	Rouge - Mauvais : Q90 ≥ 1 mg/l ; Orange - Médiocre : 0,5 ≤ Q90 < 1 mg/l ; Jaune - Moyen : 0,2 ≤ Q90 < 0,5 mg/l; Vert - Bon : 0,05 ≤ Q90 < 0,2 mg/l; Bleu - Très bon : Q90 <0,05 mg/l

Tableau 9 : Teneurs retenus pour les matières phosphorées en Algérie et au Québec (Lemercier, 2003 ; Observatoire de l'eau en Bretagne, 2013 ; J.O.A, 2011).

Québec	Pour le phosphore total : Bleu - Très bon : Q90 < 0,02 mg P/l pour les rivières débouchant dans un lac Bleu - Très bon : Q90 <0,03 mg P/l pour les autres
Réglementation Algérienne	CMA **phosphore=5 mg/l** dans eau potable

Le tableau suivant indique les valeurs limites fixées par la réglementation algérienne.

Tableau 10 : Tableau récapitulatif des valeurs limites concernant la conductivité électrique, le pH, les nitrates, les nitrites, le phosphore selon la législation Algérienne. (J.O.A, 2011).

Paramètres	**Unités**	**Valeurs limites**
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	**≥6,5 et ≤9**
Conductivité électrique à 20°C	µS/cm	**2800**
Nitrates	mg/l	**50**
Nitrites	mg/l	**0,2**
Phosphore	mg/l	**5**

III.1. Bases de l'analyse spatiale

III.1.1. Système d'information géographique

L'analyse spatiale étant une composante des systèmes d'information géographique sa compréhension suppose que le lecteur possède une bonne formation dans ce domaine (Régis et Collet, 2005).

Un système d'information géographique est un ensemble de matériels de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, la modélisation et l'affichage de donnés à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexe d'aménagement et de gestion (Ficcidc, 1988).

Le système d'information géographique(SIG) peut être très simplement défini comme un outil informatique qui permet d'intégrer, l'analyse et de représenté des données qui ont ou non une dimension géographique (Lahlouet al. 2002).

Les principales fonctions du SIG sont :

- La saisie, le stockage et la gestion de données.
- Le traitement, l'analyse, la sélection et l'affichage des données.
- La production de cartes, rapport, tableaux et autres synthèse d'information.

III.1.2. ArcGIS

Arc gis est un SIG regroupant des logiciels client (Arc view, Arc editor, Arc info et Arc explorer) (figure 4) (Midekor et Wellens, 2007).

En 1981, ESRI (EnvironmentalSystemsResearch Institute) lança son premier logiciel SIG commercial appelé Arc Info, qui combinait l'affichage d'entités géographiques (points, lignes, ou polygones) avec des outils de gestion de base de données pour associer des attributs à ces entités. Le modèle de données géographique utilisé alors était appelé « modèle géo relationnel » il a été utilisé jusqu'à la version 7 d'Arc Info.

En 2000, ESRI a lancé la version 8d'Arc Info, qui introduit de nouvelles applications bureautique pour Windows ainsi qu'un nouveau modèle de données « la géodatabase » tous en maintenant l'ancien modèle géo relationnel (Bonnet, 2000).

Aujourd'hui la gamme ESRI s'appelle ARCGIS, et peut se décomposer en trois partie : ARCVIEW, ARCEDITOR et ARCINFO

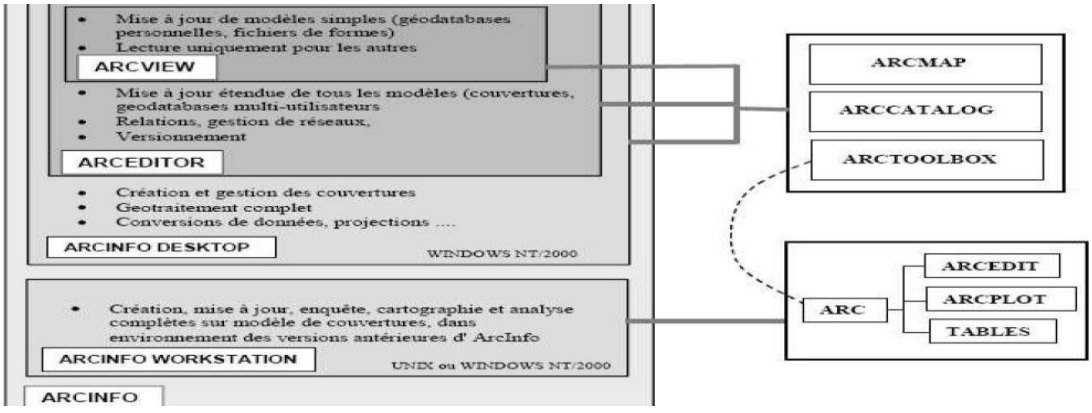

Figure 4 : Description du logiciel Arcgis

III.1.2. Extensions ArcGIS

Parmi les extensions les plus utilisées en analyse spatial figurent (figure 5) :

- Spatial Analyst : traitement des données image (raster).
- 3D Analyst (applications ArcScene et ArcGlobe) : analyse de surface, visualisation 3D.
- Geostatistical Analyst : fonctions avancées d'interpolations de surface (krigeage...).

Les applications d'Arc GIS sont gérer par une boîte àoutils commune appelée Arctoolbox (Bohbot, 2014).

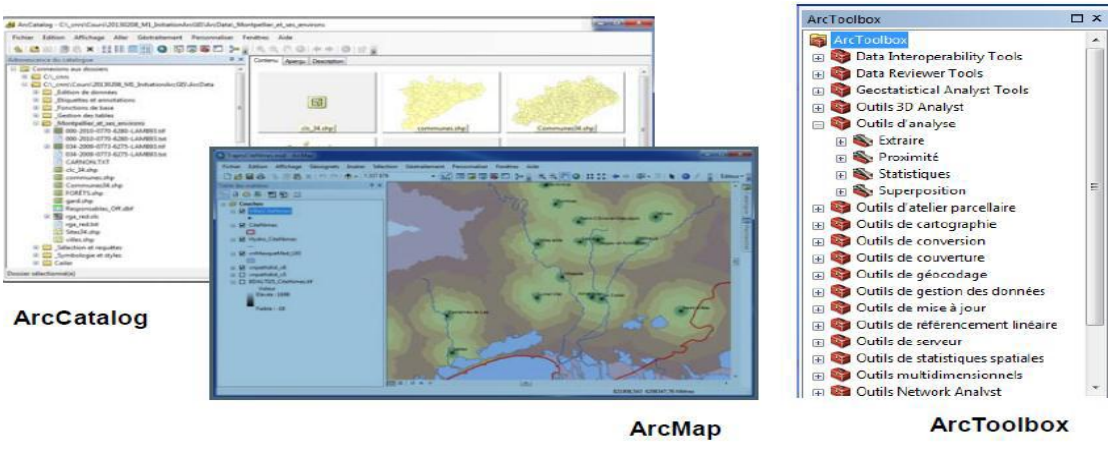

Figure 5 : Applications d'Arcgis (Bohbot, 2014).

1) ArcMap

C'est l'application principale elle permet de visualiser les données de les saisir et les mettre à jour, d'effectuer des analysede cartographier et mettre en page ces données géographiques (Bonnet E, 2010). ArcMap est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler ,analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données (Soudani, 2006).

2) Arc Catalog

C'est dans Arc catalog que sont définies toutes les connexions aux données nécessaires, ces connexions peuvent appeler des dossiers sur un disque des bases de données en réseau ou des serveurs internet, Arc catalog repose sur plusieurs méthode d'affichage du contenu de donnés et permet l'explorer rapidement le contenu des différents jeux de données présent (Bonnet E, 2010).

III.2. Méthodes d'étude de la variabilité spatiale

III.2.1. Approche déterministe

Comme Spline, polynomiale, inverse distance (connue sous l'abréviation anglaise IDW) et la triangulation considèrent la variabilité régionale par une fonction aléatoire en assumant que les observations sont faites sans erreurs.

III.2.2. Approche statistique

En statistiques spatiales, les données sont collectées en des lieux dont on a relevé la position géographique dans le but d'utiliser cette information spatiale dans la modélisation statistique. On classe habituellement les statistiques spatiales en trois grands domaines, qui correspondent à des types de données distincts. Lorsque les données sont échantillonnées irrégulièrement mais peuvent en principe être mesurées en tout point d'un domaine continu (p.ex. les teneurs en matière organique dans un champ agricole) on utilise le formalisme des champs aléatoires continus ; c'est le domaine habituel de la géostatistique. Lorsque, par leur nature même, les donnéessont liées à un réseau (pour des images ou des données récoltées sur des entités administratives, etc.), il est certes possible d'utiliser le formalisme de la géostatistique (Denis Allard, 2012).

Autrement, la géostatistique repose sur le principe de l'autocorrélation spatiale qui préconise que les observations rapprochées dans l'espace tendent à posséder des caractéristiques similaires. En outre, elle se distingue par le calcul d'erreurs d'estimation associées (Matheron, 1963). Chaque carte d'abondance relative (fraction ou classe du sol) restitué est donc à analyser en parallèle de celle de la carte des erreurs qui lui sont associées (Renard et Comby, 2006). Les méthodes considérées dans cette recherche, à savoir : IDW, Spline, le Krigeage ordinaire (KO) et le Krigeage universel (KU).

1) Statistique descriptive

S'attache à produire des indicateurs sur les données globaux synthétique de tendance centrale et de dispersion, tels que le mode, la médiane, la moyenne, la variance, etc. Elle tente d'établir des liens entre les observations et la population sous-jacentes, ainsi qu'entre les variables

manière à est estimer un comportement du phénomène. Connaissant le comportement il devient possible de prévoir une future évolution (Régis et Collet, 2011).

2) Statistique Explicative

La seconde voie a résidé dans le développement considérable des approches statistique pour décrire les corrélations spatiales des et en prédire, avec une précision connue, la valeur en des sites non reconnus.

III.2.3. Nombre d'observation (échantillonnage)

Le nombre d'observation est défini par la résolution désirée. Une approche empirique loi du quart (Boulain ,1980), fournit un premier ordre de grandeur du nombre d'observation : elle édicte la nécessité d'avoir un site d'observation pour un quart de cm^2 de carte finale, en tenant compte de l'expérience de cartographe et de la complexité supposée de la zone d'étude (legos, 1996).

III.2.4. Emplacement des échantillons

L'emplacement des observations de terrain peut également être défini selon l'approche statistique est déterminé une fois pour avant la prospection, selon des procédures de tirage aléatoires prédéfinies (figure 6), qui permettent une exploitation statistique ultérieur des observations (Frontier, 1997).

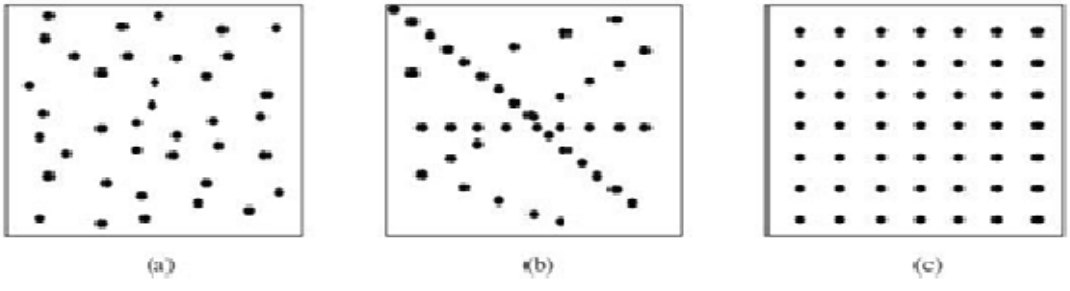

Figure 6 : Formes d'échantillonnage spatial : (a) aléatoire ;
(b) systématique par transect; (c) systématique grille.

III.3. Modèles de la variation spatiale

III.3.1. Phénomène discret et continue

Un phénomène spatiale discret est circonscrit par ses limites, il constitue de ce fait un objet géographique, la structure du système d'information qui lui correspond tente donc à reproduire cette perception, on l'appelle pour cette raison l'approche objet. Un phénomène est dit continu dans l'espace s'il est définit on tout point de l'espace géographique et que ses propriétés varient localement de manière graduelle et structurée (figure 7) (Régis et Collet, 2011).

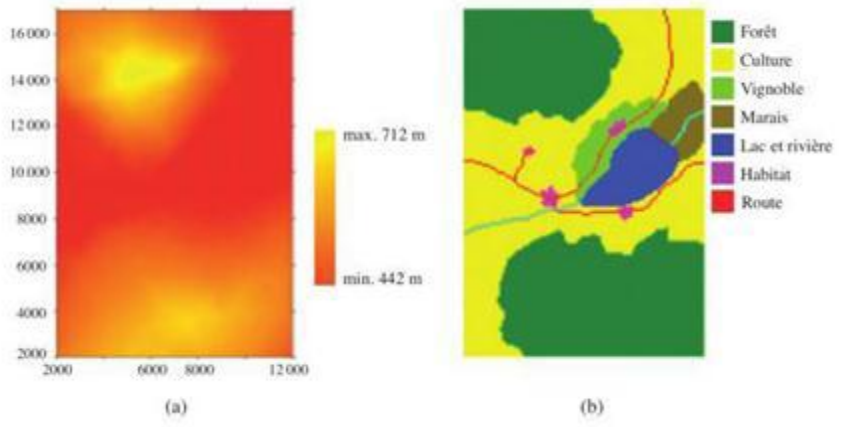

Figure 7 : Exemple de phénomènes spatialement continu et discret :
(a)altitude (continu) ;(b) l'occupation du sol (discret).

III.3.2. Phénomène spatial discontinu

Se rapportent à la modélisation en objet de l'espace géographique, les propriétés associées se déclinent en trois dimensions : géométrique, thématique et spatiale, les projets spatiaux sont décrits par des indices selon leur forme leur taille. La distribution spatiale ainsi que par le degré éventuel de dépendance spatiale. Un phénomène est discontinu si sa distribution des propriétés thématique dans l'espace géographique est discontinu ou corollairement, s'il ne peut être décrit par une variable continue l'exemple le plus courent est l'occupation du sol (Régis et Collet, 2011).

III.4. Modélisation de la variabilité spatiale

III.4.1. Approche géostatistique

Daniel Kriege, géologue dans les mines d'or, proposa dans les années 60 une méthode statistique pour estimer la teneur d'un bloc de minerai à partir d'échantillons pris autour du bloc à exploiter. Dix ans plus tard, Georges Matheron développa un outil pour analyser la continuité spatiale des teneurs appelé le « variogramme » et une méthode d'estimation basée sur le « variogramme » appelée le « krigeage ».

Aujourd'hui, la géostatistique s'exprime dans des champs d'applications comme l'océanographie, la météorologie, le génie civil, l'environnement, la géologie, la qualité de l'air et des sols, la santé, etc.

Techniquement, la géostatistique utilise également une combinaison linéaire des données observées, mais à la différence des méthodes classiques d'interpolation, elle tient compte à la fois de l'information relative à leur position et du caractère aléatoire du phénomène étudié. De plus, elle permet d'intégrer des informations auxiliaires dans l'estimation (Wilfrid, 2006).

1) Analyse variographique

L'analyse variographique est une étape préalable au krigeage qui permet de l'estimer (figure 8). Cette analyse est en fait l'étude du comportement spatial de la variable régionalisée examinée. Le concept de stationnarité est d'abord défini, puis le modèle de base du krigeage est expose en termes de variations spatiales a différant échelles. De la dentition de stationnarité est tirée une fonction représentant la dépendance spatiale : le semi-variogramme (Sophie, 2005).

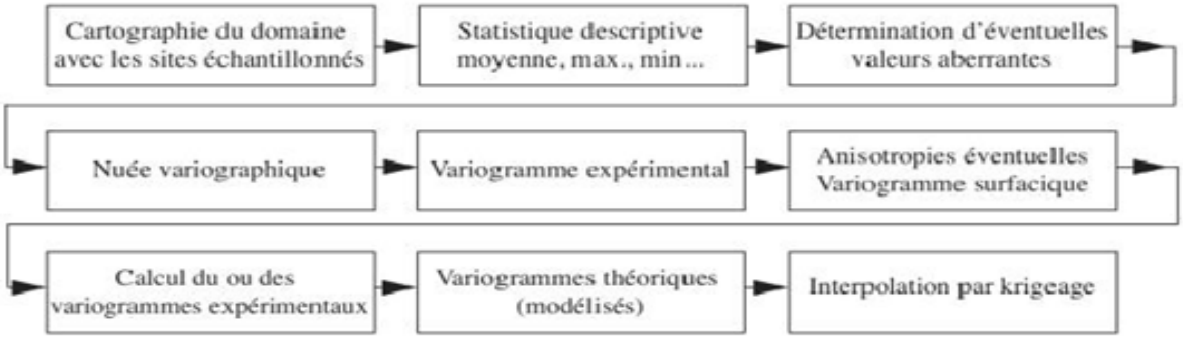

Figure 8 : Procédure d'analyse variographique.

2) Nuée variographique

La corrélation décrit le degré de liaison entre deux variables, par exemple la teneur mesurée en deux échantillons distants de 100m. A la notion de corrélation, on préfère celle plus générale de variabilité, qui mesure l'amplitude de l'écart entre les valeurs.

La nuée variographique est le nuage de corrélation du demi-écartquadratique. ij=½[z (xi)-z (xj)]^2 fonction de la distance *dij* entre les points de prélèvements *xi* et *xj*.

Une nuée variographique se présente comme un nuage de points. Le moyen le plus simple pour la résumer à en calculer la moyenne par classe de distance (voir la courbe tracée sur la nuée, Cette courbe croit généralement avec la distance *h* et se stabilise parfois à partir d'une certaine distance.

3) Carte variographique

Est un moyen très commode pour vérifier la présence d'éventuelles anisotropies. Elle consiste à représenter à l'aide de couleurs la valeur du variogramme en fonction de la distance et de l'orientation. Lorsque le phénomène est isotrope, le variogramme dépendant seulement de la distance mais pas de l'orientation, la carte variographique se présente sous forme de cercles concentriques centrés sur l'origine.

La carte variographique met facilement en évidence des anisotropies différentes pour les structures aux différentes échelles. Les directions principales d'anisotropie, correspondant aux

directions de plus forte et de plus faible variabilité, se lisent parfois directement sur la carte (Chilès J, 2004).

4) Variogramme expérimental

Le variogramme expérimental est utile pour explorer les données, mais il n'est pas adéquat pour répondre aux questions de prédiction. Pour cela on doit disposer d'un modèle de variogramme, pour les deux raisons suivantes :

- Pour réaliser la prédiction, il faudra connaître le variogramme à des distances pour lequel Il n'a pas été calculé empiriquement selon les équations ci-dessus. Il faut donc unmodèlepour ces distances (Denis, 2012).
- Le variogramme est défini expérimentalement comme la moyenne sur le champ étudié, du demi carré de l'écart entre les valeurs mesurées en deux points, en fonction de la distance et de l'orientation séparant ces deux points Le variogramme est la moitié de l'écart quadratique moyen en fonction de la distance *h* (Chilès, et al., 2005)

$$\gamma(h)=\frac{1}{2}\frac{1}{n(\vec{h})}\sum(z(x_i+\vec{h})-z(x_i))^2$$

Avec :

- ✓ $n(\vec{h})$ nombre de couples de points distants d $(\vec{h})$
- ✓ $(z(x_i+\vec{h})-z(x_i))^2$écarts quadratiques des teneurs aux points *x* et $x+(\vec{h})$.
- ✓ $1/n(h)\ \Sigma\ (z(x_i+\vec{h})-z(x_i))^2$ moyennes de ces écarts quadratiques pour tous les couples de points distants de *h* disponibles
- ✓ Le coefficient ½ simplifie les calculs ultérieurs.

5) Semi-variogramme

Le semi-variogramme, fonction qui exprime la variation de la demi-variance est couramment utilisé pour analyser la dépendance des observations spatiales (Nolin, Cambouris, et Simard. 1997). Elle est à la base de la technique d'interpolation par krigeage. Le semi-variogramme permet de déterminer si la distribution des paramètres étudiés est régionalisée (i.e. possède une structure spatiale), aléatoire ou périodique. La figure 1 présente un modèle théorique de semi-variogramme où la semi-variance γ(h) est fonction de l'intervalle d'échantillonnage (h) et dont l'équation est donnée par :

$$\gamma(h) = 1/2\ \mathrm{var}\,(Z(x) - Z(x+h))$$

Pour faire l'analyse spatiale d'une propriété, trois paramètres sont importants à considérer dans ce graphique. Ce sont la constante de pépite, le palier et la portée (Smith, Halvorson, &

Robert, 1993). Le variogramme est une fonction de *h*, croissante et souvent caractérisé par quatre paramètres (figure 9) :

- ✓ *L'effet de pépite C0 (nugget) :* est la valeur de γ(h) quand h=0. Elle représente la composante aléatoire de la variation et correspond à l'erreur d'échantillonnage et à la variabilité présente à une distance inférieure à l'intervalle d'échantillonnage (lag), donc non prise en considération par le dispositif d'échantillonnage.
- ✓ *Le palier C+C0 :* si présent, est caractérisé par l'atteinte d'un plateau où γ(h) devient constant avec l'évolution de h. Si les échantillons sont reliés les uns aux autres, le semi-variogrammeprend une allure linéaire dans sa phase initiale pour ensuite atteindre le palier (Nolin, Cambouris, et Simard, 1997) La valeur de h pour laquelle γ(h) atteint le palier s'appelle la portée
  - *La portée a :* Distance où deux observations ne se ressemblent plus du tout. Leur covariance est nulle.

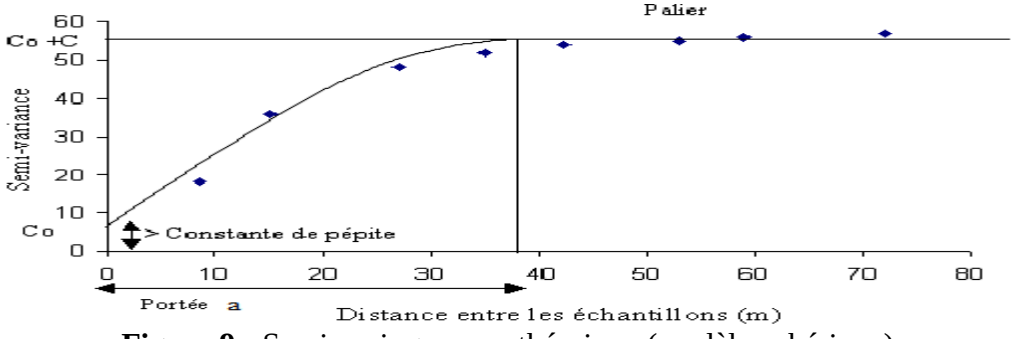

Figure 9 : Semi-variogramme théorique (modèle sphérique).

III.4.2. Interpolation par krigeage

Le krigeage, développée par (Matheron G, 1962). Le krigeage sert à effectuer de l'interpolation spatiale, c'est à dire qu'il permet de prévoir la valeur prise par un phénomène naturel un site à partir d'observations ponctuelles de ce phénomène en des sites voisins (Sophie, 2005).

Le variogramme, il est possible de calculer la variance d'estimation associée à tout estimateur linéaire, et de plus de déterminer les pondérateurs qui conduisent à la variance d'estimation minimale tout en assurant une absence de biais : c'est le krigeage. Les principes en sont bien connus. La théorie se développe d'abord dans un monde idéal où moyenne et covariance sont connues ; le krigeage simple jouit alors de nombre de bonnes propriétés : orthogonalité de l'estimateur et de l'erreur d'estimation, non biais conditionnel, identité avec l'espérance conditionnelle dans le cas gaussien. Avec le krigeage ordinaire et le krigeage universel elle se généralise à des cas où la moyenne n'est plus connue, au prix toutefois d'une perte de certaines bonnes propriétés du krigeage simple (Chilès, et al., 2005).

PARTIE PRATIQUE

OBJECTIFS ET DEMARCHE GENERALE DE L'ETUDE

La présente étude a été réalisée dans le périmètre d'Adrar, où ce problème commence à prendre de l'ampleur.

L'étude descriptive a conditionné le choix des indicateurs de qualité, on a retenu ceux qui sont en relation directe avec les problèmes réels que connaissent les eaux souterraines de la région : **salinité, pollution diffuse par les engrais.**

Les paramètres concernés sont alors: la **conductivité électrique, les nitrates, les nitrites et les phosphates** comme indicateurs de la **pollution trophique**.

L'étude géostatique offre une gamme d'outils puissants pour l'analyse exploratoire des données spatiales et la création des surfaces interpolées.

Ce travail a pour objectif de :

- Connaitre les types d'intrants réellement appliqués aux cultures par le biais d'une enquête descriptive menée auprès des professionnels du domaine.
- créer des modèles continus à partir des données échantillonnées et de prédire ainsi les valeurs sur des régions où le prélèvement n'a pas pu être effectué.
- Valider les méthodes de dosage des nitrates, nitrites et orthophosphates dans l'eau de forages par spectrométrie d'absorption moléculaire dans le visible.
- Estimer les teneurs en éléments nutritifs (nitrates, nitrites et phosphates) des eaux souterraines de la région d'Adrar, afin d'identifier les forages contaminés.

IV.1. Contexte général d'étude

Dans le périmètre cultivé d'Adrar, on a réalisé cette étude descriptive sur l'utilisation des engrais d'une part pour connaitre les types d'intrants réellement appliqués sur les cultures, et d'autre part pour évaluer les facteurs existant sur le terrain conduisant à la présence des résidus d'intrants dans les eaux phréatiques en quantité menaçant la santé publique.

IV.1.1. Présentation de la zone d'étude

La région d'étude se situe dans la partie centrale du Sahara algérien, elle s'étend sur une superficie de 427 968 km², occupée par une population de 399 714 habitants, dont l'activité est l'agriculture, elle se caractérise par un climat désertique très chaud, avec des faibles précipitations durant tout l'année et des températures très élevées de l'ordre de 45°C pendant l'été (ANDI,2013).

IV.1.2. Enquête auprès des professionnels d'agricultures (DSA, OAIC, OF, ANRH)

Une enquête menée, à l'aide d'un questionnaire (annexe 1), sur terrain a permis un recueil d'informations concernant les besoins en eau, les pratiques agricoles, la typologie des engrais utilisés, les analyses physico-chimiques préalablement effectuées sur les prélèvements d'eaux.

IV.1.3. Modalités des prélèvements

Initialement, Une campagne avait déjà été menée avant notre arrivée par l'agence nationale des ressources hydriques pour contrôler l'état qualitatif des eaux souterraines. On a procédé à la réalisation de quelques applications des techniques de la géostatistique au domaine de l'hydrogéologie (aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eau) sur la série d'analyses chimiques déjà effectués sur la nappe pour déterminer la zone de représentabilité d'un points d'échantillonnage.

Deuxièmement, on a réalisé des prélèvements d'eaux. Celles-ci ont servi au dosage des nutriments (nitrates, nitrites et orthophosphates). On a collecté huit échantillons durant le printemps (mai).

IV.2. Applications de la géostatique à l'hydrochimie

Pour effectuer cette étude, les données d'analyse physico-chimique des points d'eau inventories sont collectées de l'agence nationale des ressources hydrauliques de la wilaya de Adrar.

Tous les traitements des données ont été effectués à l'aide d'ArcGIS version 10 avec les extensions d'analyse spatiale. L'extension « analyse géostatistique » du logiciel ArcGis possède un module d'analyse exploratoire des données spatiales qui permet de visualiser et d'analyser les données selon des techniques statistiques. Ce module offre une large gamme de possibilités permettant la détection de tendances ou de dérives dans les données, le repérage

des valeurs anormales et l'étude des corrélations spatiales de ces données (Johnston et al. 2001).

IV.2.1. Mise en œuvre des points d'échantillonnage

- Ouvrir la base de données qui est enregistrée sur Excel 2007 par ARCGIS 10.3.
- Sélectionner les coordonnées X et Y (1) et sélectionner le système de projection (2)
- Une fois qu'on a affiché les points (figure10), les échantillons sont localisés (3) dans un système de projection bien déterminé.

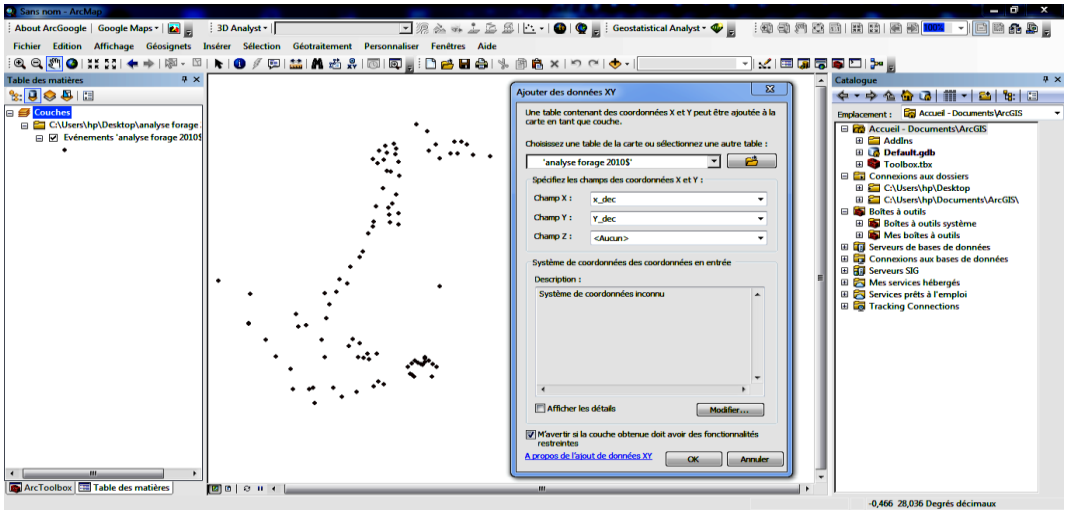

Figure 10 : Introduction des données.

IV.2.2. Cartographie de la surface des teneurs en nitrates

On va faire la cartographie de la surface de concentration des nitrates dans la nappe phréatique en utilisant les paramètres de Krigeage ordinaire.

- On clique sur « GeostatisticalWizard » (1) pour commencer l'analyse géostatistique (figure 11).

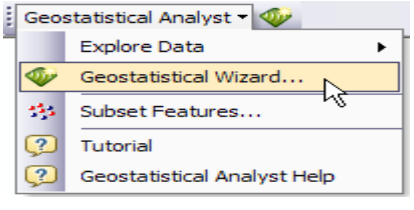

Figure 11 : Choix d'assistant géostatistique.

- Une boite de dialogue (2) qui sera affichée et qui demandera la méthode d'interpolation et l'emplacement de données qu'elles vont être interpolées. On choisit la méthode Krigeage (figure 12) et on importe les valeurs des nitrates et on met en place les coordonnées X et Y des données.

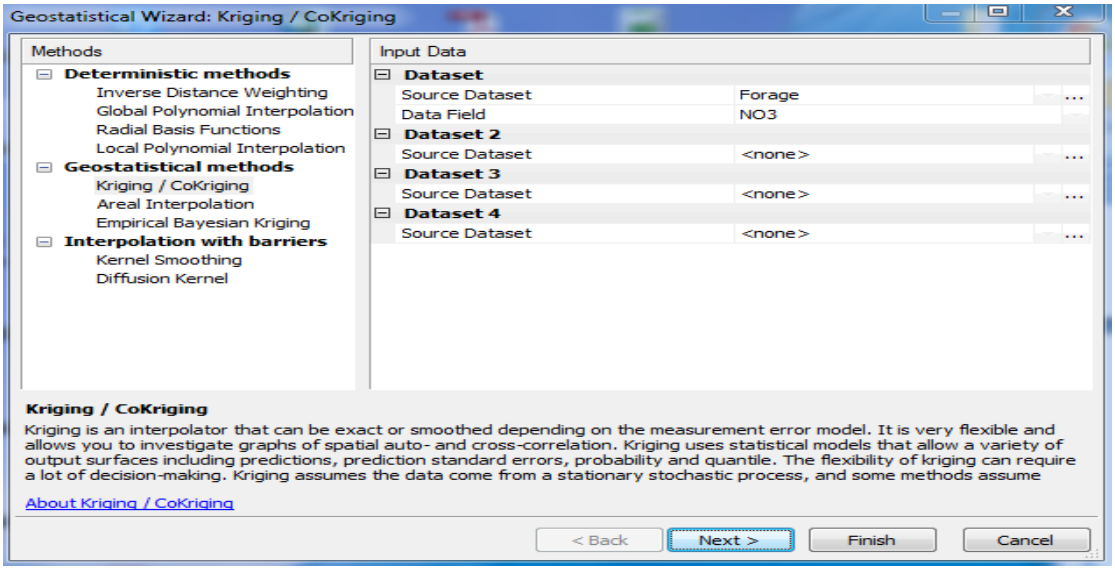

Figure 12 : Choix de la méthode Krigeage

- On sélectionne dans la boite de dialogue « méthode géostatistique » la carte de prédiction et on choisit le second ordre de suppression de la tendance (3) (figure 13).

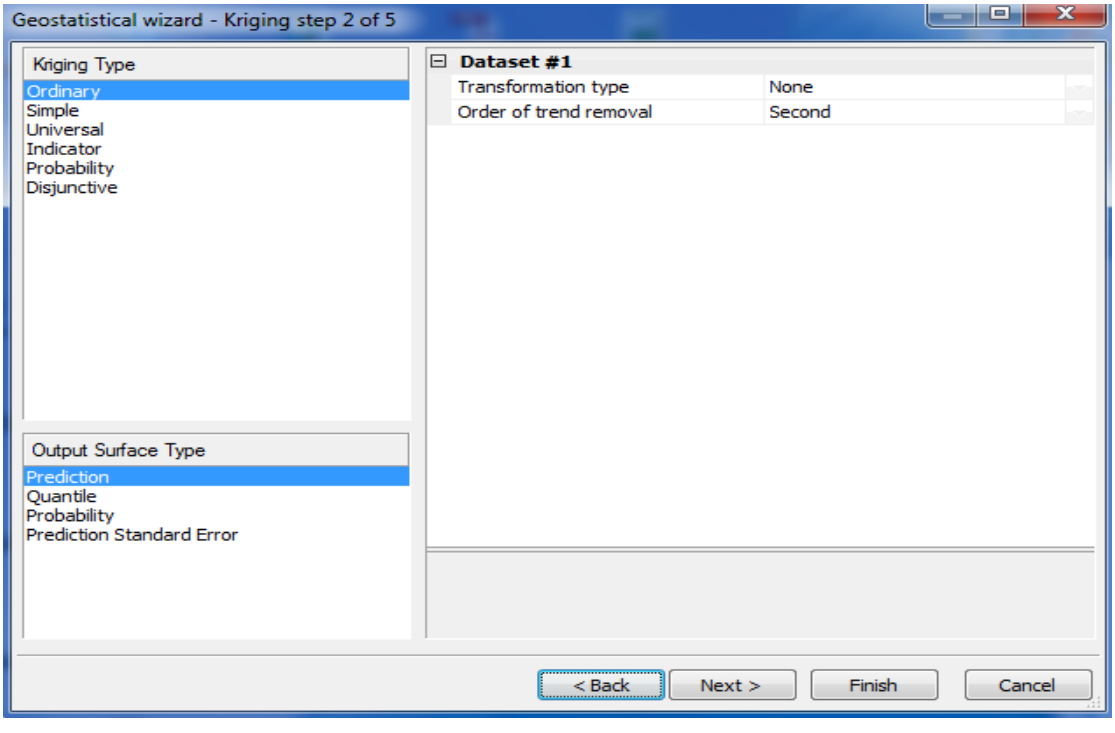

Figure 13 : Choix du type de krigeage, la surface de sortie,
Ordre de la suppression de la tendance

- La boite de dialogue (4) montre l'élimination de la tendance en option standard (figure 14).

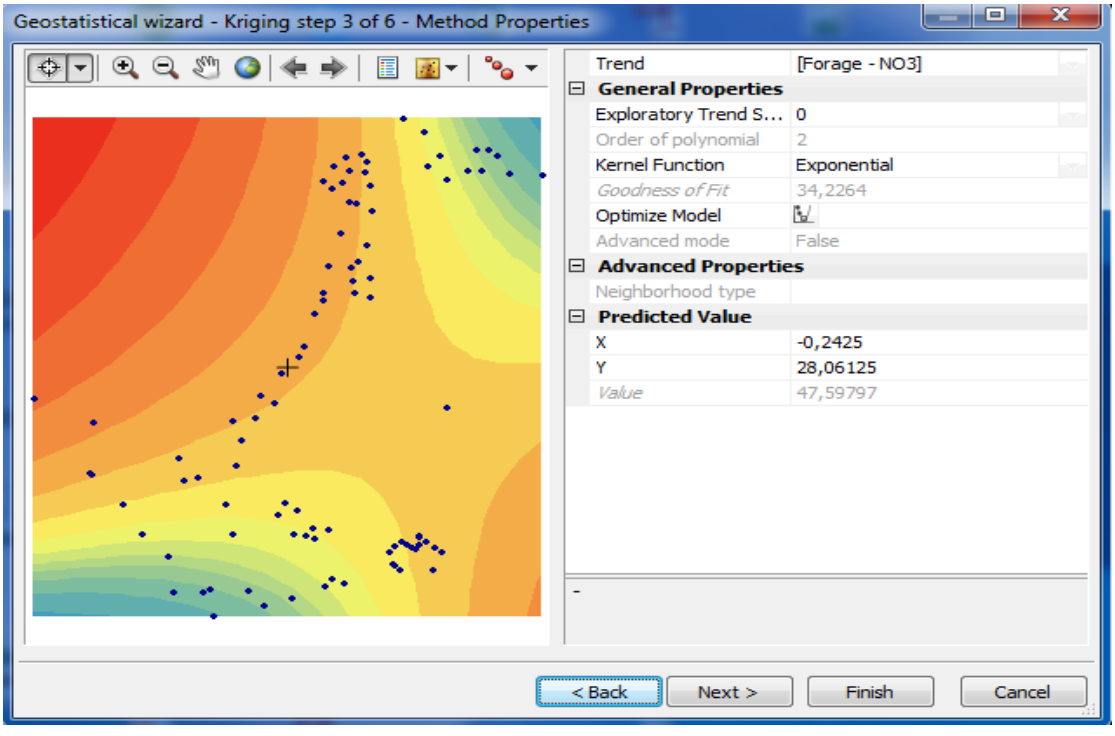

Figure 14 : Elimination des tendances.

- Cette étape est considérée comme la plus importante puisque on va faire la modélisation du semi variogramme (5). Le nuage des points présentés dans le semivariogramme doit être corrélé en faisant cocher anisotropy (a) ensuite on modifie la direction de l'angle (b) pour atteindre un maximum de points proches de la courbe modèle (figure 15).

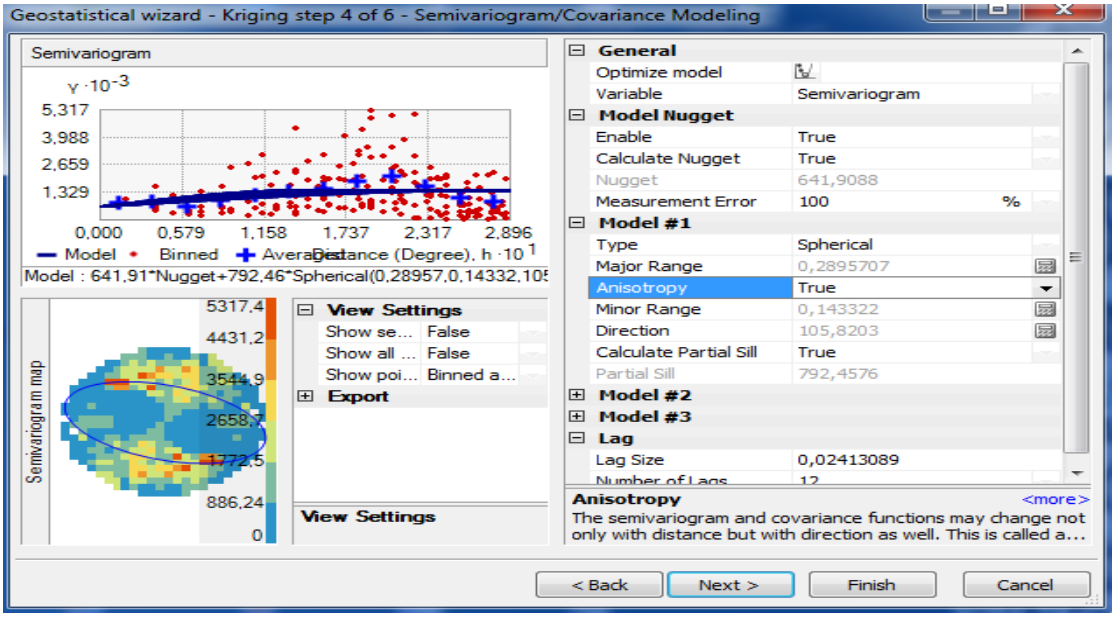

Figure 15 : Choix d'anisotropie pour la modélisation du semivariogramme.

- Dans la boite de dialogue « Searchingneighborhood » (6) on constate que les points d'échantillonnages ainsi qu'une ellipse dans un emplacement par défaut (figure 16). Il va falloir orienter l'angle de direction comme il est corrélé dans (1, b) le semivariogramme.

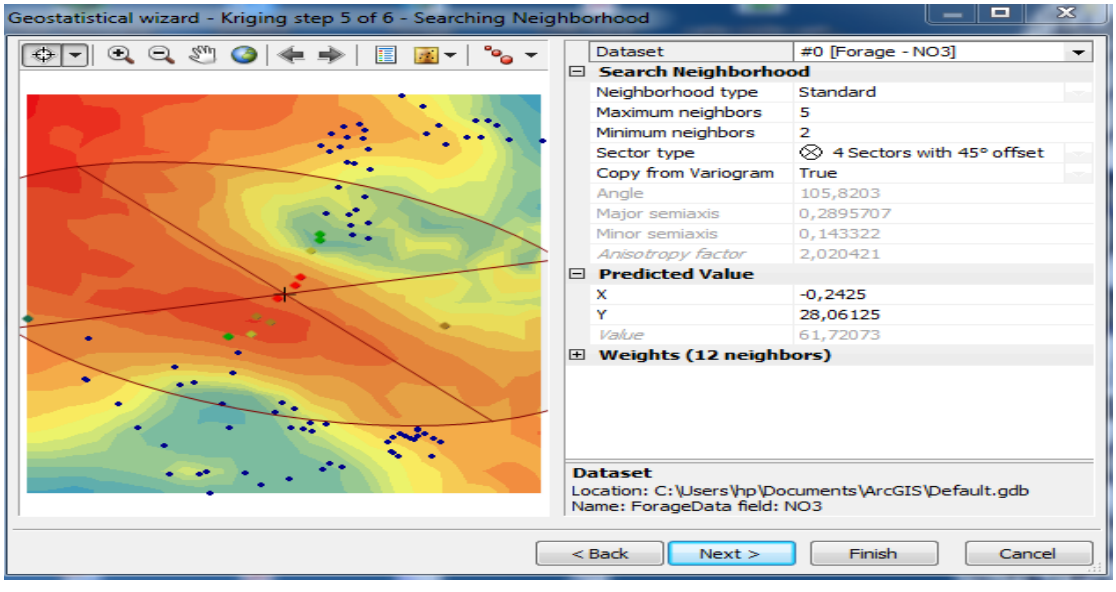

Figure 16 : Choix du quartier recherché

- L'étape (7) de la validation croisée (Cross-validation) sert à fournir les prévisions les plus précises pour indiquer si le modèle est raisonnable pour la production d'une carte (figure 17). En cliquant sur QQPlot (8), on peut voir que certaines valeurs tombent légèrement au-dessus et au dessous de la ligne, mais la plupart des points très proche de la ligne droite en pointillé, ce qui indique que les erreurs de prédiction sont prêtesà être normalement distribuées.

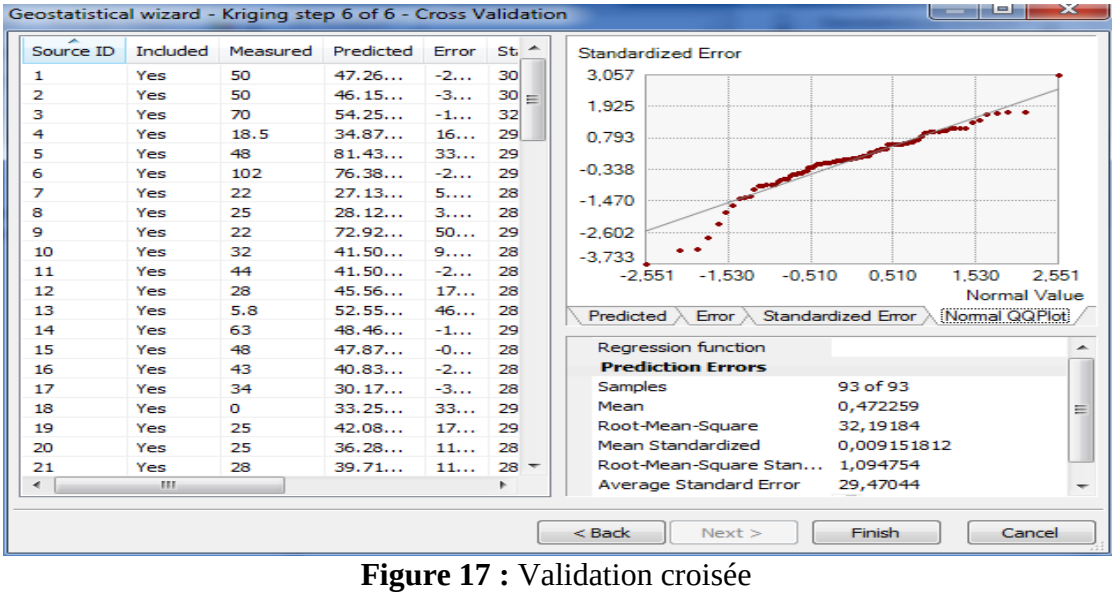

Figure 17 : Validation croisée

- On va passer à la dernière étape celle d'observer le sommaire de la méthode (9) (figure 18) et la création de la carte de répartition des teneurs en nitrates.

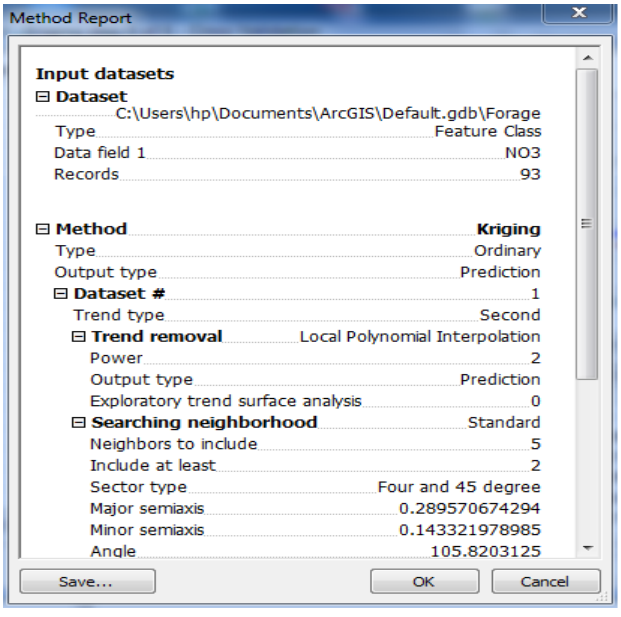

Figure 18 : Sommaire de la méthode

IV.3. Détermination de la conductivité électrique et du potentiel d'hydrogène

A côté des marqueurs sélectionnés, on a aussi procédé à la détermination de la conductivité électrique et du pH.

IV.3.1. Détermination de la conductivité électrique

1) Principe

La mesure de la conductivité électrique, est probablement l'une des plus simples et plus importantes mesures utilisées pour le contrôle de la qualité des eaux. Valeur inverse de la résistivité, paramètre très largement utilisé en hydrochimie, la conductivité est fonction de la concentration en espèces ionisés, principalement de nature minérale. (Rodier et al. 2009 ; Belkhiri.L.2011).

2) Réactifs

Solution d'étalonnage HI7030 (12880µS) convenant à notre conductimètre HI 8733.

3) Matériels et appareils

La conductivité électrique a été mesurée avec un conductimètre HANNA HI 8733, équipé d'un dispositif de correction de la constante (température) permettant ainsi des lectures directes.

4) Mode opératoire

- Verser l'échantillon dans un Erlenmeyer de 250 ml.
- Rincer électrode (sonde) avec de l'eau ultra pure.
- Allumer le conductimètre.
- Lire la conductivité sur l'échelle graduée

IV.3.2. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)

a) Principe

Le pH est l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment, il est relié à la teneur en ions H^+ et aussi à l'acidité et l'alcalinité de l'échantillon. Le pH-mètre est l'appareil le plus utilisé pour la mesure du pH (Rodier et al., 2009).

b) Matériels et appareils

Le pH a été déterminé avec un pH-mètre OHAIUS.

c) Mode opératoire

- Verser l'échantillon dans un Erlenmeyer de 250 ml.
- Rincer électrode avec de l'eau ultra pure.
- Allumer le pH mètre.
- Mettre l'électrode dans l'échantillon.
- Lire le pH.

IV.4. Analyse des anions

IV.4.1. Validation d'une méthode analytique

On a procédé à la validation de la spectrophotométrie UV comme méthode permettant de déterminer les teneurs en nitrates dans les eaux de forages avec justesse.

1) Définition de la validation analytique

C'est l'ensemble des mesures expérimentales et des traitements statistiques appliqués pour vérifier que les performances de la méthode sont en mesure de répondre aux besoins de l'utilisateur.

La démarche de validation statistique passe par une évaluation des performances analytiques de la méthode (SFSTP, 1992). Pour cela, il convient d'étudier un certain nombre de paramètres tels que : La linéarité, L'exactitude, La fidélité, La sensibilité, Les limites de détection et de quantification.

2) Détermination des paramètres de validation de la méthode

a) Etude de la linéarité

i. Définition

La linéarité d'une procédure d'analyse est sa capacité, à l'intérieur d'un certain intervalle, d'obtenir des résultats directement proportionnels à la concentration en analyte dans l'échantillon examiné.

L'équation de la droite correspondant à cette zone est calculée (y = ax + b) ; son coefficient de corrélation doit être aussi proche que possible de l'unité ; la valeur b, aussi proche que possible de 0.

ii. Courbes de calibrations

La validité de la linéarité du domaine de validation, implique la validité des paramètres suivants :

- Test d'homogénéité des variances ou test de Cochran : vérifie l'homogénéité des variances constitutives de l'erreur expérimentale ; permet de détecter la présence de valeurs aberrantes.
- Test de l'existence d'une pente significative (test de Fisher) : l'objectif est de comparer les variations dues à la régression et celles dues aux erreurs expérimentales et d'ajustement. Le but de ce test est de prouver que la pente de la droite, n'est passeulement due à la variance résiduelle mais que la droite possède une pente qui lui est propre.
- Test de validité de la droite.
- Test de comparaison des courbes (pentes): permet de conclure s'il y a un effet matrice.

b) L'exactitude

Vu que l'exactitude est l'expression de la somme de la **justesse** et de la **fidélité**, chaque résultat obtenu est le reflet de la vraie valeur, du biais de la méthode et de sa fidélité.

i. La justesse

Afin d'évaluer la justesse de la technique, on va calculer le recouvrement, le biais et effectué les tests statistiques correspondants.

Le recouvrement correspond au rapport de la concentration calculée sur la concentration introduite.

Sa valeur cible est de 100% (la concentration calculée est égal à la concentration introduite) .

La limite d'acceptabilité : ± 5 % [95-105]%

Son calcul permet d'évaluer l'erreur systématique.

Biais absolu et biais relatif :

Contrairement au recouvrement le biais ne tient pas compte du rapport des concentrations calculée et introduite mais de leur différence.

Sa valeur cible est de 0 (la concentration calculée est égale à la concentration introduite).

La limite d'acceptabilité : ± 5 %.

ii. La fidélité

La fidélité exprime le degré de dispersion existant entre une série de mesures provenant de multiples prises d'un même échantillon homogène dans les conditions prescrites.

La fidélité est un terme global qui varie entre deux valeurs extrêmes :

L'une minimale appelée répétabilité : minimum de variabilité (même analyste ; même équipement ; court intervalle de temps entre deux mesures...)

L'autre maximale appelée reproductibilité : maximum de variabilité (opérateur différent ; laboratoire différent ; réactifs d'origines différentes ; dosage réalisé sur plusieurs jours..)

La fidélité est estimée à partir de l'écart type (σ) ou de la variance des résultats d'essais pour un ou plusieurs niveaux de concentrations, qui permet de calculer le coefficient de variation donné par :

CV = 100 × écart type / moyenne

La valeur cible de CV est : 0 (ce qui est impossible en pratique)

La limite d'acceptabilité : ± 5 %.

En pratique, les résultats obtenus serviront pour le calcul du coefficient de variation (CV) :

CV intragroupe : à partir des absorbances du même jour.

CV intergroupe : à partir des absorbances des trois jours.

c) La sensibilité

La sensibilité est la capacité d'une méthode d'analyse à enregistrer de faibles variations de la concentration.

Elle représente la variation minimale qu'il faut imposer à la grandeur « x » à déterminer pour obtenir une variation significative mesurée « y ».

Elle est souvent déterminée par la pente de la courbe de calibration **« Sensibilité de calibration »**.

d) Limites de détection et de quantification

Il existe différentes approches :

i. Approche par l'écart type de répétabilité

Pour la détermination de la limite de détection on a fait passer 10 fois le blanc analytique.

A partir des absorbances obtenues, on détermine la moyenne et l'écart type.

Limite de détection : LD= 3.σ /a σ : écart type a : pente

Limite de quantification : LQ= 10.σ /a

ii. Approche par l'utilisation du ratio de conformité(R)

L'estimation de la limite de détection de la méthode se fait à l'aide d'une concentration équivalente à 3 fois l'écart type d'un étalon à bas niveau.

$$\mathbf{LDM = 3 \times s}$$

où LDM : limite de détection de la méthode;

s : écart type des *replica*.

Le calcul du ratio de conformité permet de déterminer la validité d'une démarche pour l'établissement d'une limite de détection. En général, si le résultat du calcul pour un ratio R qui sert à l'établissement d'une limite de détection n'est pas supérieur à 4, il faut recommencer la procédure d'établissement de la limite de détection avec un échantillon qui a une concentration plus haute.

$R = x / LDM\ calculée = x / 3 \times s$

Si 4 < R < 10, la concentration utilisée est adéquate.

Si R < 4, ce ratio indique que la limite réelle de détection de la méthode est plus élevée que la limite de détection estimée lors des essais. Reprendre les essais en révisant la limite de détection estimée et la concentration de l'échantillon utilisé.

Si R >10, ce ratio indique que la limite réelle de détection de la méthode est plus basse que la limite de détection estimée lors des essais.

Note : Bien que la concentration de l'échantillon doive se situer entre 5 et 7 fois la LDM estimée, le ratio de conformité de la moyenne des 10 replica sur la LDM calculée peut être acceptable s'il est supérieur à 4.

IV.4.2. Dosage des anions

1) Nitrate

a) Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique à la longueur d'onde de 415 nm (Rodier et al., 2009).

b) Réactifs

Remarque : L'eau utilisée pour la préparation des réactifs et des solutions étalons est de l'eau déminéralisée ultra pure (Résistivité 18,2 MW-cm).

1) Solution de salicylate de sodium à 10 g/L à renouveler toutes les 24 heures.

2) Acide sulfurique concentré (*d* = 1,84).

3) Solution d'hydroxyde de sodium :

Hydroxyde de sodium…….200 g

Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique ……..……50 g

Eau déionisée…q.s.p. ……1 L

Dissoudre avec précaution l'hydroxyde de sodium dans 800 mL d'eau déionisée ; ajouter le sel sodique EDTA. Après dissolution et refroidissement, transvaser la solution dans une fiole jaugée, ajuster le volume à 1 litre. Conserver cette solution dans un flacon de polyéthylène.

4) Solution d'azoture de sodium :

Azoture de sodium …….50 mg

Eau déionisée ……*q.s.p.*.100 ml

5) Solution mère étalon d'azote nitrique à 100 mg/L :

Nitrate de potassium anhydre …..…….……..722 mg

Eau déionisée …….…….…*q.s.p.* 1 000 ml

À renouveler tous les deux mois.

6) Solution fille étalon d'azote nitrique à 10 mg/L.

Amener 100 ml de la solution mère à 1 000 ml avec de l'eau déionisée.

d) Matériels et appareils

- Pipette automatique 500 µl, pipette automatique réglable 1000 µl et embouts adéquats.
- Pipettes en verre 10ml et 20ml
- Erlenmeyer 100ml , 250ml et 1000ml.
- Fioles jaugées de 10ml, 50ml, 100 ml et 1000 ml.
- Becher de 25ml, 100 ml et 250ml.
- Capsule de 60 ml environ.

- Bain de sable.
- Balance analytique
- spectrophotomètre MINDRAY BA-88A avec les cuves de lectures.

e) Procédure de détermination des nitrates

- **Établissement de la courbe d'étalonnage**

Dans une série de capsules de 60 ml, introduire successivement comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Mode opératoire pour la détermination des nitrates (Rodier et al.2009).

Numéro de capsule	T	1	2	3	4	5
Solution étalon d'azote nitrique 10 mg/L (ml)	0	3	4	5	6	7
Eau déionisée (ml)	10	7	6	5	4	3
Correspondance en mg/L d'azote nitrique	0	3	4	5	6	7
Solution d'azoture de sodium (ml)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Acide acétique (ml)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Attendre 5 minutes puis évaporer à sec au bain-marie ou dans une étuve portée à 75-80 °C (ne pas surchauffer ni chauffer trop longtemps).

Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium, mélanger puis évaporer. Laisser refroidir.

Reprendre le résidu par 1 ml d'acide sulfurique concentré ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau déionisée puis 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium qui développe la couleur jaune. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm. Soustraire des unités d'absorbance, lues pour les étalons, la valeur relevée pour le témoin. Construire la courbe d'étalonnage (Jean Rodier et coll, 2009).

- **Mode opératoire**

Introduire 10 ml d'eau à analyser dans une capsule de 60 ml. Poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau déionisée. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

- **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate (NO_3^-), multiplier ce résultat par 4,43.

2) Nitrites

a) Principe

L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium et de phénol, forme avec les ions NO^-_2 un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites (Rodier et al., 1978).

b) Réactifs

1) ammoniaque pure (d=0.925).

2) réactif de Zambelli :

Acide chlorhydrique pur (d=1.19)…….260 ml

Acide sulfanilique……...…….5 g

Phénol cristallisé……...……7.5 g

Chlorure d'ammonium…….....135 g

Eau distillée (exempte d'ion NO^-_2)……625 ml

Introduire dans une fiole jaugée d'un litre, l'acide chlorhydrique et l'eau ultra pure. Puis y dissoudre l'acide sulfanilique et le phénol en chauffant légèrement au bain-marie.Apres dissolution complète ajouter le chlorure d'ammonium et agiter jusqu'à dissolution .Apres refroidissement, ajusté s'il y a lieu, le volume de la solution à 1 litre avec de l'eau ultra pure.

3) Solution mère étalon de nitrite à 100 mg/L :

Nitrite de sodium ……...…..0,492 g

Eau déionisée …….... q.s.p. 1 L

Conservée en flacon de verre brun, cette solution est stable une semaine.

4)-Solution fille étalon d'ion NO^-_2 à 10mg/l.

Amener 5 ml de la solution mère à 50 ml avec de l'eau ultra pure.

c) Matériels et appareils

-Pipette automatique 500 µl, pipette automatique réglable 1000 µl et embouts adéquats.

- Pipettes en verre 10ml et 20ml

-Erlenmeyer 100ml , 250ml et 1000ml.

- Fioles jaugées de 10ml, 50ml, 100 ml et 1000 ml.

- Becher de 25ml, 100 ml et 250ml.

-Eprouvettes 300 ml et 1000ml.

- Balance analytique.

- spectrophotomètre MINDRAY BA-88A avec les cuves de lectures.

d) Procédure de détermination des nitrites

- **Établissement de la courbe d'étalonnage**

Dans une série de fioles jaugées de 50 mL, introduire successivement comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Mode opératoire pour la détermination des nitrites.

Numéro de fioles	T	1	2	3	4	5
Solution étalon d'azote nitreux 10 mg/L (mL)	0	0.5	2	3.5	5	6.5
Eau déionisée (mL)	50	49.5	48	46.5	45	43.5
Correspondance en mg/L d'azote nitrique	0	0.1	0.4	0.7	1	1.3
réactif de Zambelli (mL)	2	2	2	2	2	2
			Attendre 10min			
ammoniaque pure	2	2	2	2	2	2

Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 435 nm. Soustraire des unités d'absorbance, lues pour les étalons, la valeur relevée pour le témoin. Construire la courbe d'étalonnage.

- **Mode opératoire**

Prélever 50 ml d'eau à analyser, ajouter 2 ml de réactif de Zambelli. Agiter et laisser au repos 10 minutes. Ajouter ensuite 2 ml d'ammoniaque pure ; affecter la lecture au spectromètre à longueur d'onde 435 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter a la courbe d'étalonnage.

- **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 50 ml, la courbe donne directement la teneur en NO^-_2, exprimée en milligramme par litre d'eau.

Cette valeur multipliée par 0.305 donne la teneur en azote nitreux, exprimée en milligrammes par litre d'eau.

3) Orthophosphates

a) Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique (Rodier et al., 2009).

Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

b) Réactifs

1) Solution d'acide sulfurique (*d* = 1,84) à 15 % environ en volume.

2) Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L.

Molybdate d'ammonium tétrahydraté…….20 g

Eau déionisée ……..…*q.s.p.* 500 mL

Filtrer si nécessaire, à conserver en flacon de polyéthylène à 4 °C.

3) Solution d'acide ascorbique (L+)à 20 g/L :

Acide ascorbique…….……..…….. 2 g

Eau déionisée……. *q.s.p.* 100 mL

À préparer chaque jour.

4) Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/L :

Tartrate double d'antimoine et de potassium …….…….…0,28 g

Eau déionisée ……*q.s.p.* 100 mL

5) Réactif combiné :

Solution d'acide sulfurique ……..…50 mL

Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium……..……..5 mL

Solution de molybdate d'ammonium ……..……..…15 mL

Eau déionisée…… *q.s.p.* 100 mL

Conserver le réactif au réfrigérateur à 4 °C.

6) Solution mère étalon à 50 mg/L de phosphore :

Dihydrogénophosphate de potassium desséché au préalable à l'étuve à 100 °C..219,7 mg

Eau déionisée …….....*q.s.p.* 100 mL

Acidifier la solution par 1 mL d'acide sulfurique à 15 % avant d'ajuster le volume.

7) Solution fille étalon à 2 mg/L de phosphore.

Diluer au 1/25 de la solution précédente avec de l'eau déionisée au moment de l'emploi.

c) Matériels et appareils

- Pipette automatique 500 µl, pipette automatique réglable 1000 µl et embouts adéquats.
- Pipettes en verre 20ml
- Erlenmeyer 100ml, 250ml et 1000ml.
- Fioles jaugées de 10ml, 50ml, 100 ml et 1000 ml.
- Becher de 25ml, 100 ml et 250ml.
- Eprouvettes 300 ml et 1000ml.
- Balance analytique.

-Agitateur magnétique VELP SCIENTIFICA® AM4

- spectrophotomètre MINDRAY BA-88A avec les cuves de lectures.

d) Procédure de détermination des orthophosphates

- **Établissement de la courbe d'étalonnage**

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, introduire successivement comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Mode opératoire pour la détermination des orthophosphates (Rodier et al., 2009).

Numéro de fioles	T	1	2	3	4	5
Solution étalon de phosphore à 2 mg/l (ml)	0	1	2	3	4	5
Eau déionisée (mL)	20	19	18	17	16	15
Correspondance en milligrammes de phosphore	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Acide ascorbique (mL)	1	1	1	1	1	1
			Agiter			
Réactif combiné	4	4	4	4	4	4

Mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm. Soustraire des unités d'absorbance, lues pour les étalons. Construire la courbe d'étalonnage.

- **Mode opératoire**

Vérifier le pH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire. Introduire 20 mL d'eau dans une fiole jaugée de 25 ml, ajouter 1 ml de solution d'acide ascorbique puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe.

- **Expression des résultats**

Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrométrique sont considérés comme étant des orthophosphates, dont la teneur peut être exprimée en mg/L de P, de PO_4^{3-} ou de P_2O_5.

La courbe donne la teneur en phosphore, exprimée en milligrammes pour la prise d'essai.

1 mg/L d'ions orthophosphates PO_4^{3-} = 0,747 mg/L d'anhydrique phosphorique (P2O5) = 0,326 mg/L P.

V.1. Contexte général d'étude

V.1.1. Résultat de l'enquête descriptive sur terrain

Après les différentes visites réalisées sur le terrain au niveau de 5 communes (Adrar, Bouda, Sbaa, Tsabit et Timmi), une synthèse des principaux résultats a était effectuée.

1) Besoins en eau

En tant compte du contexte climatique extrêmement aride d'Adrar, aucune ressource alternative en eau, autre que l'eau souterraine, n'est disponible. L'alimentation en eau est entièrement dépendante de forages.

La figure 19 illustre l'ensemble des forages permettant de reprendre au différents besoins en eau.

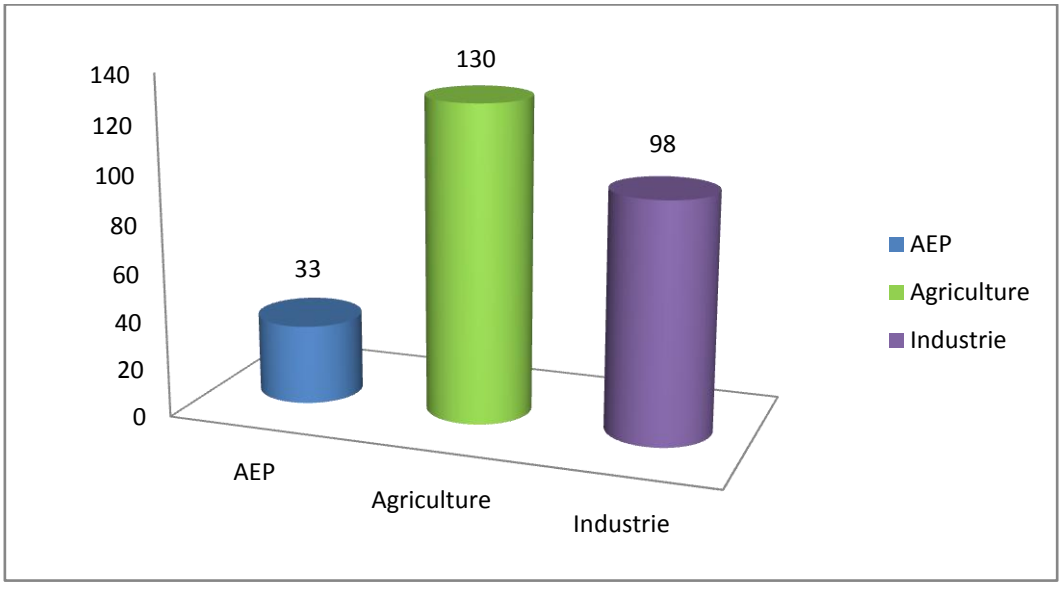

Figure 19 : Répartition des forages selon leurs usages.

La profondeur des forages varie de 5 à 40 mètres. On note que le secteur agricole bénéfice d'environ 130 forages. Pour alimentation en eau potable près de 33 forages sont utilisés.

2) Agriculture :

Le contexte agricole de la zone d'étude se caractérise également par la dualité entre les modes d'agriculture traditionnels par foggaras, et les modes modernes d'agriculture par forages alimentant de grands périmètres par systèmes de pivots ou gravitaires.

La figure 20 montre les pourcentages de types de cultures dans la zone considérée.

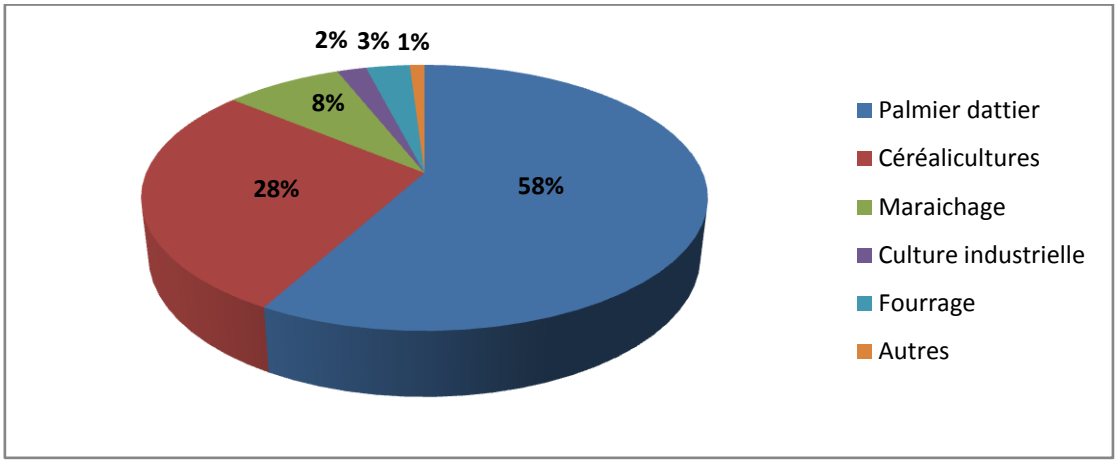

Figure 20 : Proportion des types de cultures dans la zone d'étude.

Les principaux types de cultures sont les palmiers dattiers (58%) et les céréales (28%). Ensemble, ils représentant 86% des superficies cultivées.

Pour rappel, L'irrigation par foggaras est destinée à l'alimentation en eau des palmeraies (palmiers dattiers), tandis que l'irrigation par forages est utilisée d'une part pour alimenter les systèmes par pivots (aspersion, pour cultures céréalières), et d'autre part pour alimenter les parcelles irriguées (systèmes gravitaires, et systèmes goutte-à-goutte).

3) Typologie des engrais minéraux utilisés

90% des producteurs ont recours aux engrais minéraux.

Différents types (simples ou composés) sont utilisés dans la production agricole de la région. Les formulations sont dominées par le NPK (45%) suivies par l'urée (34%). D'autres formulations sont aussi utilisées: Pks (6%), TSP (9%), N (6%) et enfin le potassium seul à 1% (Figure 21).

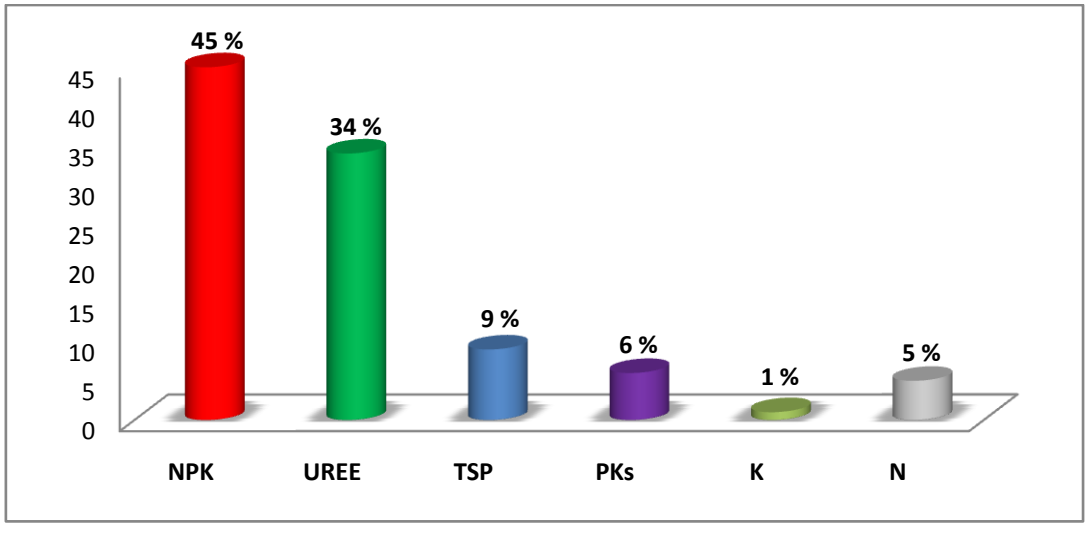

Figure 21 : Portrait des différents engrais minéraux utilisés par les agriculteurs.

Les données recueillis indiquent que 84% de l'ensemble des produits utilisés sont à base d'azote (Figure 22).

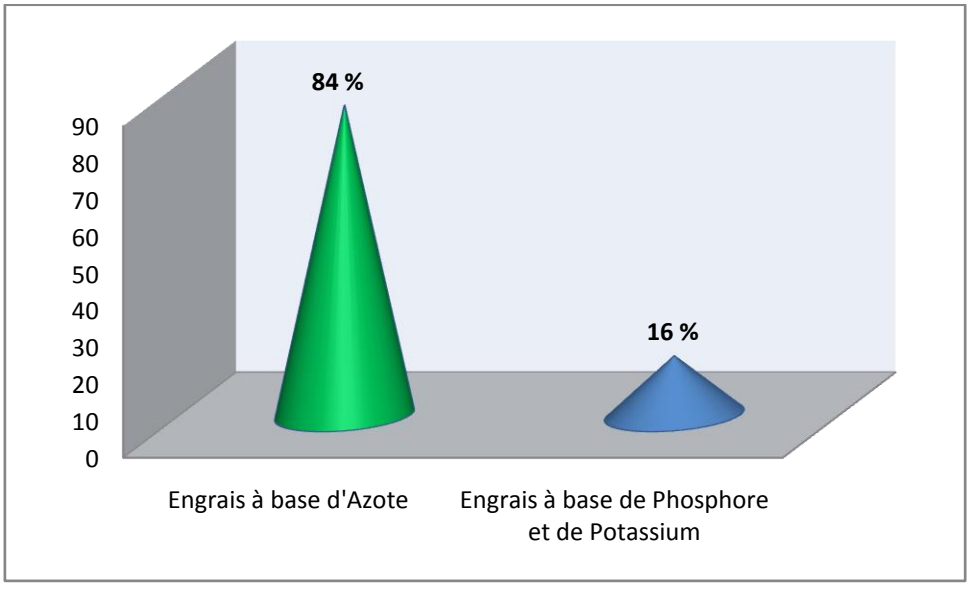

Figure 22 : Répartition des engrais minéraux recensés en fonction de leur pool minéral azoté.

De même la part des engrais contenant du phosphore n'est pas à négliger (55%) (Figure 23).

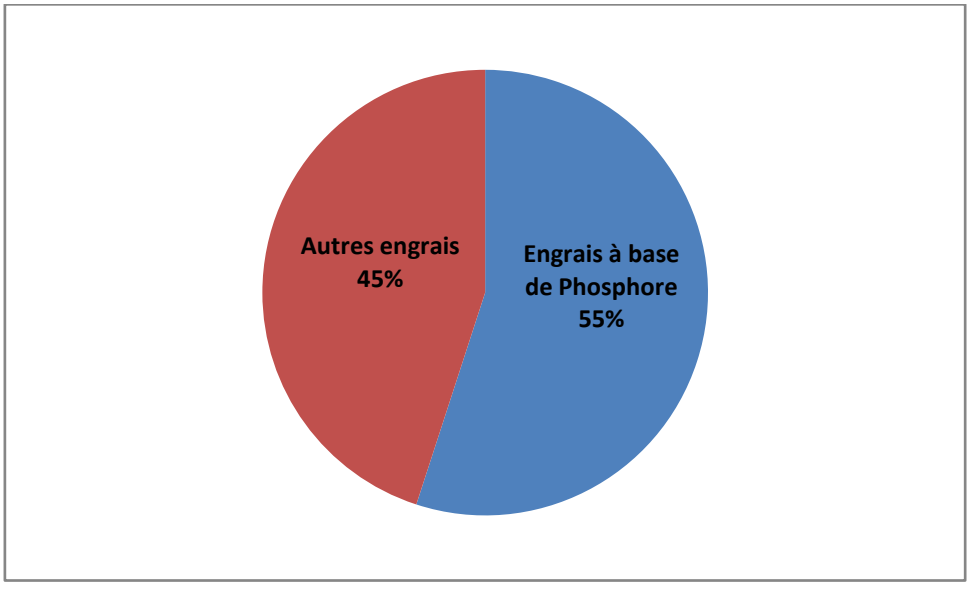

Figure 23 : Répartition des engrais minéraux recensés en fonction de leur pool minéral phosphaté

4) Engrais organiques et les élevages

L'agriculture dans cette région ne dépend pas uniquement de la fertilisation minérale, puisque l'utilisation des fertilisants organiques est à noter (Figure 24).

Par ailleurs, 50% des forages échantillonnés sont situées à proximité d'élevage.

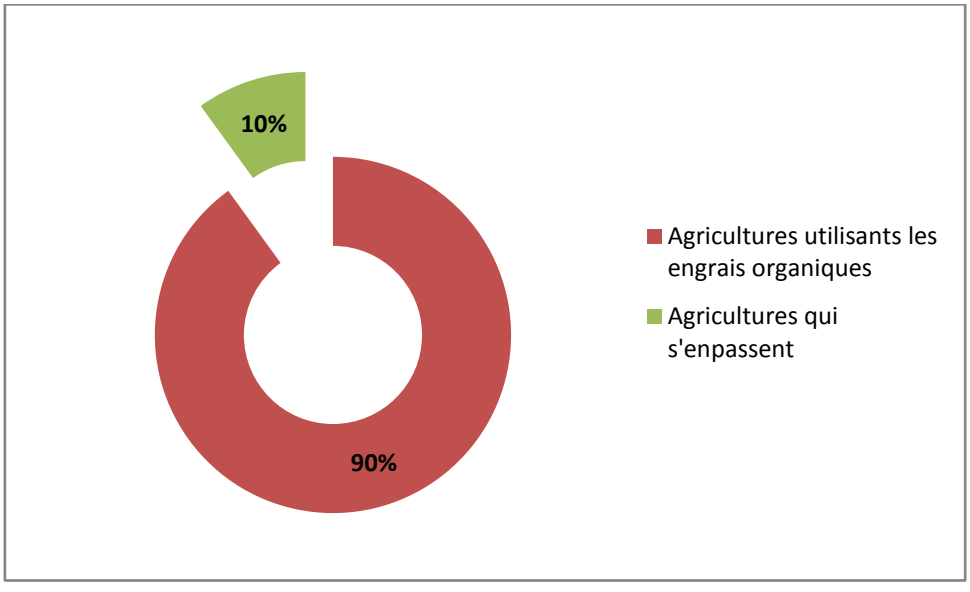

Figure 24 : Observations menées sur le terrain concernant l'usage des engrais organiques.

5) Autres données recueillies à partir de l'enquête sur le terrain

Lors de nos entretiens, on a constaté les faits suivants:

- Le choix d'intrants utilisées dépend de leur disponibilité sur le marché, du coût et de l'expérience acquise par l'utilisateur ou par son voisin.
- une hausse de la vente et de la consommation des engrais ces dernières années à cause du programme de subvention de l'agriculture.

V.2. Applications de la géostatique à l'hydrochimie

Initialement la grille devrait compter environ 200 forages. Cependant, une partie des forages avait été analysés. Le traitement des données portera donc sur les données d'analyse physico-chimique des points d'eau inventories et collectées en 2010 par l'agence nationale des ressources hydrauliques de la wilaya d'Adrar (annexe 2). Les données disponibles sont au nombre de 93 (Figure 25).

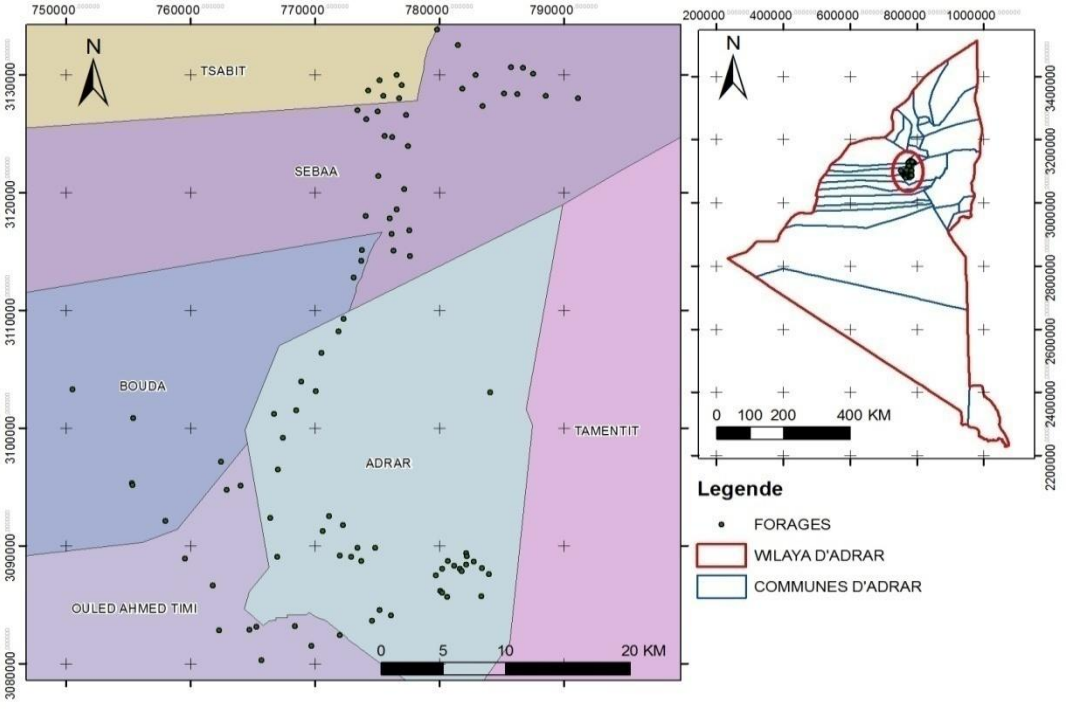

Figure 25 : Localisation des prélèvements d'eaux analysées.

V.2.1.Etude statistique

Les traitements statistiques permettent de décrire la distribution des données et caractériser statistiquement la variable étudiée (loi de distribution et moyenne) et leur dispersion (coefficient de variation, variance). La figure 26 représente répartition spatiale des points inventoriés.

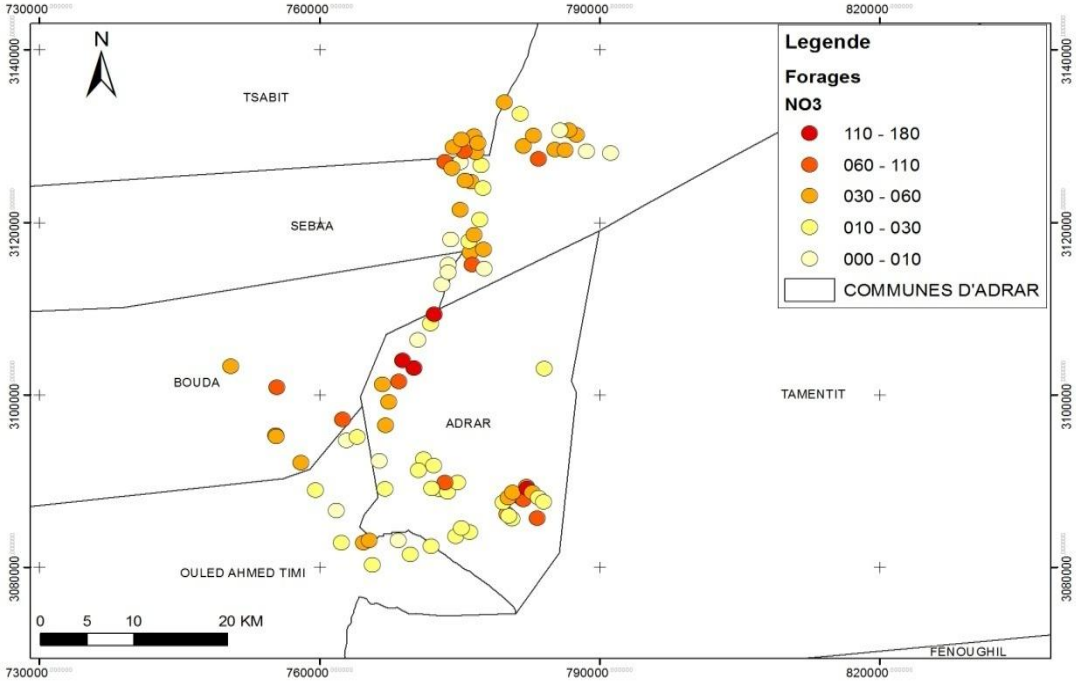

Figure 26 : Répartition spatiale des points inventoriés.

1) Histogramme des données

La figure 27 représente la fréquence de distribution de la salinité du sol en tenant la gamme des valeurs séparées en 10 classes. La hauteur de chaque barre représente la densité relative de données de chaque classe.

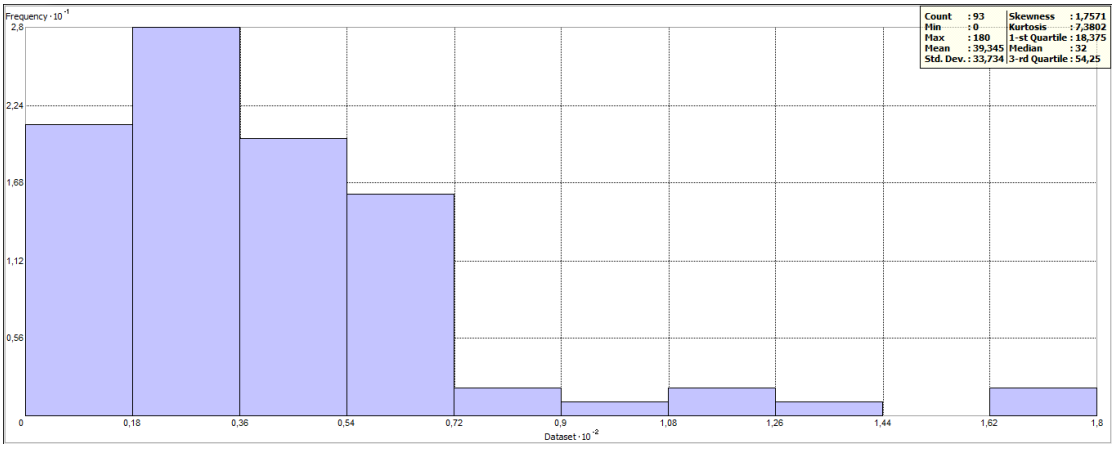

Figure 27 : Histogramme des teneurs moyennes en nitrates.

il en ressort que du nitrates ont été trouvées dans tous les prélèvements. La classe la plus importante est [18-36] avec une fréquence de 28 %. La classe la moins importante est constituée par les teneurs comprises entre [90-108].

2) Paramètres statistiques usuels

Généralement, les caractéristiques importantes de la distribution sont sa valeur centrale, sa propagation et sa symétrie.

Ces paramètres ont été calculés et consignés dans le tableau 14 ci-après.

Tableau 14 : Paramètres statistiques relatifs aux teneurs en nitrates (2010).

2010	
Nombre	93
Minimum (concentration)	0
Maximum	180
Moyenne	39
Ecart-type	33,734
Coefficient de variation	0,865
Premier quartile	18,375
Mediane	32
Troisieme quartile	54,25
Coefficient d'asymétrie (skewness)	1,7571
coefficient d'aplatissement (kurtosis)	7,3802

L'analyse des teneurs en nitrates montre qu'il y a une forte variabilité avec un coefficient de variation 0,865 (86,5 %) et la moyenne des valeurs ne dépasse pas les normes d'organisation mondiale de la santé OMS (50 mg/l) mais le troisième quartile y dépasse.

Les données présentent une distribution asymétrique (La moyenne et la médiane n'ont pas la même valeur), ce qui signifie que les données ne peuvent pas être distribuées normalement. Une transformation logarithmique aiderait certainement à rendre plus symétrique la distribution des données, mais cette transformation est déconseillée par plusieurs auteurs.

Les paramètres tels que l'écart-type ou la variance caractérisent bien la dispersion des valeurs des teneurs en nitrates; il est donc commode de réaliser une étude géostatistique. Le nombre de données étant par ailleurs supérieur à 50, le krigeage ordinaire peut être envisagé.

V.2.2. Interpolation par les méthodes classiques

La figure 28 illustre une carte obtenue à l'aide de la méthode IDW.

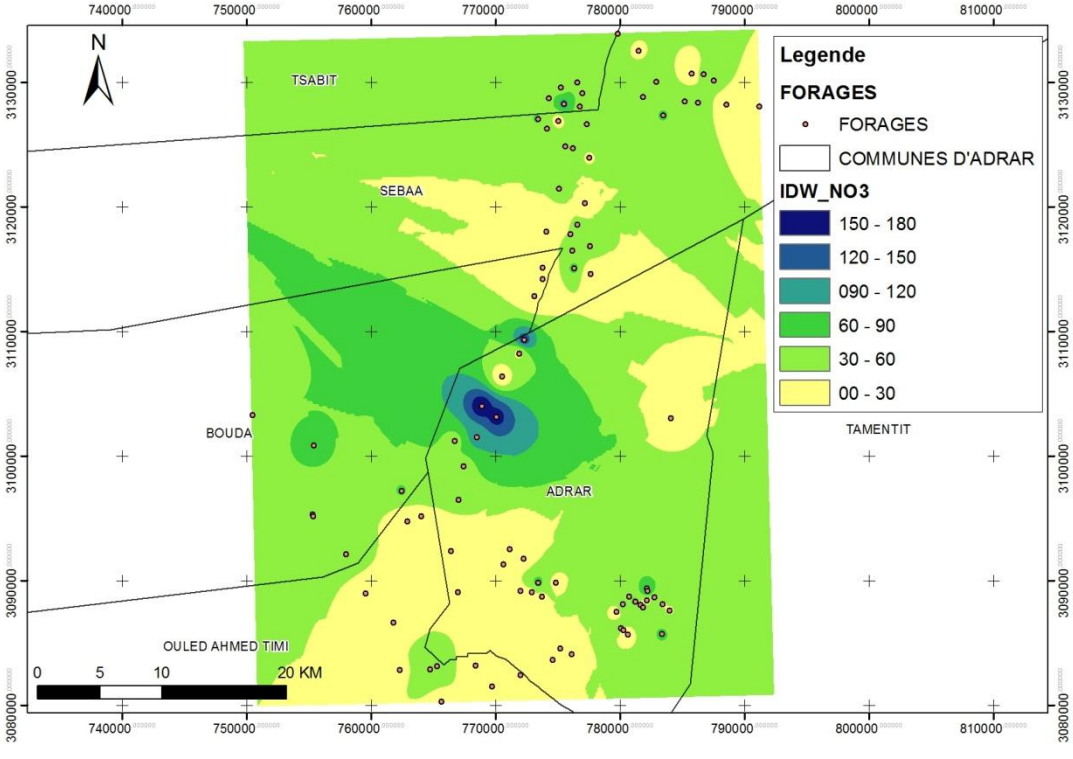

Figure 28 : Carte de répartition des teneurs en nitrates par la méthode IDW.

La forme de la carte obtenue de nitrates reflète bien le fait que la méthode utilisée dépend grandement de la localisation des points échantillonnés et se base uniquement sur le voisinage. On remarque que la carte montre des concentrations de nitrates allant de 0 à 180 mg/l sur la totalité de la région d'étude avec une concentration élevée en nitrates oscillait entre 120-180 mg/l au milieu.

V.2.3. Interpolation par Krigeage (approche géostatistique)

La géostatistique est une science de plus en plus utilisée pour cartographier les variables régionalisées. Une des méthodes géostatistiques est le krigeage, qui a pour avantage de restituer la continuité spatiale du variable à référence spatiale dans l'expression cartographique. Selon l'algorithme géostatistique, le krigeage, la règle de pondération et donc la carte qui en résulte sont directement déterminées par le comportement spatial des données de l'élément à analyser. L'analyse variographique est l'étape préalable au krigeage, elle est menée afin d'estimer la fonction de la continuité spatiale de la variable régionalisée.

Elle permettra à terme d'apprécier la répartition de la variable aléatoire régionalisée « teneur en nitrates ». Pour ce faire, une étude variographique est indispensable.

1) Variogramme

a) Tendance globale des teneurs en nitrates

On distingue, d'après la figure 29, une diminution de valeurs empiriques.

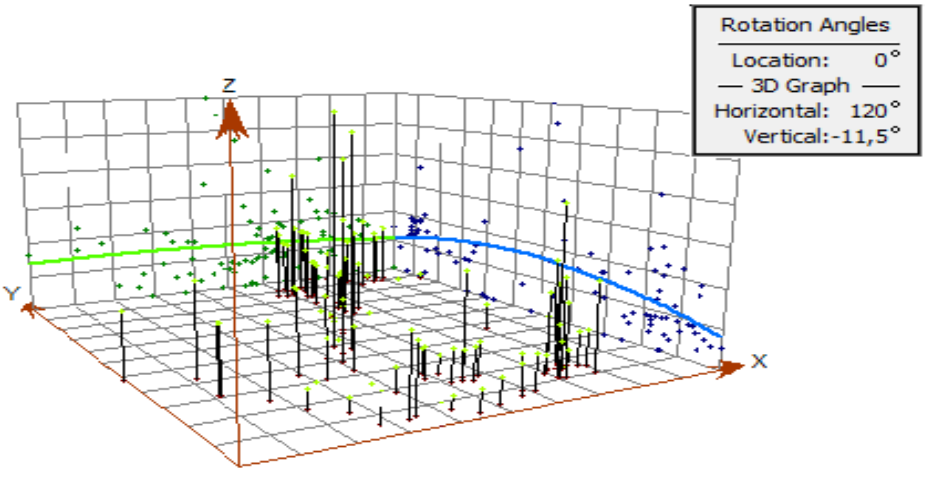

Figure 29 : Tendance globale des teneurs en nitrates
(X : axe Est-Ouest, Y : axe Nord-Sud, Z : axe de la tendance des données, Courbe bleue : tendance Nord-Sud, Courbe verte : tendance Est-Ouest).

Ceci montre que les valeurs de nitrates sont dissemblables. Cette dissemblance diminue rapidement dans les sens Nord-Sud et Sud-Est, ainsi que légèrement dans le sens Sud-Ouest.

b) Autocorrélation spatiale :

L'autocorrélation spatiale des concentrations de sel est bien représentée dans la figure ci-dessous.

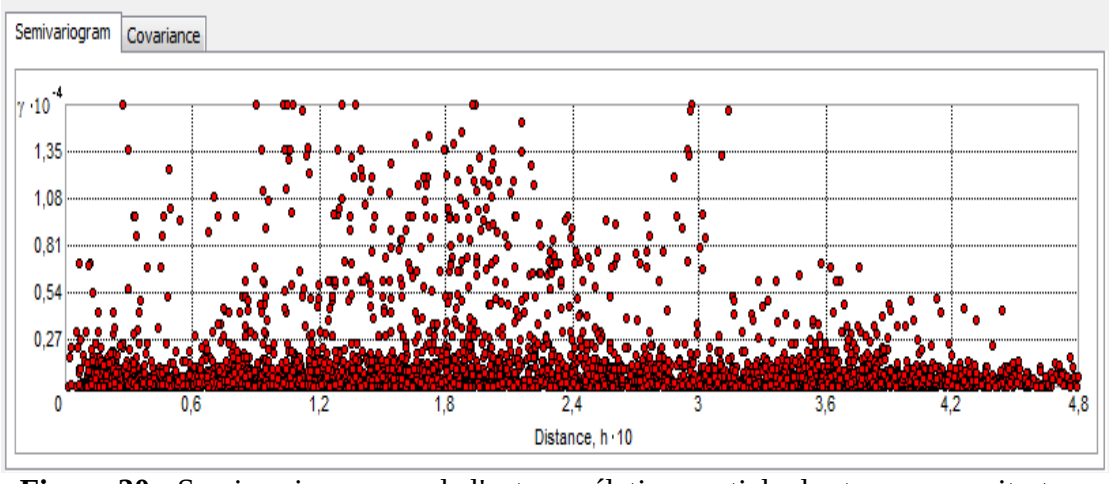

Figure 30 : Semi-variogramme de l'autocorrélation spatiale des teneurs en nitrates.

Les valeurs empiriques de semi-variogramme augmentent d'une façon exponentielle à l'intervalle de distance [0 ; 3 h·10].

c) Modélisation de la correlation spatiale et les influences directionelles

La figure 31 représente une modélisation du semi-variogramme de teneurs en nitrates.

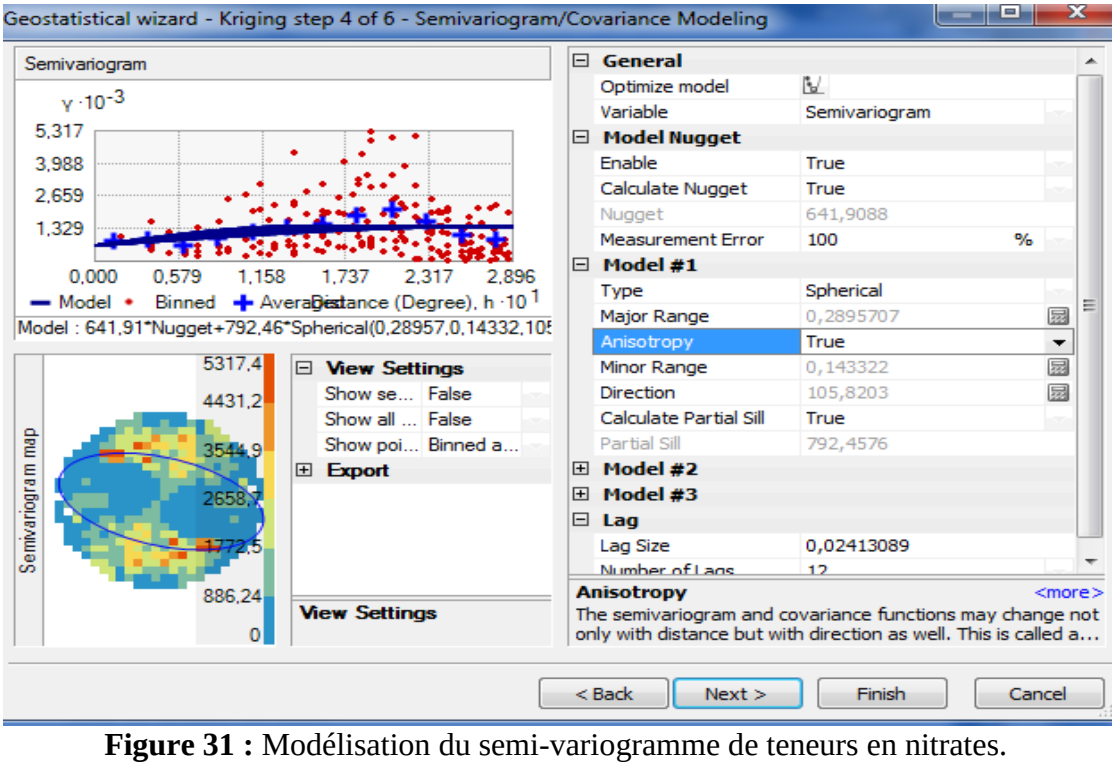

Figure 31 : Modélisation du semi-variogramme de teneurs en nitrates.

En effet, le modèle sphérique s'ajuste bien dans cette étude. La distribution de teneurs en nitrates présente une anisotropie. La courbe du semi-variogramme indique que l'effet pépite est égal à 0,641, ce qui signifie qu'il y a une marge d'erreur négligeable au niveau de l'échantillonnage qui laisse à supposer que ce dernier est validé. Le semi-variogramme présente une portée de 13,16 m : distance à partir de laquelle les variables sont indépendantes et une direction de la semi-variance est de 105° N.

La carte du semi-variogramme montre deux directions préférentielles de variance de teneurs en nitrates. L'Ouest, le centre et L'Est présentent une variance faible. Par contre, le Nord et le Sud montrent une variance assez importante.

2) Krigeage

La figure 32 présentée ci-dessous illustre la carte kriegée par la méthode géostatistique KO.

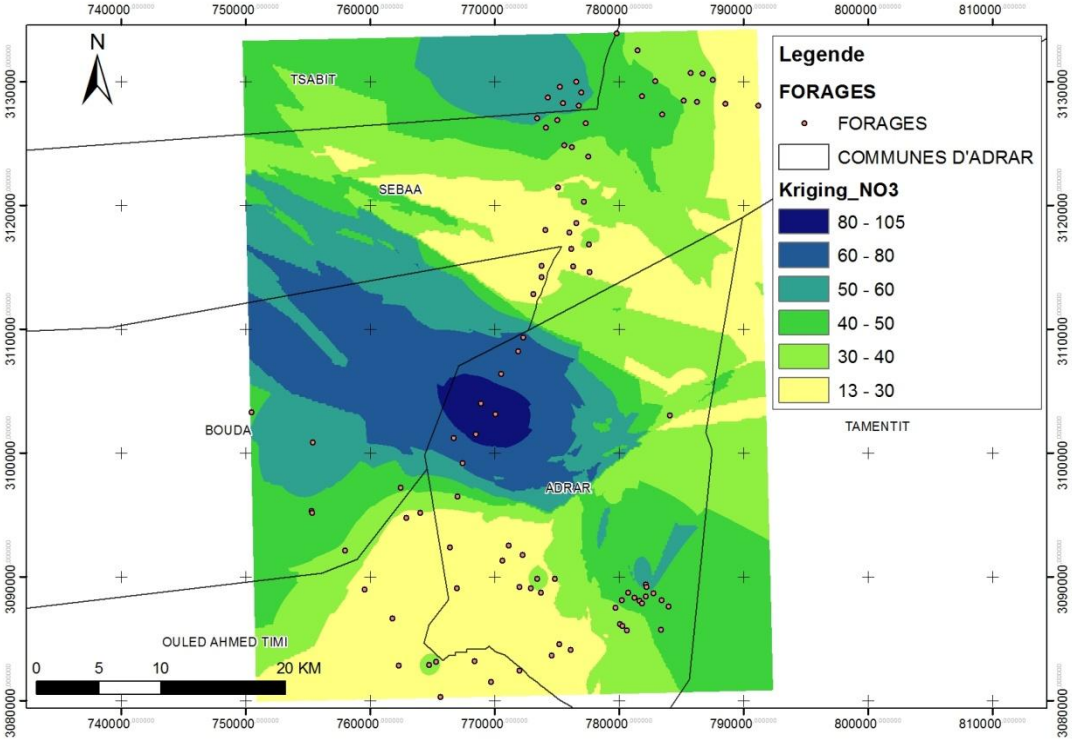

Figure 32 : Carte de répartition des teneurs en nitrates par la méthode de Krigeage ordinaire.

On remarque que la carte montre des concentrations de nitrates allant de 13 à 105 mg/l sur la totalité de la région d'étude avec une concentration élevée en nitrates oscillait entre 60-105 mg/l au centre.

En résumé, On remarque que globalement les eaux souterraines de cette zone d'étude se caractérisent par des teneurs en NO_3 dans les normes de l'OMS (ne dépassent pas 50 mg/l).

II.3. Détermination de la conductivité électrique et du potentiel d'hydrogène

On a collecté huit échantillons sa partir de différents forages de la région Nord d'Adrar, couvrant Adrar, Bouda, Sbaa, Tsabit et Timmi (Tableau 15).

Tableau 15 : Identification des échantillons en fonction de leur origine.

N° du forage ou d'échantillon	Commune / Wilaya
01	Tsabit(Adrar)
02	Tsabit(Adrar)
03	Sbaa (Adrar)
04	Sbaa (Adrar)
05	Bouda (Adrar)
06	Bouda (Adrar)
07	Adrar (Adrar)
08	Adrar (Adrar)

Le tableau 16 indique les valeurs mesurées de la conductivité électrique (C) et du (pH).

Tableau 16 : Valeurs mesurées de la conductivité électrique (C) et du (pH) durant les la compagne d'échantillonnage.

N° du forages	Date du prélèvement	pH	C (mS/cm)
01	15/05/2019	7	1
02	15/05/2019	7.06	0.7
03	15/05/2019	7.11	1.8
04	15/05/2019	6.82	4.6
05	21/05/2019	7.14	9.1
06	21/05/2019	7.00	8.5
07	21/05/2019	7.49	7.2
08	21/05/2019	6.77	8.2

V.4. Analyse des anions

V.4.1. Résultats de la validation analytique du dosage des nitrates dans l'eau de forages

Le tableau suivant résume les données de la validation analytique :

Tableau 17 : Résultats de la validation analytique du dosage des trois anions

	nitrates	nitrites	phosphates
Critères de validation		*Résultats*	
Linéarité :			
Equation de la droite	y=0.3105x	y=1,6876x	y=1,8542x
Coefficient de corrélation (≈1)	r = 0.9996	r = 0.9992	r = 0.9994
Limite de détection	0,092 mg/l	0,0074 mg/l	0,0062 mg/l
Limite de quantification	0,279 mg/l	0,0241 mg/l	0,0205 mg/l
Justesse			
Recouvrement [95-105]± 5% moyen(%)	100%	100%	100%
Fidélité **(< 5%)**			
CV répétabilité	0,3%.	0,8%.	1%
CV fidélité intermédiaire	1,69%	2,33%	4,71%
Sensibilité (pente)	0,3105	1,6876	1,8542

V.4.2. Teneurs en anions retrouvées dans les eaux de forages

Les teneurs obtenues en anions sont données dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Tableau recapulatatif des résultats d'analyses physico-chimiques obtenus durant la campagne d'échantillonnage.

N° du forages	Date du prélèvement	pH	C (mS/cm)	NO_3^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)
01	15/05/2019	7	1	31	0.04	ND
02	15/05/2019	7.06	0.7	**77**	ND	ND
03	15/05/2019	7.11	1.8	**69**	ND	ND
04	15/05/2019	6.82	**4.6**	**72**	ND	ND
05	21/05/2019	7.14	**9.1**	**59**	**0.028**	ND
06	21/05/2019	7.00	**8.5**	23	**0.019**	ND
07	21/05/2019	7.49	**7.2**	27	ND	ND
08	21/05/2019	6.77	**8.2**	**105**	ND	ND

VI.1. Enquête sur terrain

A travers cette étude descriptive, on note une utilisation très mal conduite des intrants agricoles (produits phytosanitaires et engrais) par les agriculteurs qui ignorent pour la pluparts les bonnes pratiques agricoles.

- **Usage des engrais**

On a constaté que les agriculteurs utilisent une fumure minérale essentiellement axée sur l'**azote 84%**, probablement à cause de son effet instantané remarquable et visible sur les cultures, à l'inverse des autres engrais (ex **le phosphore qui occupe la deuxième place 55%**) dont l'effet sur les cultures n'est pas apparent.

Les doses d'engrais minéraux utilisées sont toujours **inférieures** à celle recommandées par les fabricants. Les agriculteurs justifient cela par les **prix** qu'ils considèrent excessivement chers. Les quantités épandues n'étaient, en aucun cas, définies par les quantités d'éléments composant le sol, ni par les propriétés du sol, ceci est dû à leurs **méconnaissance en ce qui concerne l'importance de l'analyse du sol**.

Pour la **fumure organique**, son emploi dans les différents sites **est très important**, il est effectué par l'application régulière de fumier (déjections d'animaux surtout les bovins).

Cependant, cet apport **n'est pas considéré par les agriculteurs comme un apport azoté**, alors qu'il fournit au sol pendant plusieurs années d'importantes quantités d'azote minéral surtout pendant le printemps et l'été où la décomposition est fonction de l'humidité et de la température.

En outre, les pratiques agricoles qui accentuent le risque de lixiviation de l'azote sont également présentes dans la région, a titre d'exemple les **semis tardifs, sol nu pendant l'été**, etc.…

A cela, s'ajoute le **manque de contrôle et de traçabilité sur la commercialisation** et l'usage de ces produits dans le secteur régionale et nationale.

- **Pourquoi les nitrates, nitrites, phosphates**

A travers ce constat, on a décidé de sélectionner quelques molécules en tant que marqueurs de la pollution pour l'estimation des expositions.

Devant la multiplicité des molécules d'engrais utilisés (Urée 34%, NPK45%, PKs 6%, TSP 9%, K 1%), on a ciblé cette recherche sur les résidus d'engrais azotés et phosphatés à savoir **les nitrates, nitrites et phosphates.**

VI.2.Méthodes d'estimation

Dans cette partie, on s'est contenté de reproduire les choix de l'étude, c'est-à-dire faire une analyse comparative entre les différentes méthodes (déterministes et géostatistiques) pour choisir la carte représentative de répartition de nitrates dans les eaux souterraines de Adrar.

Les statistiques de la moyenne des erreurs d'estimation et L'écart type des erreurs d'estimation de différentes méthodes sont récapitulées dans le tableau 19.

Tableau 19 : Statistiques de la moyenne des erreurs d'estimation de deux méthodes

Méthode d'interpolation	Moyenne des erreurs d'estimation
Méthode inverse de distance	0,02492
Krigéage ordinaire	0,00603

Les résultats de tableau 15 montrent que le krigeage ordinaire est plus précis et moins biaisé car la moyenne des erreurs d'estimation est proche de zéro.

VI.3. Conductivité

A partir des relevés de la conductivité électrique des 8 forages analysés, on constate que les eaux de la nappe phréatique de la région ont une salinité variable allant de **0,7** à **9,1 mS/cm** ce qui montre une légère hétérogénéité de la distribution des teneurs en sels (salinité) dans la région.

Une conductivité **supérieure à 2,8 mS/cm** (J.O.A, 2011) a était retrouvée dans (05) forages situés au Bouda et Adrar.

VI.4. Le pH

Les valeurs de pH sont assez stables. Elles sont conforment à la norme Algérienne [6,5 -9] pour une eau de distribution. (J.O.A, 2011)

Le pH des eaux naturelles ou souterraines est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6. (Rodier et al. 2009)

VI.5. Nitrates

les nitrates étaient le paramètre trophique le plus dégradant, ils sont retrouvés dans les huit prélèvements d'eau avec des teneurs variant entre **23 mg/L et 105 mg/L** avec une moyenne de **57,88** mg/L, et **dépassant la valeur admissible Algérienne de 50 mg/L** pour une alimentation en eau potable de la population dans **62,5 % des forages échantillonnés**.

Cette variabilité spatiale des teneurs en nitrates peut traduire une diversité dans leur origine. En effet, l'origine des nitrates dans une eau souterraine peut être multiple : ils sont le plus souvent issus des activités agricoles (engrais, élevage), ils peuvent avoir une origine urbaine ou provenir de la décomposition de la matière organique (déforestation), ils peuvent être également issus de l'azote apporté par les eaux météoriques (Levi, 2013).

Les résultats des fortes teneurs en nitrates qu'on a obtenues rejoignent les constatations établies par cette enquête mettant l'accent sur la **forte utilisation d'azote** (engrais minéraux et organiques) conduisant à une pollution nitrique dans tout le périmètre.

Sachant que les eaux des forages peuvent servir à l'alimentation en eau des habitations; exposant ainsi la population à un réel risque sanitaire. Rappelant qu'ils sont classés comme étant probablement cancérogènes pour l'homme (groupe 2A) (Santé canada, 2012).

On a confronté nos résultats à d'autres études (Tableau 20). On constate que les résultats diffèrent d'une étude à une autre. Ces disparités sont en fonction des nappes, des régions, des pays, du nombre d'échantillons etc.…Cependant ils incriminent tous les nitrates comme étant les principales causes de dégradation de la qualité des eaux souterraines et principalement des nappes phréatiques.

Tableau 20 : Comparaison des teneurs en nitrates (mg/l) à d'autres études.

	Lieu / période	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart Type	Nombre d'échantillons
(Fekkoul et al., 2011)	plaine de Triffa Maroc 2007	151.9 (40%> 50)	1.5	43	/	251
(Ahoussi Kouassi et al., 2013)	Côte d'Ivoire 1992-2002	196.2	0.05	49.42	46.31	85
(Moreau et al., 2013)	France 2011	$[NO_3^-] > 50$ Dans 14 % des nappes	/	/	/	/
cette étude	Mai 2019	105 (62,5%> 50)	23	57,87	28,79	8
(Boualla et al., 2013)	juillet 2011	112	3	57.5	/	50

On a aussi comparé nos résultats à une étude antérieure effectuée par ANRH en 2010, réalisée dans le même périmètre approximativement. Les mêmes constations ont été posées, avec des concentrations dans la nappe largement supérieures à la norme de potabilité, et présentant un caractère diffus : les concentrations en NO_3^- restent en effet élevées jusqu'à plusieurs kilomètres de distance des zones agricoles. L'impact des activités agricoles sur la qualité de la nappe est donc avéré et objectivé.

VI.6. Nitrites

Les nitrites n'ont pas été détectés puisqu'en milieu aquatique, il est plus courant de trouver des nitrates que des nitrites, étant donné que l'ion nitrite est un intermédiaire de réaction dans

la nitrification et la dénitrification, et est plus instable que l'ion nitrate (OEHHA, 1997; U.S. EPA, 2002a; Niagolova et coll., 2005; OMS 2007).

VI.7. Orthophosphates

Le phosphore n'est pas détecté du fait de sa rareté et de sa forte affinité pour la phase solide minérale, il est fortement capté par la biomasse (FAO, 2005).

Ces teneurs, indétectables à nulles, laissent prédire que cet élément ne constitue pas un risque de pollution pour les eaux phréatique de la région étudiée.

CONCLUSION

CONCLUSION

L'eau qui est devenue une denrée rare et précieuse, constitue un élément indispensable pour la vie et l'équilibre de l'individu. Elle représente un facteur déterminant pour le développement économique et social d'un pays. Du fait de sa précarité et de sa fragilité, voire de son irrégularité, cette ressource nécessite notamment une attention très particulière quant à sa mobilisation et sa gestion.

Au vue de ces résultats, Le phénomène de pollution diffuse constitue, en absence des normes réglementaires algériennes applicables sur les eaux souterraines, constitue une menace tant pour l'environnement que pour la santé de la population qui exploite cette ressource. Ceci doit inciter les intervenants du monde agricole à adopter une attitude préventive et d'un programme de suivi de la contamination des eaux doit être établi.

Comme perspectives :

- Pour une meilleure appréciation spatio-temporelle des variations en éléments trophiques, un programme de surveillance à partir d'un nombre plus élevés de captages doit être instauré, afin de recueillir des données qui permettent à l'avenir de dresser un portrait de la présence de nitrate dans l'eau souterraine en Algérie et de sa distribution géographique.
- Étudier de façon plus fine la diffusion de l'azote et des nitrates vers les aquifères par l'utilisation de modèles informatiques mathématiques qui décrivent le régime hydrique et la dynamique saisonnière de l'azote dans le système eau–sol–plante–atmosphère.
- Etablir une carte qui servira d'outil de base dans les déterminations futures.
- Instaurer un programme de sensibilisation des agriculteurs et de vulgarisation de pratiques culturales adéquates permettant d'obtenir de bons rendements tout en respectant la qualité nitrique des ressources en eau souterraine (réduction des engrais azotés , irrigation localisée et par pivot).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agence de l'eau Adour-Garonne. Les eaux souterraines. 2012.
Disponible sur : www.eau-adour-garonne.fr/www.brgm.fr

Agence de l'eau Loire-Bretagne. À la découverte des eaux souterraines. 2010.
Disponible sur : www.eau-loire-bretagne.fr

Agence de l'eau Seine-Normandie La pollution du bassin de la Seine par les nitrates. 2009.

Agence Nationale de Développement d'Investissement. Invest in algeria : wilaya d'adrar.2013.

Ahoussi Kouassi E ; Solange L ; Blaise K.Y ; Gbombélé S ; OgaYéi M et Nagnin S. Evolution spatio-Temporelle Des Teneurs en Nitrates Des Eaux Souterraines De La Ville d'Abidjan (Côte d'ivoire), International Journal of Pure &Applied Bioscience. 2013 : 45-60 p.

Amalric L. Analyses des pesticides dans les eaux. Bureau de recherches géologiques et minières. 2012.

Barrette E. Pesticides et eau souterraine : Prévenir la contamination en milieu agricole. Direction des politiques en milieu terrestre, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec. 2006.

Bekkoussa B ; Meddi M et Jourde Hervé Forçage climatique et anthropique sur la ressource en eau souterraine d'une région semi-aride : cas de la plaine de Ghriss (Nord-Ouest algérien), Sécheresse 2008 ; 19 (3) : 173-184 p.

Bonnet, E. support de cours ArcGIS 9.X. 2000.

Bohbot, H. base pratique en crtographique et SIG,initiation à Arc GIS 10 (Vol. 1.1). 2014

Boualla N ; DouhiBouabdellah R ; Abdelhadi H ; Benziane A et Derrich Z. Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines : cas du bassin sebkha d'Oran. 2013.

Boulaine, J. Pédologie appliquée. Ed. Masson. 1980.

Bravard J-P et Clemens A. Le Rhône en 100 Questions, Les eaux souterraines, ZABR, GRAIE, Villeurbanne. 2008 : 295 p.

Chilès, J. P., Hélèn, D. R., Nicolas, Dimitri, D., Gaëlle, L., J, P. J., et al. Géostatistique appliquée aux sites et sols pollués Manuel méthodologique et exemples d'applications. p. 26. 2005.

Conseil général du Morbihan. 2012. Disponible sur :
http://csem.morbihan.fr/dossiers/atlas_env/pressions/atteinte_eau.php

Denis, A. Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique. p. 35. 2012.

Denis, A., & Allard. Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique. p. 3. 2012.

Dorioz J-M et Trevisan D. Le transfert diffus du phosphore dans les bassins agricoles : ordres de grandeur, mécanismes, maîtrise, Ingénieries. 2008.

Environmental Protection Agency. Nitrification. Distribution system issue paper. Office of Water, Office of Ground Water and Drinking Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington. 2002.

FAO. Utilisation des engrais par culture en Algerie. 2005.

FAO. Les engrais et leurs applications. 2003.

Fekkoul A ; Zarhloule Y ; Boughriba M ; Kabbabi A ; Machmachi I et Chafi A, Contamination par Les Pesticides Organochlores et Les Nitrates des Eaux Souterraines Du SystemeAquifere de la Plaine Des Triffa (Maroc Nord Oriental). 2011. 2111-4706 p.

Ficcidc. the proposed stardard for digital crtographique data. the american cartographer (Vol. 15(1)). 1988.

Frontier, S. Stratégies d'échantillonnage en écologie.Ed. Masson. 1997.

Journal officiel de la république Algérienne Démocratique et populaire, article n°18. 23 mars 2011.

Journal officiel de la république française. Limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux de source conditionnées, fixées pour l'application des dispositions prévues aux articles r. 1321-7 (ii), r. 1321-17 et r. 1321-42,2007.

Khaldi. A. Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida", Thèse pour l'obtention du diplôme de Docteur d'Etat (Option : Hydrogéologie). 2005.

Lahlou, Badraoui, Soudi, Goumari, Tessier, et al. Modilisation de l'impact de l'irrigation sur le devenire salin et sodique des sols . Montpellier. 2002.

Legros, J. Cartographie des sols de l'analyse spatiale à la gestion des territoire, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.- (Gérer l'environnement, 10). 1996.

Lemercier B. La pollution par les matières phosphorées en Bretagne, Sources, transfert et moyens de lutte. 2003.

Levi Y. Contamination des eaux et santé publique, EMC - Pathologie professionnelle et de l'environnement. 2013.

Matheron, G. Traité de géostatistique appliquée, Tome I. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (14). 1962.

Midekor, A., & Wellens, J. Intitiation à Arc GIS. 2007.

Moreau S ; Bottin A et Boitard C. Les teneurs en nitrates augmentent dans les nappes phréatiques jusqu'en 2004 puis se stabilisent mais de fortes disparités régionales existent,

Commissariat général au développement durable Service de l'observation et des statistiques. 2013. Disponible sur : www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

Moughli H. Les engrais minéraux caractéristiques et utilisations(Centre d'études et de prospective). 2000.

Niagolova N ; McElmurry S.P ; Voice T.C ; Long D.T ; Petropoulos E.A ; Havezov I ; Chou K et Ganev V. Nitrogen species in drinking water indicate potential exposure pathway for Balkan endemic nephropathy. Environnemental Pollution. 2005, 134(2): 229–237 p.

Nitrate et nitrite dans l'eau potable. Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, santé canada, novembre 2012. Disponible sur : http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/pdf/consult/_2012/nitrite-nitrite/nitrite-nitrite-fra.pdf

Nolin, M., Cambouris, A., & Simard, R. La variabilité des sols: son origine et sa gestion. (C. d.-J. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture, Éd.) 1997.

U.S. Environmental Protection Agency. Nitrification. Distribution system issue paper. Office of Water, Office of Ground Water and Drinking Water, Washington. 2002.

Observatoire de l'eau en Bretagne. Concentration en matières phosphorées dans les cours d'eau : méthodes et analyse. 2013.

OEHHA Public health goals for nitrate and nitrite in drinking water. Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Environmental Protection Agency, Sacramento, California. 1997. Disponible sur : www.oehha.ca.gov/water/phg/pdf/nit2_c.pdf.

Organisation mondiale de la Santé. Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. 2007.

Painchaud J. La qualité de l'eau des rivières du Québec : état et tendances. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques. Québec, 1997: 58 p.

Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Un droit de l'eau plus vert : Gérer les ressources en eau douce pour les hommes et l'environnement. 2010.

Pütz P. Elimination et détermination des composés phosphatés, Analyse de laboratoire & analyse en continu elements nutritifs phosphates. 2008.

Régis et Collet, C. Analyse spatiale de l'information géographique (éd. 1e édition). Italie. 2011.

Régis, C., & Collet, C. Analyse spatiale de d'information géographique (éd. 1er éditon). Italie. 2005.

Rodier J et Coll, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Paris. 6ème édition, 1978.

Rodier J ; Legube B ;Merlet N ;Brunet R ; et al. L'analyse de l'eau. 9 ème édition, Dunod, Paris. 2009.

Smith, J., Halvorson, J., & Robert, I. Using multiple variable indicator kriging for evaluating soil quality. Soil Sci. Soc. Am. 1993.

Société française des sciences techniques et pharmaceutiques (SFSTP). Guide de validation analytique. 1992.

Sophie, B. Le krigeage : Revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Lava. 2005.

Soudani, K. Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ARCGIS 9 ESRI-Environmental Systems bResearch Institute.Université d'Orsay. p. 6. 2006.

Tessier, M.Quelques notions de fertilisation, Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec. 2005.

Testud. F. Toxicologie-Pathologie professionnelle, Engrais minéraux, encyclopédie médico-chirurgicale 16-060-A-10, Elsevier. 2003.

Testud, F. Phosphore et composés inorganiques, encyclopédie médico-chirurgicale 16-005-C-10, Elsevier, Toxicologie-Pathologie professionnelle. 2011.

Union européenne. La directive «Nitrates», KH-30-09-235-FR-D. 2010.

Viennot P ; Ledoux E ; Monget J-M ; Céline Schott ; Garnier C et Beaudoin N. la pollution du bassin de la seine par les nitrates, Agence de l'Eau Seine-Normandie, Numéro ISBN : 2009.

Wilfrid, D. Rapport de stage « Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. ». Université de Bretagne Sud Institut Universitaire Professionnalisé Informatique et Statistique. 2006.

Annexes

Annexe n° 01 : Questionnaire auprès des professionnels

<u>République Algérienne Démocratique et Populaire</u>

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université africaine AHMED DRAIA Adrar
Faculté des sciences et de technologie

Questionnaire auprès des professionnels d'agriculture

Caractéristiques du forage

Forages n° :…….. Localisé dans la commune :…….....

Profondeur :……..m

L'eau du puits est utilisée comme : □eau de boisson □eau d'irrigation □ eau pour abreuvoir

Pour l'irrigation des cultures, utilisez-vous une autre eau que celle de votre forage : □non □oui

Aspect de l'eau du forage : Couleur : odeur : débris :

L'eau du forage a t'elle était analysée auparavant : □ non □oui, date :…….....

Les d'analyses effectuées : □physicochimiques □microbiologiques □autres :……..

L'utilisation des engrais

Utilisation des engrais : □ non □oui, si oui lesquels :

□minéraux □ Organiques, type : fumier de

Comment vous les avez obtenus : □ acheté au magasin □ achetée à la coopérative.

Le prix : □ pas cher □ moyen □cher □trop cher

Avant d'utiliser les engrais azotés connaissez-vous le contenu initial des sols en azote :

□non □oui

Avez-vous déjà analysé votre sol :□non □oui

Avez-vous eu des problèmes résultant d'une utilisation désordonnée ou abusive d'engrais :

……

type	Quantité à l'hectare	Forme	Signes cliniques observés au moment ou après Epandage	Fréquence et moment de l'épandage	Culture traitée	Technique d'épandage
□N □urée □TSP □NPK □PK s □K		□liquide □granulés	□dermatoses □signes irritatifs muqueux	nombre de fois par an : …… La saison : ……		□ Semoir rotatif □ à main □ vaporisés

Elevage à proximité du puits : □ non □oui le type :

Échantillons

L'échantillonnage pour le dosage des nitrates/ phosphates :

N°	Date et heure du prélèvement	Type et Date de la dernière utilisation d'engrais	Conditions météorologiques du moment

Annexe n°02 : Résultats des analyses physico-chimiques des prélèvements des eaux ANRH Adrar 2010.

No	Lieu_dit	Désignatio	Longitude	Latitude	XX	YY	x_dec	Y_dec	PH	Cd_	NO3	NO2	PO4
1	EL MANSOUR	EL MANSOUR BOUDA 1 BIS	00°24'18"W	27°57'31"N	00,24,18,W	27,57,31,N	-0,405	27,95861	7,18	2,8	50	0	0,02
2	EL MANSOUR	EL MANSOUR BOUDA	00°24'17"W	27°57'26"N	00,24,17,W	27,57,26,N	-0,404722	27,95722	7,5	2,39	50	0	0
3	BENDRAOU 2	BENDRAOU(BENILOU)	00°24'10"W	28°00'31"N	00,24,10,W	28,00,31,N	-0,402778	28,00861	7,4	3,34	70	0	0
4		TILLILLENE 08	00°14'41"W	27°55'49"N	00,14,41,W	27,55,49,N	-0,244722	27,93028	7,15	1,16	18,5	0	0
5	MERAGUEN	DADA MBIRIK P	00°17'16"W	28°00'34"	00,17,16,W	28,00,34,	-0,287778	28,00944	7,05	8,03	48	0	0
6	MERAGUEN	DJILALI BENAMEUR P	00°16'10"W	28°00'43"	00,16,10,W	28,00,43,	-0,269444	28,01194	7,2	3,56	102	0	0
7	TILILANE	TILLILLENE 02	00°13'40"W	27°53'55"N	00,13,40,W	27,53,55,N	-0,227778	27,89861	7,05	1,23	22	0	0
8	TILILANE	TILLILLENE 03	00°13'11"W	27°53'44"N	00,13,11,W	27,53,44,N	-0,219722	27,89556	7,16	1,2	25	0	0
9	MERAGUENE 3	KALOUM OUAINA	00°14'01"W	28°04'18"N	00,14,01,W	28,04,18,N	-0,233611	28,07167	8,16	1,71	22	0	0
10	SBAA 02	FERME PILOTE 2	00°11'09"W	28°13'10"N	00,11,09,W	28,13,10,N	-0,185833	28,21944	7,95	1,38	32	0	0
11	SBAA 03	HOUARI BOUMEDIENE BASSA	00°11'31"W	28°13'15"	00,11,31,W	28,13,15,	-0,191944	28,22083	7,33	1,62	44	0,05	0,01
12	SBAA F01	HAIDA EL AMEL	00°10'27"W	28°14'11"N	00,10,27,W	28,14,11,N	-0,174167	28,23639	7,1	1,78	28	0,014	0,25
13	SBAA F02	ELMOSTAKBEL	00°11'50"W	28°14'22"N	00,11,50,W	28,14,22,N	-0,197222	28,23944	8	1,3	5,8	0	0
14	SBAA F10	BENTABET	00°12'49"W	28°14'27"N	00,12,49,W	28,14,27,N	-0,213611	28,24083	8,06	2,48	63	0,2	0,013
15	SBAA F11	BOUDIA 1 EL OUIHDA	00°12'23"W	28°14'02"N	00,12,23,W	28,14,02,N	-0,206389	28,23389	7,48	1,74	48	0,014	0
16	SBAA SH1	TOUATI 1	00°07'39"W	28°15'19"	00,07,39,W	28,15,19,	-0,1275	28,25528	7,82	1,57	43	0,04	0
17	GUERARA 01	HIDA BAHOUS	00°11'53"W	28°11'25"	00,11,53,W	28,11,25,	-0,198056	28,19028	7,08	1,24	34	0	0
18	GUERARA 02	BELBADAOUI 2 BIS	00°12'33"W	28°09'34"	00,12,33,W	28,09,34,	-0,209167	28,15944	4,93	0	0	0	0
19	SBAA 25	LAAMRI 1	00°07'49"W	28°17'20"	00,07,49,W	28,17,20,	-0,130278	28,28889	7,52	1,5	25	0,3	0,1
20	GUERARA 18	GUERARA 18	00°10'38"W	28°10'46"N	00,10,38,W	28,10,46,N	-0,177222	28,17944	7,62	1,24	25	0,015	0
21	SBAA II	SBAA II	00°10'22"W	28°12'44"N	00,10,22,W	28,12,44,N	-0,172778	28,21222	7,12	1,38	28	0	0
22	SBAA F03	ACHOUR	00°10'45"W	28°14'58"N	00,10,45,W	28,14,58,N	-0,179167	28,24944	7,26	1,91	57	0,05	0,01
23	SBAA 22	TOUATI 3	00°06'59"W	28°15'57"	00,06,59,W	28,15,57,	-0,116389	28,26583	7,84	1,71	40	0,1	0
24	SBAA 37	KASDI1	00°05'36"W	28°15'04"	00,05,36,W	28,15,04,	-0,093333	28,25111	7,18	1,49	48	0	0
25	SBAA 39	KASDI2	00°04'57"W	28°15'01"	00,04,57,W	28,15,01,	-0,0825	28,25028	7,15	1,38	55	0	0
26	GUERARA 03	TABBI	00°11'18"W	28°08'43"N	00,11,18,W	28,08,43,N	-0,188333	28,14528	7,24	1,87	46	0	0
27	GUERARA 06	BELHAOUAS 1	00°10'25"W	28°08'53"N	00,10,25,W	28,08,53,N	-0,173611	28,14806	7,05	1,52	40	0	0
28	GUERARA 09	SBAIHI 4	00°11'23"W	28°09'26"N	00,11,23,W	28,09,26,N	-0,189722	28,15722	8,22	1,86	30	0,089	0
29	GUERARA 11	AKROUN 4	00°11'13"W	28°07'57"N	00,11,13,W	28,07,57,N	-0,186944	28,1325	8,12	2,61	70	0	0
30	GUERARA 12	AKROUN 5	00°10'25"W	28°07'41"N	00,10,25,W	28,07,41,N	-0,173611	28,12806	8,75	2,63	0	0	0
31	SBAA 31	ABDICHE 1	00°08'49"W	28°18'05"	00,08,49,W	28,18,05,	-0,146944	28,30139	7,25	1,4	45	0	0
32	SBAA 47	KASDI6	00°01'58"W	28°14'46"	00,01,58,W	28,14,46,	-0,032778	28,24611	8,48	1,13	2	0	0

33	SBAA 42	KASDI3	00°04'09"W	28°15'57"	00,04,09,W	28,15,57,	-0,069167	28,26583	8,34	1,36	49	0	0
34	SBAA 43	KASDI4	00°03'33"W	28°14'54"	00,03,33,W	28,14,54,	-0,059167	28,24833	9,06	1,08	0	0,045	0
35	SBAA 67	KASDI9	00°04'38"W	28°16'14"	00,04,38,W	28,16,14,	-0,077222	28,27056	7,23	2,87	39	0	0
36	BOUDA 5	BOUDA5(BAKHADA1BIS)	00°12'46"W	28°08'00"N	00,12,46,W	28,08,00,N	-0,212778	28,13333	7,08	3,01	2	0	0
37	BOUDA 7	OULED BENSADIK	00°13'13"W	28°06'46"N	00,13,13,W	28,06,46,N	-0,220278	28,11278	9,06	2,87	0	0	0
38	OUAINA 4	KALOUM OMAR	00°19'41"W	27°57'07"N	00,19,41,W	27,57,07,N	-0,328056	27,95194	8,5	2,01	0	0	0
39	OUAINA 6	HAMAOUI GEP MIAMIA	00°22'43"W	27°55'45"N	00,22,43,W	27,55,45,N	-0,378611	27,92917	7,28	1,75	54	0,012	0
40	ELHABIB	OUAINA7(GEP LAHBIB)	00°18'59"W	27°57'19"N	00,18,59,W	27,57,19,N	-0,316389	27,95528	7,14	1,57	30	0	0
41	OUAINA 8	OUAINA8 GUELLI1	00°19'55"W	27°58'26"N	00,19,55,W	27,58,26,N	-0,331944	27,97389	7,05	2,25	63	0	0
42	BOUDA 4 BIS	BOUDA (LAGHMARA)	00°27'08"W	28°01'53"N	00,27,08,W	28,01,53,N	-0,452222	28,03139	7,44	3,35	49	0	0
43	TSABIT F12	MOHAMMED ATCHANE	00°10'51"W	28°16'01"N	00,10,51,W	28,16,01,N	-0,180833	28,26694	7,21	1,76	58	0	0
44	TSABIT F04	SMASI	00°11'32"W	28°15'05"	00,11,32,W	28,15,05,	-0,192222	28,25139	7,55	6,96	110	0,2	0
45	TSABIT F05	BAGA	00°12'16"W	28°15'21"	00,12,16,W	28,15,21,	-0,204444	28,25583	7,19	1,85	55	0	0
46	TSABIT F 06	MAHMOUDI	00°10'38"W	28°15'33"	00,10,38,W	28,15,33,	-0,177222	28,25917	7,44	1,72	55	0	0
47	TSABIT F07	BOUNAAMA	00°11'41"W	28°15'48"	00,11,41,W	28,15,48,	-0,194722	28,26333	7,12	1,78	45	0	0
48	AERODROME 03	CAAS16(caas1base1)	00°07'21"W	27°51'59"N	00,07,21,W	27,51,59,N	-0,1225	27,86639	7,72	2,89	67	0	0
49	MERAGUEN1	MERAGUEN1(AGOUGIL)	00°13'45"W	28°04'53"N	00,13,45,W	28,04,53,N	-0,229167	28,08139	7,1	3,3	140	0	0
50	AERODROME 04	CAAS23(CAAS2S3,3)	00°08'02"W	27°53'58"N	00,08,02,W	27,53,58,N	-0,133889	27,89944	8,62	1,8	60	0	0
51	AERODROME 05	CAAS21(CAAS3S3,1)	00°08'37"W	27°53'25"N	00,08,37,W	27,53,25,N	-0,143611	27,89028	7,46	1,29	80	0	0
52	AERODROME 07	CAAS19(CAAS5S3,2)	00°08'02"W	27°53'27"N	00,08,02,W	27,53,27,N	-0,133889	27,89083	6,83	2,34	0	0	0
53	MEREGUEN	LAKBIER P	00°15'11"W	28°01'34"	00,15,11,W	28,01,34,	-0,253056	28,02611	7,06	3,67	165	0	0
54	ADRAR 2	ADRAR2 (SALMI)	00°14'53"W	28°03'19"N	00,14,53,W	28,03,19,N	-0,248056	28,05528	7,12	4,5	0	0	0,01
55	BAKHADA 03	SIDI MHAMED	00°12'48"W	28°07'31"N	00,12,48,W	28,07,31,N	-0,213333	28,12528	8,24	2,22	0	0	0
56	SBAA 71	LIMAM	00°06'40"W	28°14'30"	00,06,40,W	28,14,30,	-0,111111	28,24167	8,02	1,72	63	0,02	0
57	SBAA 69	KASDI8	00°05'14"W	28°16'16"	00,05,14,W	28,16,16,	-0,087222	28,27111	8,48	1,13	2	0	0
58	AERODROME 08	CAAS20(CAAS6S3,5)	00°08'21"W	27°53'16"N	00,08,21,W	27,53,16,N	-0,139167	27,88778	7,58	2,55	0	0	0
59	AERODROME 12	CAAS14(10s1-2)	00°09'01"W	27°51'59"N	00,09,01,W	27,51,59,N	-0,150278	27,86639	7,76	2,36	20	0	0
60	KALOUM OMAR	O GHEZALA2 KALOUM OMAR	00°06'40"W	28°01'20"N	00,06,40,W	28,01,20,N	-0,111111	28,02222	8,61	1,82	20	0	0
61	ZONE INDUS	USINE DE BRIQUE	00°17'34"W	27°55'47"N	00,17,34,W	27,55,47,N	-0,292778	27,92972	8,68	1	0	0	0
62	AERODROME 13	CAAS17(caas11s3-6)	00°08'15"W	27°53'10"N	00,08,15,W	27,53,10,N	-0,1375	27,88611	8,8	1,3	67	0	0

63	GUERARA 19	SBAIHI 5	00°11'01"W	28°09'50"N	00,11,01,W	28,09,50,N	-0,183611	28,16389	7,12	3,37	31	0	0
64	AERODROME 16	CAAS14S1-5	00°09'21"W	27°52'17"N	00,09,21,W	27,52,17,N	-0,155833	27,87139	8,52	1,04	38	0,05	0,106
65	AERODROME 17	CAAS13(caas15s1-6)	00°09'14"W	27°52'11"N	00,09,14,W	27,52,11,N	-0,153889	27,86972	8,7	1,05	26	0	0
66	AERODROME 19	CAAS F01P7,83	00°09'33"W	27°53'00"N	00,09,33,W	27,53,00,N	-0,159167	27,88333	7,83	1,89	13	0,035	0
67	TILILANE	TILLILLENE 05	00°14'02"W	27°55'24"N	00,14,02,W	27,55,24,N	-0,233889	27,92333	6,95	1,13	14,5	0	0
68	TILILANE	TILLILLENE 06	00°12'29"W	27°54'19"N	00,12,29,W	27,54,19,N	-0,208056	27,90528	7,33	1,2	24,5	0	0
69	TILILANE	TILLILLENE 07	00°15'02"W	27°55'09"N	00,15,02,W	27,55,09,N	-0,250556	27,91917	7,2	1,18	23,5	0	0
70	OUAINA 3	OUAINA 3	00°21'47"W	27°54'01"N	00,21,47,W	27,54,01,N	-0,363056	27,90028	7,93	2,28	13	0	0
71	TILILANE	TILLILLENE 01	00°13'20"W	27°54'20"N	00,13,20,W	27,54,20,N	-0,222222	27,90556	7,71	2,59	77	0,005	0,35
72	TILILANE	TILLILLENE 04	00°14'13"W	27°53'59"N	00,14,13,W	27,53,59,N	-0,236944	27,89972	7,17	1,41	24,5	0	0
73	ROUTE AERODROME	AERODROME 2(LA CEINTURE)	00°12'43"W	27°50'58"N	00,12,43,W	27,50,58,N	-0,211944	27,84944	7,5	1,2	22	0	0
74	REDUCATION	ADRAR1(ATELIER)	00°17'08"W	27°58'00"N	00,17,08,W	27,58,00,N	-0,285556	27,96667	7,4	1,68	32	0	0
75	PEPINIERE	FORET	00°17'16"W	27°54'00"N	00,17,16,W	27,54,00,N	-0,287778	27,9	7,12	3,21	18	0	0
76	INRA	INRA2	00°18'44"W	27°50'41"N	00,18,44,W	27,50,41,N	-0,312222	27,84472	7,29	4,59	58	0	0
77	MERGUEN 5	MERAGUEN5	00°16'51"W	27°59'27"N	00,16,51,W	27,59,27,N	-0,280833	27,99083	7,56	1,89	48	0	0
78	MELOUKA	MELOUKA	00°20'28"W	27°52'44"N	00,20,28,W	27,52,44,N	-0,341111	27,87889	7,26	3,29	10	0	0
79	BENI TAMEUR	BENITAMEUR 1	00°15'42"W	27°49'52"N	00,15,42,W	27,49,52,N	-0,261667	27,83111	7,48	2,02	15,3	0	0
80	OULED AHMED	O/BRAHIM O/AHMED	00°16'29"W	27°50'47"N	00,16,29,W	27,50,47,N	-0,274722	27,84639	7,18	1,89	9	0	0
81	BENITAMEUR 2	SIDI AZIZI BENITAMEUR2	00°14'19"W	27°50'21"N	00,14,19,W	27,50,21,N	-0,238611	27,83917	7,78	1,36	18	0	0
82	KOUSSANE	KOUSSANE BOUZANE	00°20'12"W	27°50'41"N	00,20,12,W	27,50,41,N	-0,336667	27,84472	7,54	3,13	22	0,024	0
83	ONAPSA	ONAPSA TIMI	00°18'22"W	27°50'48"N	00,18,22,W	27,50,48,N	-0,306111	27,84667	7,79	4,31	50	0	0
84	MANSOURIA O/BOUHAFS	MEHDIA	00°18'11"W	27°49'16"N	00,18,11,W	27,49,16,N	-0,303056	27,82111	7,55	2,67	16	0	0
85	TILIILANE	OUAD GHOZALA 01	00°11'47"W	27°51'11"N	00,11,47,W	27,51,11,N	-0,196389	27,85306	7,1	1,14	26	0	0
86	TILIILANE	OUAD GHOZALA 02	00°12'19"W	27°51'27"N	00,12,19,W	27,51,27,N	-0,205278	27,8575	7,22	1,16	26	0	0
87	AERODROME	CAAS2P	00°09'14"W	27°53'18"N	00,09,14,W	27,53,18,N	-0,153889	27,88833	8,5	1,21	58	0,03	0
88	AERODROME	CAAS3P	00°08'55"W	27°53'38"N	00,08,55,W	27,53,38,N	-0,148611	27,89389	9,03	1,73	39	0,024	0
89	AERODROME	CAAS7P	00°08'00"W	27°53'51"N	00,08,00,W	27,53,51,N	-0,133333	27,8975	7,35	1,69	119	0,45	0
90	AERODROME	CAAS8P	00°07'40"W	27°53'35"N	00,07,40,W	27,53,35,N	-0,127778	27,89306	7,38	1,13	46	0	0,143
91	AERODROME	CAAS9P	00°07'16"W	27°53'16"N	00,07,16,W	27,53,16,N	-0,121111	27,88778	7,4	1,64	26	0	0
92	AERODROME	CAAS10P	00°06'56"W	27°53'00"N	00,06,56,W	27,53,00,N	-0,115556	27,88333	8,98	0,78	26,5	0,011	0,001
93	MEREGUEN	ALI MHAMED ELBARKA P	00°15'54"W	28°02'02"	00,15,54,W	28,02,02,	-0,265	28,03389	6,99	5,35	180	0	0

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHLONOLOGIE ADRAR
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE

Mots clefs : Adrar, Pollution, Nitrates, Analyse Spatiale, Eaux Souterrains

Adrar possède une nappe phréatique très importante. L'usage excessif des intrants agricoles présente un vrai risque pour la détérioration de la qualité de cette nappe particulièrement en présence du sol lumen-argilo-sableux. Cependant peu d'études ont été réalisées sur la contamination de la nappe à Adrar.
L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la contamination deeaux souterraines de cette zone.
Une étude descriptive de l'usage des fertilisants a été menée auprès des professionnels d'agriculture pour connaitre les principaux engrais utilisés. La variabilité spatiale de teneurs en nitrates à divers points en utilisant le logiciel ArcGIS à partir des analyses physico-chimiques fournies par ANRH en 2010 en utilisant les méthodes d'interpolation déterministes inverse distance (*IDW*) et probabilistes (KO).Des échantillons d'eau de forages ont été effectués sur lesquels un dosage des nitrates a été réalisé par spectrophotométrie UV-Visible.
Les principaux engrais utilisés sont à base d'azote. La modélisation spatiale a permet de cartographier les nitrates dans les eaux souterraines de la zone d'étude avec une supériorité de la technique du krigeage ordinaire. Un total de 8 échantillons à été prélevé dans 4 sites. Les résultats de dosages montrent que la majorité des échantillons d'eau dépassent la norme internationale de la concentration des nitrates (50 mg/L). Ces résultats peuvent être expliqués par la nature sableuse du sol dans la zone d'étude et l'utilisation fréquente des fertilisants.
Le phénomène de pollution diffuse constitue un réel danger en absence des normes réglementaires algériennes applicables sur les eaux souterraines.

keywords: Adrar, pollution, nitrates, spatial analysis, underground water

Adrar has a very important table. The excessive use of agricultural inputs presents a real risk of deterioration of the quality of this aquifer, particularly in the presence of the lumen-clay-sandy soil. However, few studies have been done on the contamination of the aquifer in Adrar.
The main objective of this work is to evaluate the contamination of groundwater in this area.
A descriptive study of the use of fertilizers was conducted with agricultural professionals to know the main fertilizers used. Spatial variability of nitrate contents using ArcGIS software from the physicochemical analyzes provided by ANRH in 2010 using inverse deterministic interpolation (IDW) and probabilistic (KO) interpolation methods. Drilling water samples were taken on which a nitrate assay was performed by UV-Visible spectrophotometry.
The main fertilizers used are based on nitrogen. Spatial modeling is used to map nitrates in the groundwater of the study area with a superiority of the ordinary kriging technique. A total of 8 samples were collected from 4 sites. The assay results for the majority of water samples exceed the international standard for nitrate concentration (50 mg / L). These results can be explained by the sandy nature of the soil in the study area and the frequent use of fertilizers.
The phenomenon of diffuse pollution is real danger in the absence of algerian regulatory standards applicable to groundwater.

كلمات البحث : أدرار , االتلوث, التحليل المكاني, المياه الجوفية,النترات.

أدرار لديها طبقة جيبية مائية مهمة جدا. يمثل الاستخدام المفرط للمدخلات الزراعية خطرًا حقيقيًا في تدهور جودة هذه الطبقة ، خاصةً في وجود تربة طينية رملية.
ومع ذلك, فقد أجريت دراسات قليلة على تلوث طبقة المياه الجوفية في أدرار.
الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقييم تقييم تلوث المياه الجوفيةفي هذه المنطقة.
أجريت دراسة وصفية لاستخدام الأسمدة مع المهنيين الزراعيين لمعرفة الأسمدة الرئيسية المستخدمة. التباين المكاني لمستويات النترات في نقاط مختلفة باستخدام برنامج ArcGIS من التحليلات الفيزيائية والكيميائية التي قدمتها ANRH في عام 2010 باستخدام المسافة العكسية الحتمية (IDW) وأساليب الاستيفاء الاحتمالي (KO). أخذت عينات ماء الحفر لفحص النترات بواسطة القياس الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية.
الأسمدة الرئيسية المستخدمة تعتمد على النيتروجين. وقد مكّن النمذجة المكانية من تحديد النيترات في المياه الجوفية لمنطقة الدراسة بتفوق
تقنيةالاستيفاء الاحتمالي. تم جمع ما مجموعه 8 عينات من 4 مواقع. أظهرت نتائج الفحص أن غالبية عينات المياه تتجاوز المعيار الدولي لتركيز النترات (50 ملغ / لتر). يمكن تفسير هذه النتائج بالطبيعة الرملية للتربة في منطقة الدراسة والاستخدام المتكرر للأسمدة.
تشكل ظاهرة التلوث المنتشر خطراً حقيقياً في غياب المعايير التنظيمية الجزائرية المنطبقة على المياه الجوفية.