

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de génie civil et hydraulique

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري

Référence :

المرجع :



Mémoire de master
2^{ème} année
Sciences de L'Eau
et de L'Environnement

LOCALISATION ET CARACTERISATION DES ZONES
SOURCES DE POLLUTION DES RESSOURCES EN EAU DE
LA VILLE DE BISKRA A L'AIDE DE S.I.G

Etudiants :

Salim FRIOUA

Encadreur :

Dr. Abdelhamid MESSAME

Promotion juin 2014

DEDICACES

A mes parents avant tout et pour tout;

A mon grand-père (Mohammed) et ma grand-mère;

A ma femme et mon fils;

A mes frères et sœurs;

A mes oncles surtout Ali et mon beau-père;

A tout les amis de département d'hydraulique

A tous ceux qui me sont chers.

Remerciement

A l'issue de ce travail, je remercie avant tout "mon Dieu", le tout puissant, de m'avoir donné volonté, courage et patience pour enfin arriver à mon but.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Dr. MESSAMEH Abdelhamid, mon encadreur, pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin mon mémoire.

J'adresse mes vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

Je remercie tous les enseignants et le personnel de département, en particulier M. BOUZIANE M^{ed} Toufik le chef de département, qui n'a pas hésité à nous donner des conseils, sans oublier tous les amis et les collègues de la promotion 2013 / 2014

Je remercie tous les responsables au niveau de la direction de l'A.D.E de la wilaya de Biskra spécialement Mme Loudjani Naouel.

Je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, mes plus profonds remerciements vont également à ma famille pour leur soutien moral dans les moments difficiles pendant toutes les étapes de la réalisation de ce travail.

Résumé :

Le but de notre travail dans le présent travail sera de démontrer l'utilité des SIG à travers

Leur application à une problématique concrète. Dans ce cas précis il s'agit d'appliquer les SIG à la gestion et Localisation et caractérisation des ouvrages de captage d'eau dans la ville de Biskra,

La première partie du rapport théoriques sur Etat de l'art de pollution des ressources en eau souterraine en et une présentation de la région d'étude comme la situation géographique, ressources en eau, le forage de captage) en présentant une L'apport de S.I.G dans la localisation des sources de pollution

Et à la fin nous avons conclu des conséquences et des recommandations nécessaires à l'application du projet SIG, Alors ce projet comme tous les Projets de SIG il a besoin des données numérique et géographique (tableau, fichier, carte, photo, image,.....).

الملخص:

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو بحث السبل التي يمكن من خلالها استخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية كأداة فعالة لمساعدة المهندسين في مجال سنقوم باستخدام هذا النظام كأداة مساعدة في عملية تسيير ومتوقع الهياكل التقاط المياه لمدينة بسكرة

الجزء الأول من المذكرة, تحتوي على التقرير النظري لحالة التلوث الموارد للمياه السطحية, كان ذلك قمنا عرض عام عن منطقة الدراسة مثل الموقع الجغرافي مصادر المياه والأبار الالتقاط. وكذلك الخصائص الكيميائية و الفيزيائية في التقرير النظري نظم المعلومات الجغرافية لتحديد الموارد التلوث مكونات شبكة

أما في الفصل الأخير وهو الفصل الخامس فقد لخصنا فيه النتائج المتحصل عليها حيث برهنا من خلال هذا لمشروع وبشكل واضح على أن نظم المعلومات الجغرافية لها قدرة على التسيير و بسرعة مؤثرة الموقع . وفي الأخير لخصنا مجموعة من النتائج والتوصيات الضرورية لانجاز مثل هذا لنوع من المشاريع.

Sommaire

Introduction générale

CHAPITRE I : Etat de l'art de pollution des ressources en eau souterraine

I.1.Introduction	1
I.2. Notion de protection des captages des eaux souterraines	1
I.3. Méthodes de protection zone	1
I.3.1. Limites structurales	2
I.3.2. Méthodes analytiques	3
I.3.3. Modèles numériques	3
I.4.Exigence de la qualité des eaux dans les pays européens	3
I.4.1.Etude française	4
I.4.1.1. Estimation du pouvoir épurateur	4
I.5.Législation Algérienne	4
I.5.1. Contraintes à la mise en place des périmètres de protection en Algérie	5
I.5.2. Les activités interdites à l'intérieur des périmètres de protection (en Algérie)	6
I.6. Etude marocaine	7
I.6.1 Système d'information géographique (SIG)	7
I.6.2.Présentation des concepts utilisés pour la "DPP" (Délimitation des Périmètres de protection)	7
I.6.3. Conception du "SIG" pour la "DPP"	8
I.7. Différentes zones de protections définies dans divers pays à l'échelle mondiale	9
I.7. Détermination graphique de la zone d'appel du captage	10
I.8. Objectif des périmètres de protection	10
I.9. Les niveaux de périmètre de protection	11
I.9.1. Le périmètre de protection immédiate	12
I.9.2. Le périmètre de protection rapprochée	12
I.9.3. Le périmètre de protection éloignée	12
I.10. Critères de délimitation des zones de protection	13
I.11. Transfert des polluants dans les eaux souterraines	13
I.12. Mécanismes de transfert des polluants dans les eaux souterraines	14

Chapitre II : Contexte général de la zone étude

- II .1. Introduction16
- II .2. Contexte générale de la ville de Biskra 16
 - II.2.1. Situation géographique de la wilaya de Biskra16
- II.3. Périmètres physique de la région de Biskra17
 - II.3.1. Hydrographie 17
 - II.3.2. La population 18
- II.4. Ressources hydriques18
 - II.4 .1. Les ressources et les besoins en eau18
- II.5. Géologie de la région19
 - II.5.1. Synthèse litho-stratigraphique20
- II.6. Qualité des eaux souterraines22
- II.7. Principaux paramètres de potabilité des eaux souterraines 23
 - II.7.1. Paramètres physiques et chimiques23
 - II.7.1.1. Le PH 23
 - II.7.1.2. La dureté 23
 - II.7.1.3. Calcium (Ca^{2+}) 24
 - II.7.1.4. Magnésium (Mg^{2+}) 24
 - II.7.1.5. Sodium (Na^{+}) 24
 - II.7. 1.6. Potassium (K^{+}) 24
 - II.7.1.7. Le manganèse (Mn) 25
 - II.7.1.8. Les sulfates (SO_4) 25
 - II.7.1.9. Bicarbonates (HCO_3^-) 25
 - II.7.1.10. Nitrates (NO_3^-) 25
 - II.7.1.11. Le fluor (F) 25
 - II. 7.1.12. La turbidité 25
 - II.7.1.13. Le fer (Fe) 26
 - II.7.2. Paramètres microbiologiques 26
- II.8. Exigences de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine27
 - II.8.1. Exigence de la qualité des eaux en Algérie27
- II. 9 Caractéristiques physico–chimiques des échantillons d’eaux prélevés de la zone d’étude 27
- II.9. Différents critères des pollutions des eaux souterraines 30
 - II.9.1. Selon l'origine de pollution 30

II.9.1.1. Pollution domestique	30
II.9.1.2. Pollution industrielle	31
II.9.1.3. Pollution agricole	33
II.9.2.Selon la nature de pollution	33
II.9.2.1. Microbiologiques	33
CONCLUSION	34

Chapitre III : L'apport de S.I.G dans la localisation des sources de pollution

I.1. 1.Introduction	35
III.1.2. Données géographiques	35
III.1.2.1. Les données géographiques	35
III.1.2.La localisation : caractéristique principale de l'information Géographique	36
III.1.2.1. Les différents modes de localisation	36
III.1.3.Les types de coordonnées	37
III.1.3.1 Les coordonnées géographiques	37
III.3.2 Les coordonnées rectangulaires	37
III.3.3 Les coordonnées tridimensionnelles	38
III.1.4.Les techniques de mesure	38
III.1.5. Représentation de l'information géographique	39
III.1.5.1 Une représentation visuelle: linage	39
III.1.5.2 Une représentation graphique: la carte	40
III.1.5.3 Le texte forme traditionnelle d'expression de l'information géographique	40
III.1.5.4 Représentation numérique de la géométrie des objets	41
III.1.6.Base de données	42
III.1.6.1 Types de données	42
III.1.6.2 Modélisation	42
III.1.7. Requête	45
III.1.8. Les opérations de manipulation	46
III.1.8.1. Par fonction de traitement	46
III.1.8 .2. Par base de traitement	47
III.1.8.3. Par représentation fonctionnelle	48
III-2- Système d'information géographique(SIG)	48
II.2.1. Définition	48

III.2.2. Historique	49
III.2.3. Les objectifs d'un SIG	50
III.2.5. Fonctionnalités d'un SIG	50
III.2.6. Gestion et Modèle de représentation des informations dans le SIG	58
III.2.6.1. Gestion multidimensionnelle	58
III.2.6.1.1. Modèle pixel	58
III.2.6.1.2. Modèle vectoriel	59
III.2.6.1.3. Modèle spaghetti	59
III.2.6.1.4. Modèle topologique	59
III.2.6.1.5. Modèle tessellation	59
III.2.6.2. Gestion des relations spatiales	60
III.2.6.2.1. Représentation physique	60
III.2.6.2.2. Représentation logique	60
III.2.6.3. Gestion des référentiels	60
III.2.7. Fonctionnement d'un SIG	60
III.2.7.1 Analyse spatiale	61
III.2.7.2 Analyse de superposition	61
III.2.7.3 Analyse de proximité	61
III.2.7.3 Analyse et gestion des tables	62
III.2.7.4 Analyse de données tabulaires	62
III.2.7.5 Analyse statistique	63
III.2.8. Les disciplines participantes dans les SIGs	63
II.2.9. Conclusion	64

Chapitre IV : Localisation et caractérisation des ouvrages de captage dans la zone d'étude

IV.1 Présentation des bases de données	65
IV .2. Types de bases données	65
IV.2.1. Une base de données graphique	65
IV.2.2. Une base de données attributaire	66

IV.3 Caractéristiques de la zone 66

IV .3.1.Caractéristiques des ouvrages de captages (les forages)68

IV.3.1.1..Champ Captant Externe 68

IV.3.1.1.1.Champ Captant Oued Hai 68

IV.3.1.1.2. Champ Captant EL-MEGLoub 68

IV.3.1.2 Champ Captant interne 68

IV 4. Résultats d'analyse d'eau forage 71

IV 4.1. Résultats d'analyse d'eau forage (f zone ouest1.2.3 et surprissue) 71

IV 4.2. Résultats d'analyse d'eau forage (f 1 er Novembre)73

IV 4.3.Résultats d'analyse d'eau forage :(f .R .Gureria.1.2)75

IV .4.4. Résultats d'analyse d'eau forage : (f4 oued al Hai)76

IV 4.5.Résultats d'analyse d'eau forage : :(f. H SAADANE)77

IV 5.CONCLUSION

78

Conclusion générale

Introduction générale

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Les activités agricoles, minières et industrielles de l'homme moderne génèrent des déchets chargés en éléments polluants. L'accumulation de ces éléments dans les formations superficielles (sols et sédiments) en teneurs élevées, entraîne automatiquement grâce aux phénomènes qui accompagnent l'infiltration des eaux de pluie et superficielles, la contamination des eaux souterraines.

En Algérie, comme partout dans le monde, d'ailleurs, les activités industrielles et métallurgiques, rejettent dans l'environnement une grande variété d'éléments traces métalliques. Tous ces facteurs anthropiques rendent les eaux souterraines très vulnérables aux pollutions. En effet, on connaît malheureusement de nombreux cas de contaminations de nappes qui ont eu des incidences nuisibles sur la santé des populations, ou nécessite l'abandon définitif des captages. Il s'agit de définir la localisation et caractéristique une méthodologie de dimensionnement de zones de protection de captages d'eaux souterraines contre toute forme de pollution, et elle doit pouvoir être effectuée dans les principales situations hydrogéologiques. Les périmètres de protection sont un sujet d'actualité traité par les scientifiques dans le monde au profit de la recherche d'une part, et des collectivités locales d'autre part, pour une bonne gestion de la ressource hydrique. Plusieurs études ont été développées dans ce sens présentant des méthodes de délimitation de ces périmètres ainsi que les aires d'alimentation. Ces études et méthodes permettent de préserver la ressource de la dégradation notamment anthropique et par conséquent protéger le consommateur. Ce travail a pour but de localiser et caractériser les ouvrages de captage destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Biskra. L'image numérique et en particulier celle obtenue par télédétection satellitaire est une nouvelle source de données. Ces données se sont avérées très utiles pour le suivi de phénomènes évolutifs tel que la désertification, l'érosion, les incendies des forêts et les inondations. Apparaît une tendance à l'intégration des opérations de traitement d'images avec celles d'analyse géographique caractéristique des « SIG ».

La bonne gestion de la ressource hydrique exige que la qualité de l'eau souterraine ne soit pas compromise par une dégradation significative de ses propriétés chimiques ou biologiques. Une baisse de qualité de l'eau souterraine peut affecter tant la santé humaine que celle des

écosystèmes. À titre d'illustration, ce qui suit porte essentiellement sur la préservation de la qualité de l'eau potable. Même si les eaux souterraines sont dotées d'une protection naturelle (sol et végétation.....), on peut protéger les eaux souterraines contre les risques d'une contamination en installant à différents niveaux des périmètres de protection. Ces périmètres visent à protéger les ouvrages de captage des aires d'alimentation. Plusieurs auteurs ont proposé des méthodes de délimitation de ces périmètres cependant le problème réside dans la fiabilité et la disponibilité des données à injecter dans ces modèles []. Une bonne protection nécessite une bonne estimation de l'aire d'alimentation de ces ouvrages soit la portion du territoire sur laquelle l'eau qui s'infiltré aboutira tôt ou tard au point de captage. C'est sur cette portion du territoire que les risques de pollution doivent être minimisés, voire éliminés.

Le mémoire se compose en 04 chapitres

- Premier chapitre ; est un état d'art de pollution d'eau souterraine
- Deuxième chapitre : Contexte générale de la zone étude présente conditions naturelles de la région étudiée ainsi qu'une description détaillée de ses caractéristiques physique-chimie, géologique et climatique.
- Troisième chapitre : apport Système d'information géographique
- Quatrième chapitre donné : Localisation et caractérisation des ouvrages de captage dans la zone d'étude

Et enfin une conclusion générale.

CHAPITRE I

Etat de l'art de pollution des ressources en eau souterraine

I.1.Introduction

Le présent chapitre propose un aperçu des principales notions et méthodes de protection des eaux souterraines contre les différents polluants et définir les méthodes de protection. L'aspect plus particulier des polluants persistants et des décisions prises à leur égard est également abordé

I.2. Notion de protection des captages des eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par les matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de grande qualité, avec notamment de très faibles teneurs en micro-organismes et autres substances en suspension. Il en résulte que l'exploitation des eaux souterraines présente des avantages économiques appréciables, du fait qu'elles ne nécessitent que peu de traitement (parfois même aucun traitement) avant leur distribution dans un réseau d'eau potable [?]. Le maintien de cet avantage relatif requiert cependant que des mesures soient prises pour préserver de façon durable la qualité de la source d'approvisionnement. Il s'agit de périmètre de protection. C'est un moyen qui permet la préservation des ouvrages de captage notamment des trois principales sources potentielles de contamination qui est:

- la composition des formations aquifères.
- les eaux de surface.
- les activités anthropiques.

Une bonne protection nécessite une bonne estimation de l'aire d'alimentation de ces ouvrages soit la portion du territoire sur laquelle l'eau qui s'infiltré aboutira tôt ou tard au point de captage. C'est sur cette portion du territoire que les risques de pollution doivent être minimisés, voire éliminés.

I.3. Méthodes de protection zone [8]

Les méthodes de délimitation de la portion de nappe qui alimente le captage tendent à répondre à la question : une particule d'eau située en un endroit quelconque de la zone saturée de l'aquifère terminerait-elle sa course dans le captage? Il s'agit donc de calculer le chemin qui

indique en tout point de la nappe la probabilité qu'une particule d'eau rejoigne ce captage. Chacune des méthodes exposées dans les chapitres suivants présente des avantages et des limitations, ces dernières étant principalement liées à des hypothèses simplificatrices sur la structure et le fonctionnement de l'aquifère. D'une manière générale, la portion de la nappe qui alimente le captage dépend de critères structuraux ou hydrodynamiques. Ainsi, selon le type d'aquifère, l'un ou l'autre de ces critères peut prédominer, et on aura recours à des méthodes différentes pour délimiter la portion qui alimente le captage. Nous proposons de commencer l'étude en déterminant la portion de la nappe qui alimente le captage avec les moyens simples des limites structurales ou des méthodes graphique ou analytique selon la configuration hydrogéologique et les données à disposition. Ces méthodes ont l'avantage de donner rapidement une image des écoulements souterrains(1). Il convient cependant d'être toujours bien conscient des limites de ces méthodes et d'avoir un regard critique sur les résultats. Lorsqu'ils sont jugés insatisfaisants, on itérera la démarche de l'étude. La panoplie d'outils suggérés pour déterminer la portion de nappe alimentant le captage est alors complétée d'outils de simulation numérique. Si ces derniers sont utilisés, l'image des écoulements obtenue par les méthodes simples permet de tester la cohérence des premières opérations de simulation numérique.

I.3.1. Limites structurales

La méthode des limites structurales fait l'hypothèse que les limites supposées sont imperméables. On entend par structure toute discontinuité qui sépare des milieux de perméabilités distinctes ; ce peut être une limite tectonique, sédimentaire ou d'altération. Ceci est valable lorsque la perméabilité des roches situées au-delà de la limite est très faible en comparaison de celle des roches qui sont à l'intérieur.

Dans bien des cas, le contraste de perméabilité ne permet pas de tracer nettement de telles limites. Cette méthode fait aussi l'hypothèse que toutes les eaux de l'aquifère ainsi délimité rejoindront le captage, ce qui est commode mais ne permet pas de tracer la portion d'aquifère qui alimente un captage donné lorsque l'aquifère a plusieurs exutoires. Dans le cas des sources, la structure de l'aquifère conditionne en grande partie les écoulements souterrains. Les eaux sont, en effet, généralement amenées en surface par la présence d'un niveau de faible perméabilité.

- Dans le cas d'un puits de pompage, la structure perd généralement de

I.3.2. Méthodes analytiques

Ces méthodes sont moins générales que les précédentes, car elles supposent un milieu homogène. Elles s'appliquent aux puits. Il existe un grand nombre de

(Chapuis, 1999, USEPA, 1987 et 1998, de Marsily, 1986, Spitz et Moreno, 1996), dont l'objet est de calculer en tout point le rabattement induit par le captage. La portion de nappe qui alimente le captage peut ainsi être délimitée sur la base de ce cône d'influence et du gradient hydraulique naturel. Il s'agit de formules intégrant exactement l'équation de continuité mais sous des hypothèses simplificatrices fortes. Typiquement, l'équation de Du puits suppose un aquifère horizontal, homogène, isotrope, d'extension latérale infinie, d'épaisseur constante, non rechargé par des précipitations et muni d'un puits complet qui occasionne un rabattement faible par rapport à la puissance de l'aquifère. De telles hypothèses ne sont jamais vérifiées quoique parfois ce potables par approximation.

I.3.3. Modèles numériques :

Pour contourner les limitations des méthodes précédentes, le recours aux modèles numériques s'est généralisé depuis que les ordinateurs permettent de les traiter rapidement. Ces modèles permettent de calculer en deux ou trois dimensions le champ de potentiel hydraulique dans un domaine de forme quelconque, de perméabilité hétérogène et/ou anisotrope, d'épaisseur variable, éventuellement alimenté par des précipitations, par des infiltrations de rivières ou par d'autres apports souterrains, présentant un gradient général quelconque et variable. Certains permettent aussi de traiter le transport de chaleur ou de substance dissoute associé au flux hydraulique.

Le principe des méthodes numériques est de discrétiser l'équation différentielle qui décrit l'écoulement d'eau, de matière dissoute ou de chaleur en sous-domaines limités par des noeuds.

I.4. Exigence de la qualité des eaux dans les pays européens [2]

Il est indispensable d'étudier la qualité chimique de l'eau captée, il faut au moins une analyse complète sur le forage. Le tableau suivant présente l'exigence de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, fixes par les normes internationales.

I.4.1. Etude française [2]

I.4.1.1. Estimation du pouvoir épurateur :

Une méthode empirique mise au point par REHSE consiste à estimer dans quelle mesure un polluant déversé en surface du sol, verra sa teneur diminuer après parcours vertical jusqu'à la nappe, puis après parcours horizontal dans la nappe jusqu'au point de prélèvement.

Pour cela des index sont attribués aux différents types de roches qui sont implicitement liés à la perméabilité et au pouvoir de rétention des constituants des matériaux, et qui tiennent

également compte de l'épaisseur. Les quatre premiers mètres qui constituent la tranche de terrain pouvant être affectés par des travaux de terrassement, de canalisation, ne sont pas pris en compte dans le calcul.

I.5.Législation Algérienne : [3]

Le terme eau potable, en usage jusqu'à présent, est de moins en moins utilisé, pour désigner la qualité de l'eau. Actuellement, certaines réglementations Européennes n'utilisent plus les termes eau potable ou potabilité des eaux, car il est admis, qu'une eau dans laquelle tous les critères de qualité ne sont pas requis, pourrait cependant être potable. Etant donné la marge de sécurité intégrée dans les normes de qualité de l'eau, un dépassement temporaire et modéré, d'un polluant est la plupart du temps sans conséquences, il doit tout de même déclencher la mise en œuvre d'un programme d'action et de surveillance. En revanche, la qualité bactériologique doit être assurée en toutes circonstances et faire l'objet d'une surveillance de tous les instants. Le code de l'eau en Algérie, du 16 juillet 1983 (JO n° 30/83) qui a été repris par la loi 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau (JO n°5/05), stipule

- Article 10 :

L'état assure une surveillance des différentes composantes de l'environnement. L'état doit définir les valeurs limites, les seuils d'alerte, et les objectifs de qualité, notamment pour l'air, l'eau, le sol et le sous-sol, ainsi que les objectifs de surveillance de ces milieux récepteurs et les mesures qui doivent être précisées par voie réglementaire.

- Article 32:

L'eau destinée à la boisson, à l'usage ménager et à l'usage corporel, doit satisfaire aux normes de qualité définies par voie réglementaire, tant en qualité, qu'en quantité.

- Article 33 :

Pour l'adduction de l'eau destinée à la boisson et à usage ménager, il est établi des règles et des normes de protection pour assurer une quantité appropriée de l'eau.

La loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, (JO n° 43/03) dans son chapitre II, aux normes environnementales par le biais de l'article 10.

- Article 52:

L'eau potable, lorsqu'elle n'est pas susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment. Elle ne doit contenir, en quantité nuisible, ni substances chimiques, ni germes nocifs à la santé.

La loi 85-05 du 16 février 1985 (JO n° 8/85) relative à la protection et à la promotion de la santé fait référence, dans son chapitre II, à des normes de qualité dans les articles 32 et 33.

I.5.1. Contraintes à la mise en place des périmètres de protection en Algérie [4]

Dans les pays de Maghreb, l'institution des périmètres de protection est incluse, soit dans les codes des eaux, soit dans les lois de protection de l'environnement et parfois dans les codes de la santé publique.

En Algérie, la législation dans le domaine est prise en charge (d'après le journal officiel, N°60, Septembre 2005, Page07) par les textes suivants:

Article 38:

Il est établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des nappes aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative comprenant, selon les nécessités de prévention des risques de pollution :

- un périmètre de protection immédiate dont les terrains doivent être acquis par l'Etat et protégés par une personne physique ou morale chargée de l'exploitation des ouvrages et installations concernés ;
- un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel sont interdits ou réglementés les dépôts, activités ou installations susceptibles de polluer les eaux, de façon chronique ou accidentelle ;
- un périmètre de protection éloignée à l'intérieur duquel sont réglementés les dépôts, activités ou installations visés à l'alinéa précédent.

I.5.2. Les activités interdites à l'intérieur des périmètres de protection (en Algérie) [4]

D'après le journal officiel de la République Algérienne. N°60 page07 (des périmètres de protection qualitative):

Article 39:

A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'ensemble des activités, y compris les activités agricoles ou industrielles, peuvent être réglementées ou interdites. Peuvent faire l'objet de mesures particulières de contrôle, de restriction ou d'interdiction, les activités concernant notamment :

- l'installation de canalisations d'eaux usées.
- l'installation de canalisations, réservoirs et dépôts d'hydrocarbures, de stations-service de distribution de carburant.
- l'installation de centrales d'asphalte.
- l'établissement de toutes constructions à usage industriel.
- le dépôt de déchets de toutes natures.
- l'épandage d'effluents et, d'une manière générale, tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité de l'eau, y compris, le cas échéant, les produits destinés à l'agriculture.
- l'installation et l'exploitation de carrières.

Article 40:

Les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection qualitative, la nomenclature des périmètres de protection requis pour chaque type d'ouvrage ou d'installation de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau, ainsi que les mesures de réglementation ou d'interdiction d'activités dans chaque périmètre de protection qualitative sont fixées par voie réglementaire.

Article 41:

A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'administration chargée des ressources en eau se réserve le droit d'effectuer, à tout moment et en tout lieu, toute observation, mesure et/ou contrôle destinés à suivre l'évolution qualitative des ressources en eau.

• Article 42:

Les indemnités dues aux propriétaires de terrains compris à l'intérieur des périmètres de protection qualitative sont fixées selon les règles applicables en matière d'expropriation pour cause d'utilité publique.

I.6. Etude marocaine [2]

I.6.1 Système d'information géographique (SIG) : L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) s'avère nécessaire, vu l'aspect géo référencé des données et la quantité importante de ces dernières. Cette étude est organisée en trois étapes :

- Présentation des concepts utilisés pour la "DPP" (délimitation des périmètres de protection).
- Conception d'un "SIG" (système d'information géographique) adapté pour la DPP des eaux souterraines avec, notamment, la présentation des principales couches d'information et des fonctionnalités du SIG.
- Application du système à un cas type.

I.6.2. Présentation des concepts utilisés pour la "DPP" (Délimitation des Périmètres de protection) :

En préalable à l'opération d'acquisition de données à intégrer dans le SIG, la délimitation de la zone d'étude doit être faite pour permettre à l'utilisateur du SIG de procéder à la collecte des données qui formeront la base des couches d'information et de les préparer convenablement en fonction de leur nature en vue de les stocker et de les analyser.

Généralement, les données utilisées pour la DPP se présentent sous forme de cartes thématiques. La numérisation de ces cartes permet de classer leur contenu par thèmes, facilitant ainsi l'analyse et la mise à jour des informations. La décomposition des données en plusieurs thèmes donne aussi une plus grande flexibilité au niveau des opérations de sortie. Les documents scannés font par la suite l'objet d'un traitement informatique par un logiciel spécifique de traitement d'images. Les couches d'informations contiennent aussi bien des données géographiques que des données alphanumériques (descriptives). Ces dernières sont introduites dans des bases de données gérées par un système de gestion de base de données (SGBD).

I.6.3. Conception du "SIG" pour la "DPP"[2]

Pour permettre à l'utilisateur du SIG de manipuler l'ensemble des données et ressortir les cartes de zones de protection, la partie logicielle est organisée de façon à répondre au

cheminement de traitements illustrés par l'organigramme. Elle fait ressortir quatre étapes importantes :

- la collecte des données sur des formulaires, des rapports, des fiches, et leur communication au système à l'aide de clavier d'ordinateur, de table de numérisation, ou de lecteur optique, etc. ;
- le stockage et l'organisation des données sous forme de couches d'information avec une possibilité de mise à jour ;
- le traitement des données à l'aide des fonctionnalités du "SIG". D'une façon générale, le système aura à effectuer des tâches et des opérations d'analyse. Ces dernières sont gérées par des routines informatiques reposant sur des fonctions d'extraction, de reclassification ou de superposition. La superposition est l'opération la plus importante des fonctions d'analyse par un "SIG". Ces fonctions d'analyse permettent d'effectuer toutes les opérations nécessaires pour aboutir à la délimitation des périmètres de protection. Les résultats de ces traitements constituent les sorties du SIG, d'une part, et ils alimentent la base de données existante, d'autre part ;
- les différentes sorties du "SIG" (cartes thématiques, plans de détail, tableaux, graphiques, rapports, etc.).

Ces quatre étapes sont exercées en établissant des contrôles de validation des données et en assurant leur intégrité et leur cohérence. Une communication facile et conviviale de l'utilisateur avec le système est assurée pour l'acquisition et l'analyse des données, la restitution des résultats (système de menus bien structurés qui offrent à l'utilisateur toutes les possibilités de gestion du système depuis l'entrée des données jusqu'à la sortie des résultats).

Ainsi, les paramètres hydrodynamiques - transmissivité (T), porosité efficace (n), perméabilité (K) et coefficient d'emménagement (S) - sont utilisés à plusieurs niveaux pour la définition des périmètres de protection et notamment pour le calcul de l'isochrone 50 jours, du bilan de la nappe et du taux de renouvellement des eaux. Ces paramètres sont déterminés à partir de l'interprétation des essais de pompage et moyennant des programmes adéquats.

Concernant la détermination de l'isochrone 50 jours, on a procédé de la manière suivante :

- calcul de la vitesse de transfert vertical par les différentes méthodes (formule de cylindre, Wissling, etc.) à l'aide d'un programme spécifique. Le choix de l'une ou l'autre de ces

méthodes se fait selon le contexte étudié. En ce qui concerne le champ captant, le temps de transfert vertical n'a pas été pris en compte parce qu'il s'agit d'un aquifère très vulnérable ;

- détermination de la carte des sens d'écoulement (lignes de courant) et de celle de gradient hydraulique à l'aide de la carte piézométrique ;
- superposition de ces cartes pour déterminer la carte des isochrones.

D'une manière non exhaustive, on cite ci-après quelques-unes des fonctionnalités de ce système :

- établissement de la liste de l'ensemble des données nécessaires pour la "DPP".
- choix du mode d'acquisition des données (numérisation par la table à numériser, scannérisation, saisie au clavier, utilisation au préalable de modules de calculs, etc.).
- correction des erreurs de saisie des données.
- mise à jour des données.
- analyse des données existantes.
- exécution des opérations de calcul et de simulation, etc.
- restitution des résultats sous forme de tableaux, graphiques et cartes thématiques.
- consultation des bases de données

I.7. Différentes zones de protections définies dans divers pays à l'échelle mondiale

- Le tableau suivant (*tableau 1*) synthétise les différentes zones de protection des eaux souterraines contre les polluants définies dans divers pays mondiaux, et l'aspect plus particulier des polluants persistants et des décisions prises à leur égard est également abordé:

Tableau 1: Différentes zones de protections définies dans divers pays

	Protection immédiate	Protection rapprochée	Protection Eloignée
France	Environ 15m.	Environ 50 jours	Non obligation, elle peut couvrir une surface très variable.
Allemagne	10 m.	50 jours.	A- 2000 m. B- Bassin d'alimentation.
Québec	30m.	60 jours, >100m.	Bassin d'alimentation.

I.7. Détermination graphique de la zone d'appel du captage :

Cette méthode suppose que l'on connaisse le piézomètre hors pompage, puisque l'on effectue un pompage d'essai. Elle consiste à tracer les courbes d'égal rabattement autour du forage ou puits en fonction du débit choisi. A partir des valeurs de charge hydraulique, on construit la surface piézométrique rabattue par le pompage, et le tracé des lignes de courant qui en sera déduit, permettra de définir la zone d'appel du captage (forage, puits,...).

I.8. Objectif des périmètres de protection

L'objectif des périmètres de protection réglementaires vise à assurer la protection sanitaire de l'eau destinée aux consommateurs, et plus concrètement la protection des points de captage contre les sources de pollutions ponctuelles et accidentelles pouvant survenir dans leur proche environnement. Ils n'ont pas pour objet d'assurer une protection contre les pollutions diffuses qui relèvent d'un problème plus global de protection de la ressource, pris en compte par ailleurs dans la législation générale.



Les zones de protection doivent pouvoir servir pour une protection préventive ainsi que pour un assainissement, dans le cas d'une contamination des eaux captées. Le but est de disposer d'un outil permettant de définir des secteurs sensibles où des actions d'assainissement de grande efficacité pourront être proposées.

Pour éviter de nouveaux problèmes de contamination des eaux souterraines et assurer un approvisionnement en eau de qualité, il est essentiel de mieux connaître la ressource et de la protéger.

I.9. Les niveaux de périmètre de protection

Les périmètres de protection correspondent à un zonage établi autour des points de captage d'eau potable. Ils constituent le moyen privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution locale, ponctuelle et accidentelle qui peut altérer la qualité des eaux prélevées

Cette protection peut être mis en place, trois niveaux pour chaque captage (*Figure 1*) :

1. Le périmètre de protection immédiate.
2. Le périmètre de protection rapprochée.
3. Le périmètre de protection éloignée.

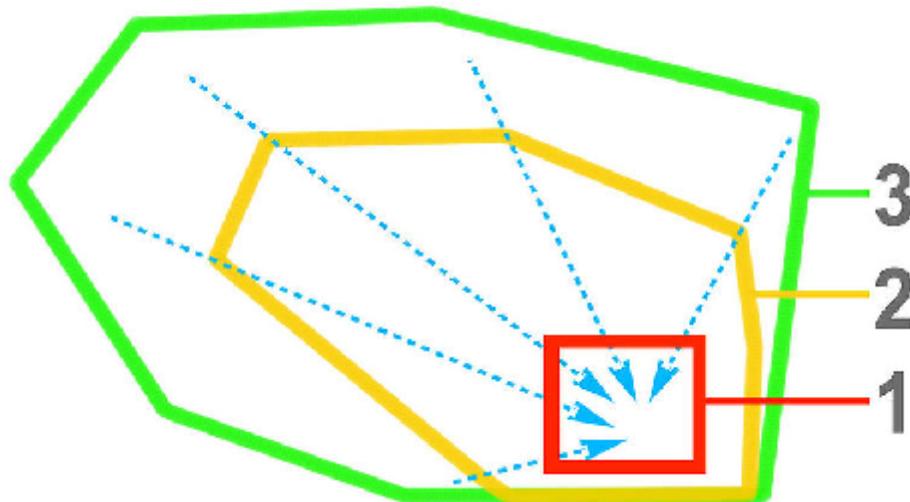


Figure 1: Schéma des niveaux de périmètre de protection

I.9.1. Le périmètre de protection immédiate

Premier niveau de protection, obligatoire, comprend le terrain directement adjacent au point de captage et a pour objet d'éviter les injections directes de polluants dans les eaux exhaures. Ce terrain doit être acheté par le propriétaire du captage et doit être entièrement clôturé. Aucune activité n'est tolérée à l'intérieur, à l'exception de celles qui sont liées à la maintenance des ouvrages.

I.9.2. Le périmètre de protection rapprochée

Zone de protection étendue autour et en amont du point de captage en fonction de la nervosité du système aquifère et des risques liés au contexte socio-économique. Sa taille et sa géométrie peuvent donc varier considérablement selon le cas de figure. Son objectif est de protéger le captage contre les pollutions entraînées par les écoulements souterrains. Les activités humaines potentiellement dangereuses et polluantes pour la ressource y sont réglementées (réglementations particulières d'un niveau plus contraignant que celui de la réglementation générale), voire interdites.

I.9.3. Le périmètre de protection éloignée

Le niveau de protection, non obligatoire. Lorsqu'il est mis en oeuvre, ce périmètre est souvent d'une relativement grande étendue autour et en amont du point de captage. Sa superficie et sa

géométrie varient de manière significative d'un captage à l'autre, en fonction des conditions hydrogéologiques, du degré d'urbanisation et de l'existence d'activités polluantes potentielles. Les activités humaines peuvent faire l'objet d'un complément de réglementation selon leur nature et leur distance du point de captage.

I.10. Critères de délimitation des zones de protection [9]

L'analyse des réglementations existantes, notamment en Europe, met en évidence certains critères qui sont utilisés pour délimiter les zones de protection. Les valeurs attribuées aux critères représentent des limites au dessus et au dessous desquelles le critère considéré cesse de fournir le degré de protection souhaité. Ces critères sont au nombre de cinq

Pouvoir épuration du recouvrement.

- Rabattement.
- Temps de transfert.
- Distance.
- Limites d'écoulement.

I.11. Transfert des polluants dans les eaux souterraines [2]

Qu'il s'agisse d'une pollution diffuse de type agricole ou d'une pollution accidentelle, le schéma général de contamination des eaux souterraines est le même le point de départ est la surface du sol jusqu'à la nappe en passant par la zone non saturée, puis le cheminement subhorizontal avec étalement progressif du panache de pollution, comme indiqué dans la (figure)

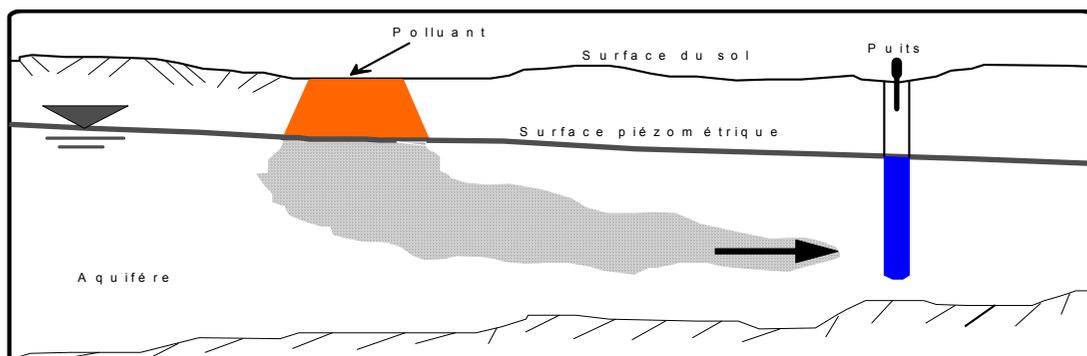


Figure 3: Schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologiques [10]

Le transfert d'un polluant étant indissociable de l'écoulement du fluide qui le véhicule, le comportement d'une pollution dans un milieu géologique donné dépend des lois et des paramètres de l'écoulement de la phase liquide. Différents facteurs influent sur ce comportement des polluants sur le transfert des polluants vers les ressources en eau souterraine. En effet, différentes propriétés des milieux traversés et celles des polluants jouent un rôle primordial sur le transfert de ces substances. En

prenant en compte les éventuelles interactions entre le polluant et le milieu permettent une meilleure gestion des ressources souterraines.

I.12. Mécanismes de transfert des polluants dans les eaux souterraines

Une bonne connaissance des mécanismes de transfert est fondamentale pour aider les décideurs à préserver de façon durable la ressource d'eau souterraine et à effectuer les arbitrages qui s'imposent : étendue des périmètres de protection, Les modalités et temps de transfert des polluants sont très variables selon les types de polluants, selon les sols et font appel à trois processus distincts : les caractéristiques des sols et leur humidité, les réactions chimiques des molécules avec l'eau et le milieu, l'activité microbienne. Ainsi, une nappe peut être protégée pour un type de pollution et pas contre une autre.

Comme exemple d'illustration, une nappe des sables est bien protégée des pollutions microbiologiques grâce au pouvoir filtrant des sables, mais ceux ci restent inefficaces faces aux pollutions chimiques solubles dans l'eau.

Les différents mécanismes sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau2 : Mécanismes de transfert des polluants dans les eaux souterraines :

	Sol superficiel (0,1-1m)	Zone non saturée (1-10; 1-100m)	Nappe profonde
Vitesse des transferts liée a:	-Végétation. -Micro-organisme. -Humidité.	-Structure du sol. -Porosité. -Humidité. -Transport colloïdal.	-Nature de la roche. -Micro porosité.

Transformation liée à:	-Transformation biologique; action des bactéries	-Transformation chimique abiotique-dissolution/ précipitation/oxydation.	-Transformation chimique abiotique- dissolution/ précipitation/oxydation.
---------------------------	--	--	--

I.13. Source de pollution dans la zone d'étude :

Les principales sources de pollution recensées au niveau de la ville de Biskra est la suivante

- Pollution urbaine.
- Pollution industrielle.
- Pollution due aux décharges solides.

I.14. Conclusion

La bonne gestion de la ressource hydrique exige que la qualité de l'eau souterraine ne soit pas compromise par une dégradation significative de ses propriétés chimiques ou biologiques. Une baisse de qualité de l'eau souterraine peut affecter tant la santé humaine que celle des écosystèmes. À titre d'illustration, ce qui suit porte essentiellement sur la préservation de la qualité de l'eau potable.

Même si les eaux souterraines sont dotées d'une protection naturelle (sol et végétation.....), on peut protéger les eaux souterraines contre les risques d'une contamination en installant à différents niveaux des périmètres de protection. Ces périmètres visent à protéger les ouvrages de captage des aires d'alimentation. Plusieurs auteurs ont proposé des méthodes de délimitation de ces périmètres cependant le problème réside dans la fiabilité et la disponibilité des données à injecter dans ces modèles ainsi que la limite d'utilisation de ces méthodes à cause des conditions du terrain (hétérogénéité de la lithologie).

Chapitre II

Contexte général de la zone étude

II .1. Introduction

Avant de parler de la zone d'étude, objet du présent chapitre, correspond à la ville de Biskra (chef-lieu de la wilaya), il est important dans notre étude de présenter les caractéristiques générales de la région de Biskra .On examinera aussi quels sont les différents types de pollution et les substances susceptibles de contaminer les sols et de s'infiltrer jusqu'aux eaux souterraines. Le risque de contamination est non seulement fonction des activités humaines et de leur intensité, mais aussi de la vulnérabilité des eaux souterraines. Puisque les eaux souterraines constituent un vecteur de propagation des contaminants au sein des sols, leur mouvement dans les formations géologiques pourra menacer des ouvrages de captage existants situés sur son parcours d'écoulement.

II .2. Contexte générale de la ville de Biskra :

II.2.1. Situation géographique de la wilaya de Biskra [2]

La wilaya de Biskra est située au Sud-Est algérien, Elle est constituée de deux domaines assez différents du point de vu relief, clibismat et végétation.

- Un domaine au nord de la flexure sud atlasique comportant les communes d'El-Outaya, Djemourah, Branis, El-Kantara et Ain Zaatout. Ce domaine se trouve dans la limite sud des Aurès, c'est d'ailleurs cette chaîne qui représente la limite naturelle entre le Sud et le Nord de l'Algérie dans cette région. C'est dans ce domaine que se concentrent les reliefs.
- Un domaine au Sud de la flexure sud atlasique et qui annonce le début de la plate forme saharienne. Il s'agit essentiellement des terrains plats et monotones, dépourvus de végétations.

La wilaya de Biskra s'étale sur une superficie de 21 509.80 Km² et compte 33 communes réparties sur 12 Daïras. Elle est limitée par (*Figure1*):

- Au nord par la wilaya de Batna;
- Au NW par la wilaya de M'sila;
- Au NE par la wilaya de Khenchela;
- Au SW par la wilaya de Djelfa;

- Au SE par la wilaya d'El-Oued;
- Au sud par la wilaya de Ouargla.

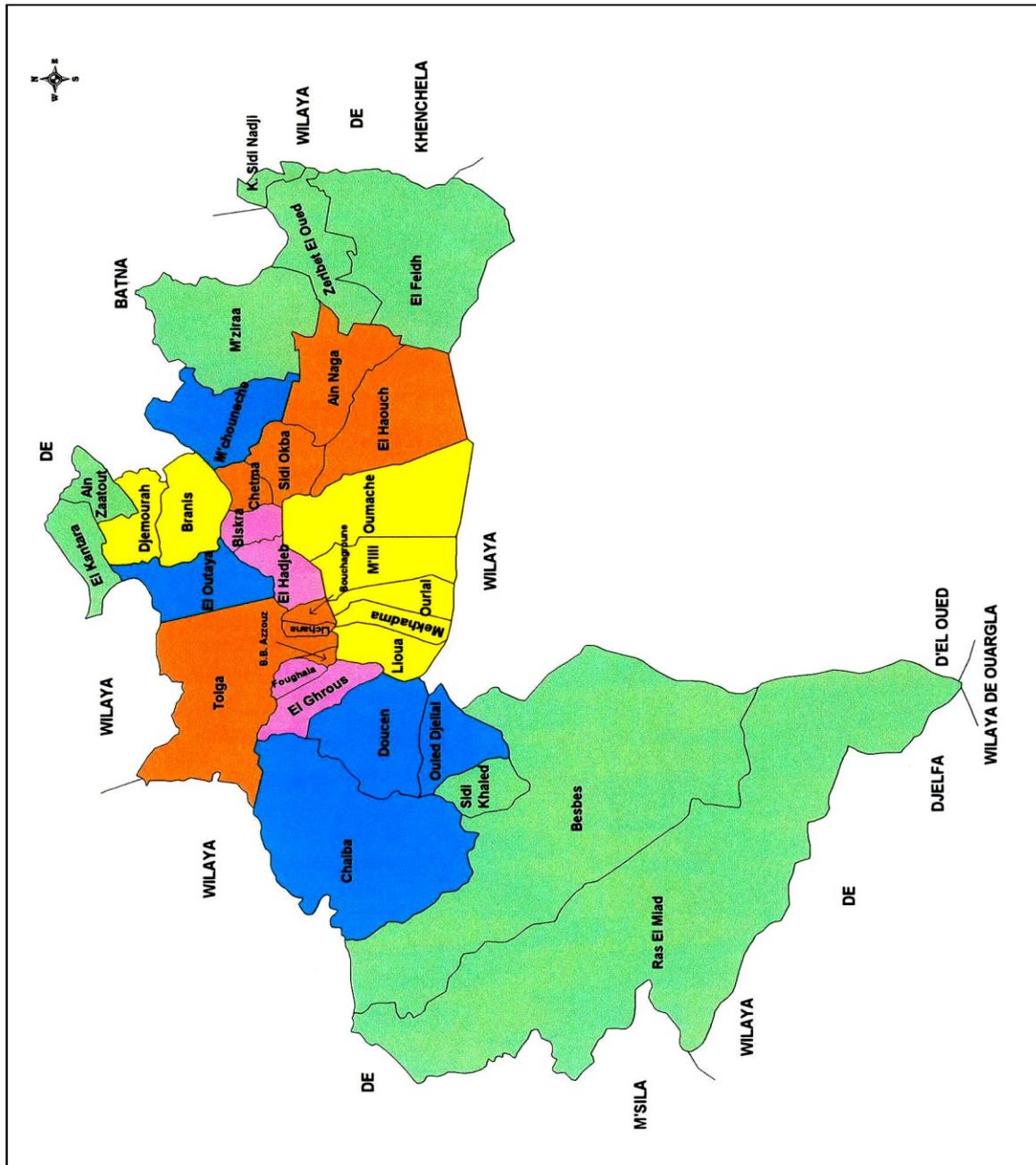


Figure II.1 Limites administratives de la ville de Biskra.

II.3. Périmètres physique de la région de Biskra [2]

II.3.1. Hydrographie :

La wilaya de Biskra est traversée par plusieurs oueds qui constituent un réseau hydrographique simple qui ne fonctionne qu'en hivers ou pendant les pluies exceptionnelles.

Ces Oueds prennent naissance dans le massif des Aurès. Leur importance dépend des bassins versants qu'ils drainent.

Les oueds les plus importants sont; oued El-Hai sur lequel est construit le barrage Fontaine des Gazelles, oued Abdi qui forme avec le précédent oued Biskra. Oued El-Arab (sur lequel est programmé un barrage) et Oued Kattane qui forment l'oued Zeribet. L'oued Abiod sur lequel est construit le barrage Fom El-Kharza. Nous citons enfin l'Oued Djedi qui constitue le collecteur naturel de tous les oueds de l'atlas saharien dans la région. Il draine un bassin versant de 26000 Km² et atteint 500 Km de longueur.

II.3.2. La population :

Une étude démographique ayant pour but l'évaluation de l'évolution de la population de la ville de Biskra est nécessaire pour la création de n'importe quel projet.

Le recensement effectué en 2008 fixe le nombre d'habitants à 200 654 avec une densité de 1573 habitants par Km².

II.4. Ressources hydriques

II.4 .1. Les ressources et les besoins en eau

Les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable, car plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface. Toutefois, certaines caractéristiques minimales sont exigées pour qu'elles puissent servir à la production d'eau potable qui doit-elle- même satisfaire à des normes de qualité physico-chimique et biologique.

La ville de Biskra est alimentée à partir des forages se trouvant dans la nappe alluviale du champ captant d'oued Biskra, au nord de la ville. A l'ouest de la ville, se trouve la nappe des calcaires. Ces deux nappes refoulent leurs eaux vers plusieurs réservoirs, elles constituent les ressources principales et l'essentiel des stations de pompage du Système d'alimentation en eau potable. A cet ensemble, il faudra ajouter l'injection directe de plusieurs forages dans le réseau de distribution du centre ville. Tandis que les forages qui sont injectés directement dans le réseau sont :

Zouaka, Sûreté, Centre universitaire, Ras El gueraï 1, Ras El guearia 2, El hawza, Ecole des jeunes aveugles.

L'ensemble des forages qui alimente la ville de Biskra est 84 forages, Répartis dans les zones suivantes:

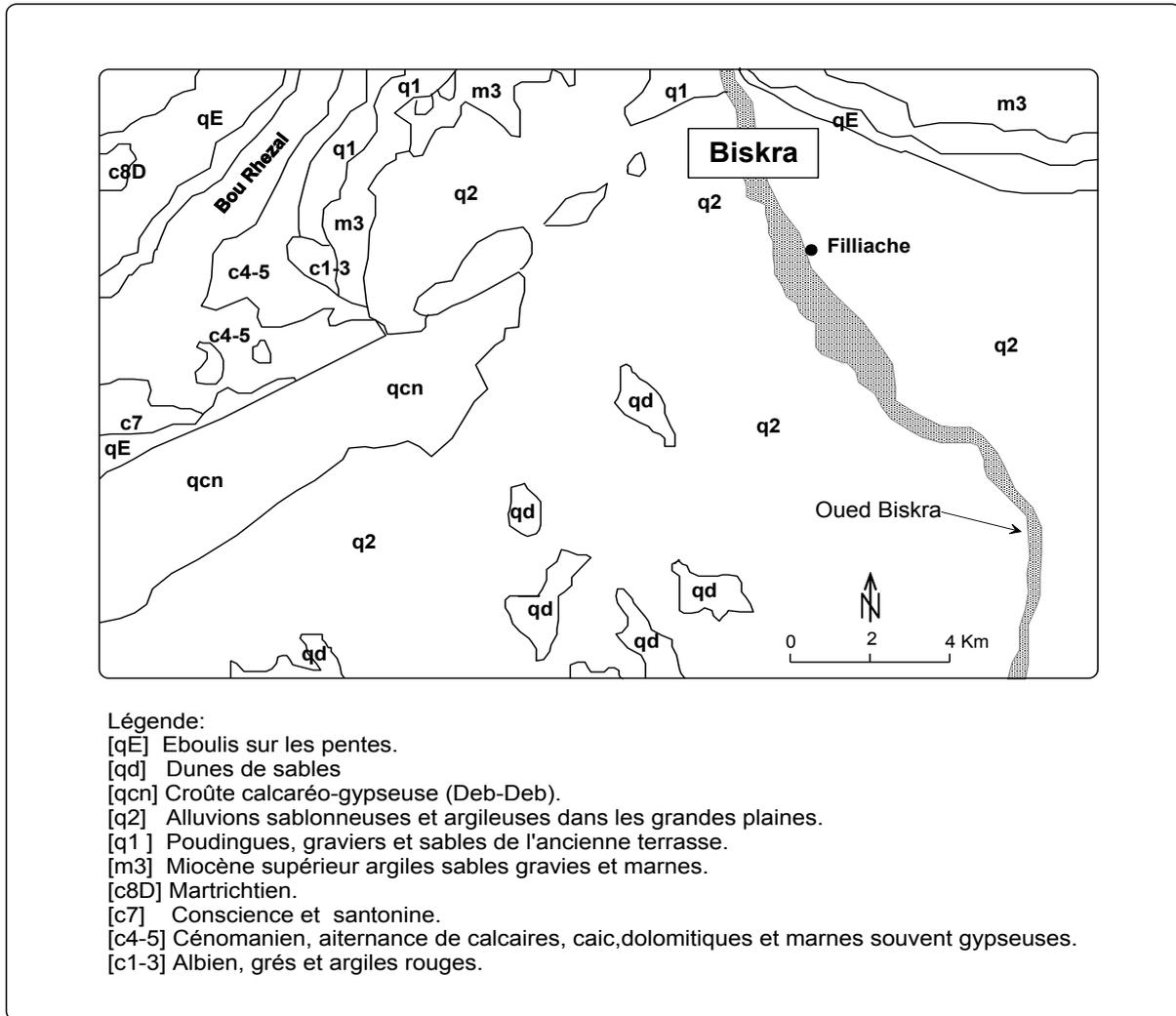
- 59 forages dans la ville (notre zone d'étude).
- 11 forages dans la commune de Chetma.
- 14 forages dans la commune d'El-Hadjeb.

En ce qui concerne les 59 forages qui se trouvent dans la ville de Biskra (la zone d'étude), parmi ces forages y compris 23 forages ne fonctionnent pas complètement. Les 36 forages qui restent répartis sur deux champs captant:

1. champ captant interne; compris 23 forages.
2. champ captant oued el Hai; compris 13 forages.

II.5. Géologie de la région [2] :

La roche représente le réservoir des eaux souterraines. De ce fait, elle influence leur qualité et joue un rôle important dans le mode d'acquisition du chimisme. La connaissance de la nature lithologique des terrains étudiés permet d'expliquer certains paramètres chimiques des eaux qui s'y trouvent. Par ailleurs, une bonne connaissance des roches de l'aquifère et de la nature lithologique des roches de recouvrements nous donne des renseignements sur la démarche à suivre pour l'établissement des périmètres de protection. La géologie reste un élément clé de toutes études des roches souterraines.



Extrait de la carte géologique de Biskra (S.C.G.A.)

Figure 2: Carte géologique de Biskra (E:1/2000 000)

II.5.1. Synthèse litho-stratigraphique

La région de Biskra appartient au domaine des Aurès. C'est un domaine très riche en affleurements d'âge secondaire. La (figure 9) montre selon la succession lithologique dans cette région que la série est plus ou moins continue du Turonien au Néogène. Elle est caractérisée par:

Le Crétacé est constitué dans sa majorité de calcaires et de marnes avec au sommet un peu d'argiles. Le Crétacé constitue avec ses différents niveaux de bons réservoirs dans la région. Il s'agit d'aquifères karstiques très intéressants en quantité et en qualité bien qu'ils soient à des profondeurs parfois grandes.

Le Néogène présente une variation dans sa lithologie. Il s'agit essentiellement d'un remplissage hétérogène caractérisé par des argiles souvent sableuses et gypseuses de couleur

brune ou rouge, ainsi que des grès et des conglomérats. Les niveaux gréseux et conglomératiques peuvent constituer des réservoirs d'eau. La qualité des eaux qui s'y trouvent est remise en cause si la présence des argiles et des gypses dans ces niveaux est importante.

Dans cette région, les terrains néogènes sont bien représentés et occupent une grande superficie. Les affleurements principaux se localisent en bordures de bassins (piémonts et dépressions où ils sont souvent recouverts par une faible épaisseur de formations quaternaires et entaillées par des petits ravins). Par contre, dans les centres de ces bassins ces dépôts néogènes sont enfoncés sous d'épaisses formations récentes du quaternaire qui viennent les couvrir en discordance. Cependant de nombreux sondages ainsi que diverses prospections géophysiques permettent dans de nombreux cas de suivre leur évolution en profondeur, des marges vers les centres de ces bassins

La série néogène repose souvent en discordance, selon les endroits et les niveaux atteints par l'érosion post-tectonique, sur des formations d'âges différents (Oligocène, Eocène, Crétacé supérieur).

Lorsqu'elle est complète, elle comporte plusieurs ensembles litho-stratigraphiques s'agit d'unités lithologiques à valeur régionale dont les limites et les appellations diffèrent d'un auteur à l'autre. Le découpage de Guiraud (1973, 1990) basé sur l'âge de ces formations, demeure le plus affiné.

En général la majorité des auteurs donnent au Néogène la superposition suivante :

- A la base des argiles vertes ou brunes et des calcaires aquitano-burdigaliens.
- Des argiles, souvent, brunes à intercalations de bancs gypseux langho- serravaliens.
- Des argiles rouges gypseuses tortoniennes.
- Des grès ou sables bruns-rouges messéniens.
- Au sommet, des poudingues rouges pliocènes.

Cette description de la succession lithologique est très simplifiée. Ces formations, par contre, présentent sur le terrain d'importantes variations latérales et verticales de faciès.

A l'affleurement ou en sondages, les différentes coupes montrent plusieurs alternances, souvent désordonnées, d'argiles, d'argiles sableuses, de grès ou sables parfois argileux et des conglomérats au sommet, avec la présence de faciès évaporitiques (gypseux) dans presque

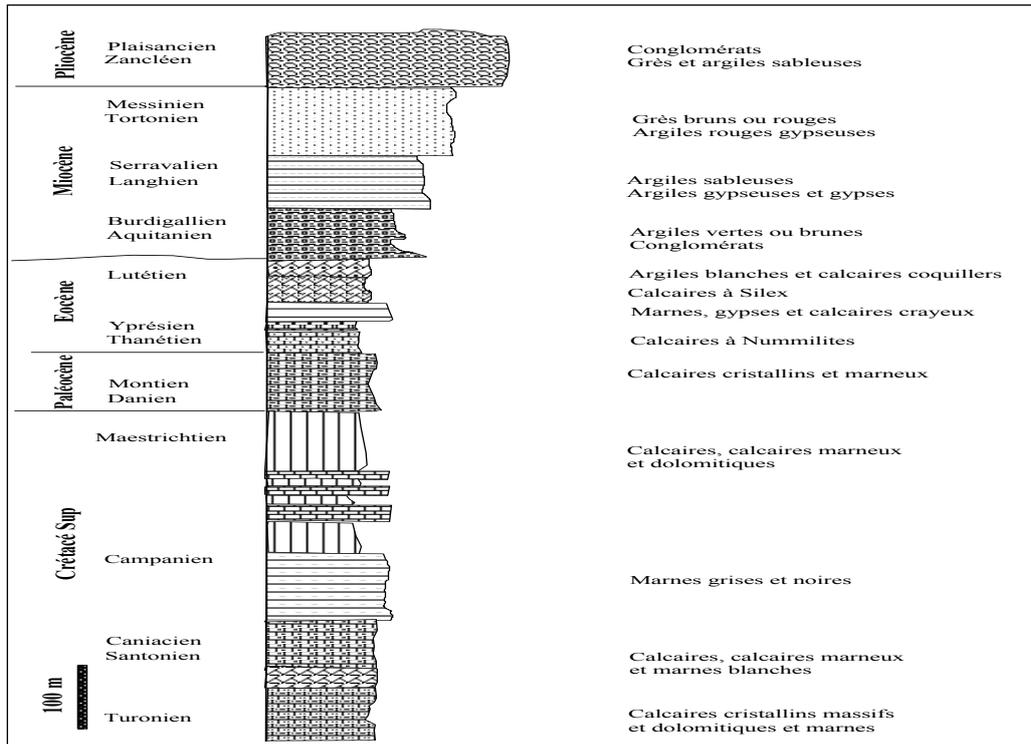


Figure 3: Synthèse géologique de la région de Biskra

II.6. Qualité des eaux souterraines [2]

Les eaux souterraines issues des nappes captives et superficielles sont des ressources en eau, alimentées directement par l'eau de pluie. Ces ressources exploitées par l'homme pour divers usages dont composition chimique issue du milieu naturel est très variable. Elle dépend de la nature géologique du sol d'où elle provient et aussi des substances réactives qu'elle aurait pu rencontrer lors de l'écoulement. Ainsi la composition quantitative et qualitative de l'eau souterraine en matières en suspension et dissoutes, de nature minérale ou organique, détermine sa qualité. Cette qualité peut être altérée lorsque des substances extérieures entrent en contact avec la nappe aquifère. Tel est le cas des substances indésirables voire toxiques qui rendent l'eau souterraine impropre et toxique pour divers usages notamment pour l'eau de boisson.

L'utilisation intensive des ressources naturelles et l'accroissement des activités humaines ont engendré de graves problèmes sur la qualité des eaux souterraines.

II.7. Principaux paramètres de potabilité des eaux souterraines : [2]

Dans les pays développés, les exigences de la qualité en vigueur actuellement sont fixées par un arrêté ministériel, relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

Il convient de distinguer deux types de paramètres ou d'exigences définies par une réglementation

1. Paramètres physiques et chimiques

2. Paramètres microbiologiques

II.7.1. Paramètres physiques et chimiques [7] :

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur.

Les paramètres pris en compte sont:

II.7.1.1. Le PH :

Le PH de l'eau conditionne les équilibre physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le PH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitiques. Il est alcalin dans les calcaires. Le PH est corrigé selon le cas par élimination du CO₂ dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée.

II.7.1.2. La dureté :

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue:

- une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg;
- une dureté non carbonatée produite par les autres sels.

La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français);

1 °F correspond à 10 mg de carbonate de Ca dans 1 litre d'eau.

Des valeurs faibles correspondent à des eaux douces: dans certains sables du Crétacé inférieur, l'eau à un titre hydrotimétrique compris entre 5 et 20 °F. Les eaux dures contenues

dans des calcaires ou craie ont un titre compris entre 20 et 35 °F: Des valeurs supérieures indiquent des eaux très dures (nappe captive de la craie, nappes de l'Eocène...).

La dureté de l'eau influe essentiellement sur l'état des canalisations et des appareils de chauffage, et sur le lavage du linge. Une eau dure donne des dépôts de tartre dans les canalisations, les bouilloires et chauffe-eau, ainsi que dans les filtres des robinets. D'autre part, ces dépôts carbonatés ont un effet bénéfique en protégeant les conduites de la corrosion. Ces eaux dures pourront être adoucies par le distributeur ou par l'utilisateur (échange d'ions sur résine dans l'industrie ou chez le particulier).

En revanche, une eau trop douce est agressive vis-à-vis des canalisations; en particulier la corrosion des canalisations en plomb devient dangereuse pour la santé du consommateur. Un traitement par reminéralisation est indiqué.

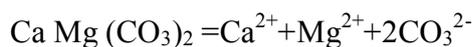
II.7.1.3. Calcium (Ca²⁺) :

La présence des ions Ca²⁺ dans les eaux des nappes est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃); $\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$

et les formations gypseuses (CaSO₄); $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$.

II.7.1.4. Magnésium (Mg²⁺) :

Cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium en l'occurrence ; la Dolomite selon la relation suivante :



II.7.1.5. Sodium (Na⁺) :

L'existence de cet élément est liée, essentiellement, à la dissolution de la Halite.

II.7. 1.6. Potassium (K⁺) :

Il provient, essentiellement, des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl), ou par suite 7 des argiles potassiques. $\text{KCl} = \text{K}^+ + \text{Cl}^-$

II.7.1.7. Le manganèse (Mn) :

Le manganèse accompagne généralement le fer dans les roches. Comme le fer, sa solubilité dépend de l'Eh. Il est peu abondant dans les eaux de la région.

II.7.1.8. Les sulfates (SO₄) :

Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution du gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7g/l dans les conditions normales). Les nappes de l'Eocène ont des teneurs fréquentes comprises entre 25 et 100 mg/l mais qui peuvent localement dépasser 250 mg/l (valeur limite admissible, voir paragraphe 4) et même 1 g/l dans les formations à veines de gypse, valeurs qui rendent cette eau non potable. Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées (30 à 200 mg/l, parfois supérieures à 250 mg/l). Les autres nappes de la région, comme la nappe libre de la craie, ont des teneurs en sulfates inférieures à 50 mg/l.

II.7.1.9. Bicarbonates (HCO₃⁻) :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire. dolomite..Etc.) Par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :

**II.7.1.10. Nitrates (NO₃⁻) :**

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, et c'est la forme la plus soluble de ce dernier.

II.7.1.11. Le fluor (F) :

La teneur en fluor dépend beaucoup du temps de contact de l'eau avec les minéraux fluorés de l'aquifère. Elle est plus élevée dans les nappes captives. Dans la nappe de la craie, l'ion F est fourni principalement par les minéraux phosphatés (apathites). Sa teneur ne doit pas excéder 1,5 mg/l.

II. 7.1.12. La turbidité :

La turbidité peut être importante dans les aquifères karstique. Elle occasionne des désagréments dans l'aspect de l'eau et sa saveur (goût de terre). Les pics de turbidité suivent les fortes précipitations; Les eaux de ruissellement chargées de particules argileuses - et d'autres matières indésirables- s'engouffrent dans les bétoires. La vitesse de circulation de l'eau dans le réseau souterrain en crue ne permet pas leur décantation de plus des particules

déposées précédemment sont arrachées aux cavités et augmentent la charge en suspension que l'on retrouve à l'exutoire.

Tout aménagement augmentant le ruissellement superficiel et l'érosion des sols accentue la turbidité: remembrement agricole supprimant les haies et talus, pratiques agricoles laissant les sols à nu pendant l'hiver, drainages des eaux superficielles vers les gouffres et bétoires, comblement des mares stockant les eaux de ruissellement.

II.7.1.13. Le fer (Fe) :

Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La craie contient des nodules de marcassite (sulfure); les terrains jurassiques présentent un niveau d'oolithes en oxydes de fer. Le fer est soluble à l'état d'ion Fe^{++} (ion ferreux) mais insoluble à l'état Fe^{+} (ion ferrique). La valeur du potentiel d'oxydo-réduction (Eh) du milieu conditionne donc sa solubilité et la teneur de l'eau en fer. Les nappes captives isolées des échanges avec la surface sont en conditions réductrices: leur eau est ferrugineuse. Ce fer dissous précipite en milieu oxydant, en particulier au niveau des sources et à la sortie des conduites. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau est ferrugineuse notamment dans les nappes captives de la craie et des sables de l'Albien. Un traitement spécifique est alors nécessaire (précipitation en milieu oxydant).

II.7.2. Paramètres microbiologiques

A ces paramètres physico-chimiques s'ajoutent des paramètres souvent déterminants dans les aquifères.

Une teneur trop élevée d'un ou plusieurs composants chimiques cause des désagréments au consommateur (saveur, risques sanitaires) et aux canalisations (corrosion, entartrage...). L'eau est alors jugée impropre à la consommation (et à sa distribution) à moins de subir au préalable un traitement approprié (cas des eaux chargées en nitrates). D'autre part, une teneur élevée d'un élément chimique peut être l'indice d'une pollution par d'autres substances toxiques: les résidus de pesticides accompagnent généralement la migration des nitrates d'origine agricole à la nappe (atrazine, simazine employées en particulier comme désherbants des cultures de maïs).

II.8. Exigences de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine

II.8.1. Exigence de la qualité des eaux en Algérie [6]

L'Algérie a établi des normes de potabilité pour l'eau de boisson définies par l'arrêté du 26 juillet 2000 (JO n° 51/00) relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation.

Ces normes ont été adoptées par des différentes directions de l'hydraulique des wilayas du Nord et qui concernent 41 paramètres de qualité classés en 4 catégories :

- Paramètres organiques.
- Paramètres physico-chimiques.
- Substances indésirables.
- Substances toxiques.

II. 9 Caractéristiques physico–chimiques des échantillons d'eaux prélevés de la zone d'étude [7]

Tableau4: Caractéristiques physico – chimiques des échantillons d'eaux prélevés de la zone d'étude. (R : réservoir, RC : robinet du consommateur)

Paramètres	Haï El Moudjahidine	Zone Sud		El Alia		Forages à injection directe dans le réseau
	R. C	R	R. C	R	R. C	
T (°C)	23-24	23,5	21-28	25,5	23-26	22-24,5
pH	7,55-7,66	7,33	7,33-7,78	7,33	6,94-7,47	6,9-7,44
Cond.(µs/cm)	3440-3480	3600	3740-5190	3380	3530-4890	4580-4760
TH (°F)	115-149	127	134-179	164,6	130-176	158-203
TA (°F)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TAC (°F)	4,64-4,90	4,50	4,70-4,80	7,12	1,20-6,84	4,60-7,04
Ca ²⁺ (mg/l)	122-188	142	107-308	100	80-200	60-224
Mg ²⁺ (mg/l)	231-270	219,6	189-285	335,04	192-313	250-451
Fe ²⁺ (mg/l)	0,09-0,18	0,18	0,09-0,15	0,05	0,07-0,18	0,01-0,15
Cl (mg/l)	901-960	930	1100-1391	921,22	844-1356	128-1314
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	103-720	220	93-400	770	46-770	193-870
K ⁺ (mg/l)	2,80-6,60	6,80	3,20-9,60	5,30	3,2-6,2	7,7-11
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,02-0,09	0,11	0,0-0,34	0,13	0,06-0,16	0,06-0,12
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,0-3,40	1,10	0,0-2,80	14,0	1,40-14	0,0-4,30
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,16-1,20	0,34	0,44-3,60	0,28	0,1-0,32	0,06-0,46
Cl ₂ rés. (mg/l)	0,39-1,81	0,0	0,0-0,11	0,00	0,0-1,60	0,09-0,83
Br ₂ (mg/l)	0,24-1,64	0,86	0,1-0,5	8,0	0,11-0,48	0,03-0,49
F ⁻ (mg/l)	1,14-1,56	0,81	0,56-1,30	1,10	0,7-1,24	0,76-1,25

Les résultats de l'analyse des caractéristiques physico-chimiques reportés dans le (tableau 4) et montrent d'une manière générale que

▪ **La température :**

La température de nos échantillons est comprise entre 21 et 29 °C, elle est acceptable pour les zones arides et semi arides.

▪ **Le pH :**

Le pH est compris entre 6,90 et 7,78 ce qui indique que les eaux de Biskra ont un pH voisin de la neutralité.

▪ **Conductivité :**

Nos échantillons ont une conductivité très forte qui dépasse 1000 µs/cm. Cette conductivité provoque une augmentation dans le taux de la salinité des eaux. La forte conductivité des eaux, issues du champ captant d'oued Biskra, peut être due soit à la nature des couches géologiques de la nappe, soit à la présence d'éléments minéraux indésirables dans nos eaux de consommation et résultant d'une pollution exogène.

- **La chlorures et sulfates :**

Nous observons une forte concentration en chlorures et en sulfates. Ces deux éléments provoquent un goût désagréable dans nos eaux de consommation et la rendent corrosive vis-à-vis des conduites. Ils sont aussi nocifs pour les plantes. Notons, que ces deux éléments provoquent aussi l'augmentation du chlore résiduel lors de la chloration de l'eau chargée en matière organique (*Achour et Guergazi, 2002*).

- **Fluor :**

On remarque la présence d'une concentration en fluor dépassant légèrement les normes dans les eaux de Biskra du fait que cet élément est présent dans les dattes, les aliments et le thé, il peut s'accumuler et présenter un danger pour la santé des habitants et en particulier la fluorose sachant que la norme acceptable est de 0,60 à 0,80 mg/l (*Achour et Yousefl, 2001*).

- **Ammoniaque :**

On observe aussi la présence de concentrations non négligeables en ammoniaque dans certains échantillons malgré que ces eaux subissent une chloration (oxydation par le chlore). Nous pouvons dire que ces eaux sont distribuées aux consommateurs sans qu'elles subissent une oxydation complète par le chlore. Normalement, si la chloration est pratiquée d'une manière adéquate, la concentration en ammoniaque (ion ammonium) sera nulle (Doré, 1989).

- **Bromures :**

La présence des ions brome indique que nos eaux contiennent des bromures avant chloration. Des études montrent en effet que l'oxydation des bromures par le chlore donne naissance à la formation du brome (Merlet et al, 1982).

- **Nitrates :**

La raison principale de la présence des nitrates dans les eaux souterraines pourrait être due à la pratique agricole qui consiste à appliquer abondamment des engrais industriels ou du fumier. Sa présence excessive peut provoquer un problème de santé publique important tel que la méthémoglobinémie.

Enfin, si on compare nos échantillons aux normes de qualité multi usages, (Bontoux, 1983), on constate qu'elles sont situées entre la 2eme et la 3eme classe (passable à médiocre).

En conséquence, nous pouvons dire que les eaux de la ville de Biskra nécessitent un traitement poussé pour diminuer la minéralisation avant qu'elles ne soient distribuées aux usagers.

II.9. Différents critères des pollutions des eaux souterraines [2]

La nature des sols et les activités humaines sur un territoire conditionnent et modifient la qualité des eaux souterraines. La source de pollution de cette ressource peut donc être d'origine naturelle ou anthropique.

Les pollutions peuvent être classées suivant différents critères: [2]

- Selon l'origine de pollution.
- Selon la nature de pollution.
- Selon la répartition spatiale.
- Selon la répartition temporelle.

II.9.1. Selon l'origine de pollution :

Généralement ce type de pollution d'origine humaine due à l'activité de l'homme peut causer l'émission de substances susceptibles de contaminer les sols et de s'infiltrer jusqu'aux eaux souterraines. Le risque de contamination est non seulement fonction des activités humaines et de leur intensité, mais aussi de la vulnérabilité des eaux souterraines. Puisque les eaux souterraines constituent un vecteur de propagation des contaminants au sein des sols, leur mouvement dans les formations géologiques pourra

- menacer des ouvrages de captage existants situés sur son parcours d'écoulement.
- compromettre le potentiel d'exploitation d'une formation aquifère;
- constituer un rejet diffus de contaminants susceptibles d'altérer de façon significative la qualité de l'eau.

II.9.1.1. Pollution domestique :

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...) Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionnée, les stations d'épuration urbaines surchargées... Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) libèrent également des lixiviations riches en polluants.



Figure II .4 Schématisation pollution anthropique

II.9.1.2. Pollution industrielle :

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité: substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds... Les pollutions sont exceptionnelles (incident dans un procès) mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...) Un cas surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. 'L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines' (La Lettre Eau, 1998), alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refusé la moindre contrainte. Le transfert particulier est celui des exploitations minières. L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels.



Figure II. Schématisation Pollution industrielle

II.9.1.3. Pollution agricole :

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps; elle est chronique et concerne de grandes des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture.

Les élevages intensifs de bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockées en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais. Les lisiers sont responsables de la charge en nitrates des nappes.

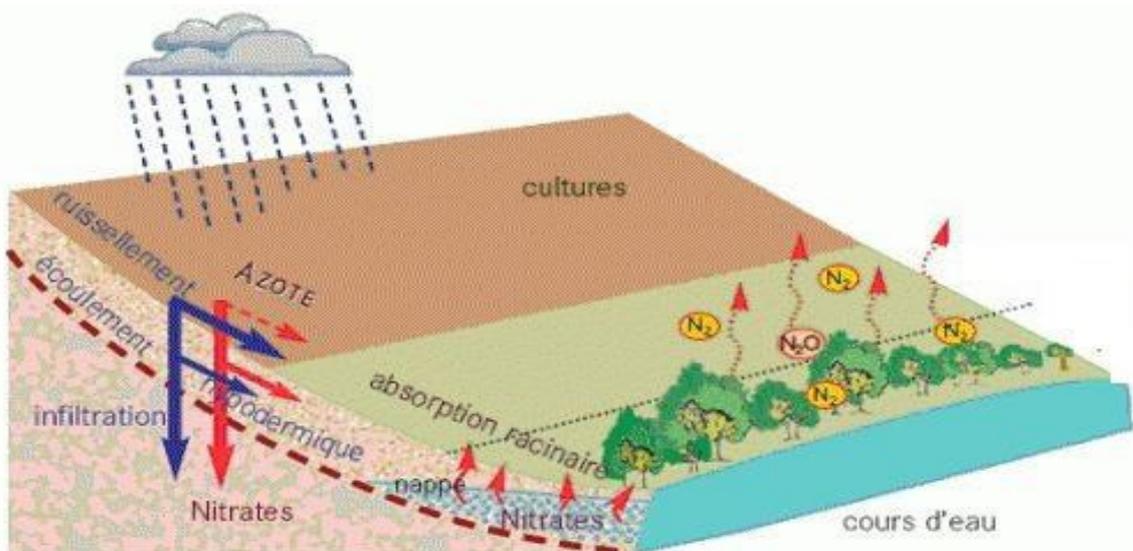


Figure II. 6 : Schématisation de la pollution agricole

II.9.2. Selon la nature de pollution

Généralement ce type de pollution est d'origine naturelle. La contamination de source naturelle est ponctuelle puisqu'elle est liée au contexte géologique. En fonction du contexte minéralogique, nous pouvons retrouver des problèmes de fluor, de fer, de manganèse, de carbonates de calcium, de sulfates, de salinité, d'arsenic, de baryum, de plomb, de cuivre, de zinc, de sélénium, d'uranium et d'autres métaux présents naturellement dans les eaux souterraines. Dans notre région d'étude, les problèmes prédominants sont la salinité et la fluorose.

II.9.2.1. Microbiologiques

De nombreux microorganismes, virus, bactéries et protozoaires, voire des champignons et des algues sont présents dans l'eau. Les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les eaux souterraines en limitent la diversité. Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, du rejet d'eaux superficielles. Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisations et d'égouts ou à l'infiltration d'eaux superficielles.

. Chimique

. Les micro-polluants métalliques

. Les détergents (tensioactifs)

. Les pesticides

. Les hydrocarbures

. Les solvants chlorés

CONCLUSION :

Notre étude a permis de montrer que :

1. L'alimentation en eau potable de la ville de Biskra est assurée par le champ captant d'oued Biskra, champ captant d'El Megloub et quelques forages à injection directe dans le réseau du centre-ville.

2. Selon les enquêtes qui ont été faites par les entreprises, elles montrent que l'état actuel du réseau nécessite une rénovation en tenant compte de l'extension de la ville ainsi que du développement croissant de l'agglomération de la ville de Biskra.

3. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de consommation de la ville de Biskra exigent un traitement plus au moins poussé (adoucissement par exemple) avant qu'elles ne soient chlorées et distribuées aux usagers.

4. Le suivi de la pratique de la chloration montre que l'on peut globalement distinguer deux zones dans le réseau de distribution.

- Une zone, plus proche de la production d'eau potable (réservoir, forage à Injection directe) qui est complètement sous l'influence de la chloration (Taux de chlore résiduel élevé).

- Une deuxième zone où il n'y a plus de résiduel de chloration et où les Caractéristiques de l'eau peuvent évoluer rapidement. Les risques sanitaires, en constituent les principales conséquences.

Chapitre III

L'apport de S.I.G dans la localisation des sources de pollution

I.1. 1.Introduction

Un système d'information géographique SIG est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses existant sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent, c.à.d. qu'il permet à partir de diverses source de rassembler, d'organiser, de opérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de représente de informations localisée géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace.

On va diviser ce chapitre en deux partie l'un pour définir les données géographique et l'autre pour définir les principales informations du SIG.

III.1.2. Données géographiques :

III.1.2.1. Les données géographiques

Les SIGs manipulent des données géographiques. On entend par données géographiques une représentation ou une reformulation de la réalité localisée dans l'espace et le temps. [11]

L'information géographique est caractérisée par une composante purement spatiale et une composante sémantique (Degréne et Salgé, 1997).

La composante spatiale

La composante spatiale représente la position sur la surface terrestre et la forme d'un objet du monde réel. Une position est décrite dans un système de référence explicite comme par exemple un système de coordonnées. Cette composante permet de représenter la forme de l'objet lui-même et de positionner celui-ci par rapport aux autres phénomènes ou objets du monde réel.

La composante sémantique

La composante sémantique représente l'information relative à la nature, l'aspect et les propriétés descriptives d'un objet ou à un phénomène du monde terrestre, par exemple un département est décrite par son nom (Rhône), sa population (1508966), etc. Cette information peut aussi inclure des relations avec d'autres objets ou phénomènes, par exemple le département Rhône appartient à la région Rhône-Alpes. Un des aspects sémantiques qui distingue l'information géographique des données classiques est sa représentation multiple à différentes échelles (Laurini et Milleret-Raffort, 1993), (Weibel et Dutton, 1999), Dans les systèmes de cartographie numérique et dans les SIG, la généralisatio

réalise une transition entre différents modèles représentant une partie du monde réel à un niveau diminuant de détail, tout en maximisant le contenu informatif par rapport à une application donnée » (Weibel et Dutton, 1999). La généralisation permet de dériver des données et des cartes pour des échelles secondaires et/ou thèmes particuliers tout en gardant une bonne lisibilité cartographique et une représentation focalisée autour du thème principale de la carte. (McMaster et Shea, 1992) proposent un cadre conceptuel pour la généralisation des données géographiques, qui comprend trois phases : la première prend en compte l'objectif de la généralisation (i.e. l'objectif de la carte, etc.) (pourquoi), la deuxième concerne une évaluation cartométrique des conditions qui indiquent quand généraliser (quand) et la troisième est la sélection appropriée des attributs spatiaux et alphanumériques et leur transformation à travers un ensemble d'opérateurs (Regnauld et McMaster, 2007) (comment). Ces opérateurs établissent des relations complexes entre les objets géographiques de la carte originale et de la carte généralisée (Neun et Steiniger, 2005), (Bobzien et al. 2006).

III.1.2. La localisation : caractéristique principale de l'information Géographique

La localisation, qui définit l'information géographique, est aussi sa première spécificité. La définition du mode de localisation et de la "projection" cartographique est dès lors un composant indispensable de toute information géographique. En même temps que la description du mode géométrique, une information géographique doit préciser le système de localisation dans lequel il s'exprime.

III.1.2.1. Les différents modes de localisation

Le mode textuel ou systèmes de référence indirects :

C'est le nom de l'endroit où l'on se trouve ou la description de l'itinéraire pour s'y rendre.

L'adresse postale est l'exemple le plus répandu. Il existe aussi d'autres adresses de localisation telles que le numéro de la parcelle cadastrale, le numéro de commune INSEE,...

Ces systèmes de localisation sont très utilisés dans la vie quotidienne et l'administration (impôts, abonnements à l'électricité et au téléphone, etc.) mais, ils ne se prêtent pas aisément à une représentation directe sur une carte.

Le codage des adresses s'effectue en France à l'aide du répertoire FANTOIR (Fichier Annuaire Topographique Initialisé Réduit) établi et maintenu par la Direction Générale des Impôts. Ce fichier donne le nom des communes, voies, lieux-dits, canaux, rivières, voies ferrées, routes, autoroutes, etc. et leur code numérique. Dans certains pays comme le Royaume- Uni, l'adresse

postale a été adaptée à la géomatique, en normalisant le code postal selon une logique de grille particulière couvrant l'ensemble du territoire.

Le mode mathématique ou systèmes de référence directs

Le mode mathématique correspond aux coordonnées dans un système de référence donné. Ce sont les navigateurs qui, les premiers, ont utilisés des coordonnées (latitude et longitude) mesurées à partir des étoiles, pour caractériser leur position sur les océans.

A l'origine, les coordonnées utilisées par les navigateurs en se repérant sur les étoiles ont été définies sur la sphère terrestre puis, on s'est aperçu que la Terre avait la forme d'une sphère aplatie, sur un ellipsoïde de révolution (sphère aplatie aux pôles). En fait, la Terre n'ayant pas une forme mathématique parfaite, il existe plusieurs ellipsoïdes dits géodésiques qui s'en rapprochent plus ou moins. Ils sont caractérisés par leur centre (centre des masses de la Terre), leur axe de révolution (l'axe des pôles terrestres), leurs dimensions, leur méridien d'origine (celui de Greenwich par convention internationale).

III.1.3. Les types de coordonnées

III.1.3.1 Les coordonnées géographiques

Tout point M de la surface terrestre peut être projeté sur un ellipsoïde géodésique en un point P et défini par ses deux coordonnées géographiques :

- la longitude du point est l'angle orienté entre le plan méridien origine (Greenwich, par convention) et le plan méridien de ce point.
- la latitude est l'angle orienté, dans le plan méridien du point, entre l'équateur et la normale à l'ellipsoïde en ce point.

III.3.2 Les coordonnées rectangulaires

On passe des coordonnées géographiques "courbes" (définies sur l'ellipsoïde) aux coordonnées rectangulaires d'une carte "plane" par une transformation mathématique (qu'on appelle aussi projection)

III.3.3 Les coordonnées tridimensionnelles

Depuis l'avènement des satellites artificiels, l'emploi de coordonnées tridimensionnelles dans l'espace euclidien s'est généralisé.

Plutôt que d'utiliser des coordonnées géographiques sur l'ellipsoïde puis de projeter celles-ci sur le plan de la carte, il est apparu plus simple, pour calculer notamment les trajectoires des satellites, d'utiliser directement le système d'axes tridimensionnels dans lequel sont localisées les ellipsoïdes géodésiques

III.1.4. Les techniques de mesure :

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour déterminer les coordonnées d'un point à la surface de la terre. La plus ancienne est celle des navigateurs : l'astronomie de position, qui consiste à faire des visées sur les étoiles à l'aide d'instruments optiques (astrolabe, sextant,...).

A l'époque moderne, les méthodes ont consisté généralement à constituer d'abord un réseau de points très précis (points dits géodésiques) par triangulations successives, à l'aide de mesures d'angles (avec des théodolites) et de longueurs. Ce réseau peut comprendre jusqu'à 80 000 points pour un pays comme la France)

A partir de ce réseau géodésique de base, trois types de techniques sont utilisables :

- **les techniques terrestres** (topométrie) qui consistent à faire des mesures d'angles et de distances à l'aide d'appareils optiques et électroniques (tachéomètres à réflexions d'ondes) en se rattachant aux points géodésiques.
- **les techniques aériennes** (photogrammétrie) qui utilisent des photographies aériennes métriques à recouvrement stéréoscopique (pour la vision en relief) et qui mettent en oeuvre des "stéréo- reconstituteurs" capables de mesurer tout point visible sur les photos.
- **les techniques satellitaires** (télédétection spatiale) qui utilisent des images prises par les satellites d'observation de la terre (Landsat, Spot, Radarsat...), le plus souvent sous forme numérique, et dont le traitement géométrique permet de calculer également la position de tout point visible sur les images. La télédétection par satellite a ainsi ouvert un énorme gisement

d'informations inédites, grâce aux capteurs de rayonnements invisibles. Des cartes nouvelles, par leur thème, apparaissent sans cesse.

- Un quatrième type de méthodes intervient depuis les années 80 : c'est celle **du radio positionnement par satellites**, le système de loin le plus répandu étant le **GPS américain** (Global Positioning System). Grâce à une constellation de 21 satellites de positionnement, n'importe quel point de la surface terrestre peut être localisé avec un récepteur au sol, selon une précision variable suivant le type de récepteur et les méthodes de recueil et de traitement des données. Le GPS, auquel s'ajoutera vers 2006-2008, le système européen Galileo, peut ainsi servir aussi bien en géodésie qu'en topométrie, ce qui permet de remplacer progressivement les réseaux géodésiques par des stations GPS permanentes de référence, en nombre très restreint (quelques dizaines sur le territoire français)

III.1.5. Représentation de l'information géographique

III.1.5.1 Une représentation visuelle: l'image

L'information géographique peut être représentée sur une image enregistrée de la surface terrestre (exemple photo aérienne ou image satellitale), où l'on peut voir une multitude d'objets mais sans connaître directement leurs attributs (on ne voit pas le nom de la route) Cette forme d'expression de l'information géographique est apparue au XIXème siècle avec la première photographie aérienne prise en ballon en 1858 et un siècle plus tard grâce aux satellites d'observation de la Terre.

L'enregistrement direct, à distance, du rayonnement émis ou réfléchi par la surface terrestre (télédétection) fournit des images où sont visibles certains objets ou phénomènes du monde réel. Il s'agit donc d'une représentation *iconique* de la réalité qui décrit la forme et la localisation des objets (géométrie) sans pou autant indiquer la sémantique (nature et attributs) laissée au soin du lecteur qui doit l'interpréter et en dégager la signification implicite.

III.1.5.2 Une représentation graphique: la carte

L'information géographique se prête particulièrement bien à la représentation sur une carte, où l'on situe les objets et les phénomènes dans un repère général et homogène et où l'on a une vue d'ensemble sur leur implantation sur le terrain. Autrement dit, la carte géographique fournit une représentation graphique du monde réel qui permet au lecteur de voir la localisation des objets

ou des phénomènes qui l'intéressent. Elle décrit aussi bien des objets physiques (routes, rivières...) qu'immatériels (limites administratives...)

La carte, une véritable base de données

Narrative, puis descriptive, la carte est devenue géométrique et les géodésiens en font "un recueil de coordonnées" ; toute l'évolution moderne peut être résumée en une seule phrase : La carte, recueil de coordonnées, est devenue une banque de données géographiques localisées. Il suffit de mettre l'outil informatique à disposition du cartographe pour que les traitements informatiques en décuplent les possibilités de sélection ou d'analyse. Il devient ainsi possible, par une simple requête, de pouvoir afficher sur un écran les seuls objets répondant par exemple à une demande du type : " quelles sont les habitations situées dans la zone inondable de la commune de Dakar ?".

III.1.5.3 Le texte : forme traditionnelle d'expression de l'information géographique

L'information géographique peut être représentée par un texte ou un fichier de données littérales où elle est représentée par des données numériques et par une adresse postale (exemple : fichier des abonnés au téléphone : nom, prénom, numéro de téléphone, adresse postale). En d'autres termes, le texte géographique utilise des discours classiques qui décrivent de façon plutôt qualitative, le monde réel ; mais il inclut également des informations quantitatives, statistiques ou autres lorsqu'elles sont localisées sur le terrain.

Ces trois formes de représentation sont distinctes mais complémentaires :

- l'image comporte surtout des données géométriques (forme, dimensions, localisation) ;
- le texte ou le fichier littéral comporte surtout des données sémantiques (attributs) ;
- la carte comporte des données à la fois sémantiques et géométriques.

Noter que les données sémantiques de la carte s'expriment principalement par des symboles (points, lignes, surfaces), dont les attributs sont expliqués par la légende de la carte. La carte apparaît ainsi comme une forme intermédiaire (et optimale) de représentation de l'information géographique, avec un dosage particulier entre données sémantiques (on identifie moins d'attributs que dans un fichier) et géométriques (on voit moins d'objets que sur une image mais ils sont tous identifiés)

III.1.5.4 Représentation numérique de la géométrie des objets

Deux approches se sont développées en parallèle pour décrire numériquement la géométrie des objets, qui ont conduit à deux modes logiques :

- **Mode raster** : le mode maillé (ou raster en anglais) qu'on appelle encore mode matriciel, où la surface de la carte ou de l'image est décrite selon une logique de balayage ligne par ligne analogue à celui de la télévision : chaque ligne est composée de points élémentaires jointifs (ou pixels en anglais, abréviation de «Picture element»). L'action de balayer une carte ou une image, pour la convertir en un ensemble de pixels, est dite scannage.

La position est exprimée par la référence au noeud du maillage ou à la maille de la matrice. Par construction, la forme des objets n'est rendu que par la connexité des pixels portant une même valeur (ou gamme de valeurs). Ainsi, une forme ponctuelle se traduit par un pixel d'une certaine valeur entourée par un ensemble de pixels d'une autre valeur. Une forme linéaire est représentée par une suite connexe de pixels d'une même valeur ayant chacun au maximum deux voisins de la même valeur et se détachant des pixels les entourant caractérisés par une autre valeur.

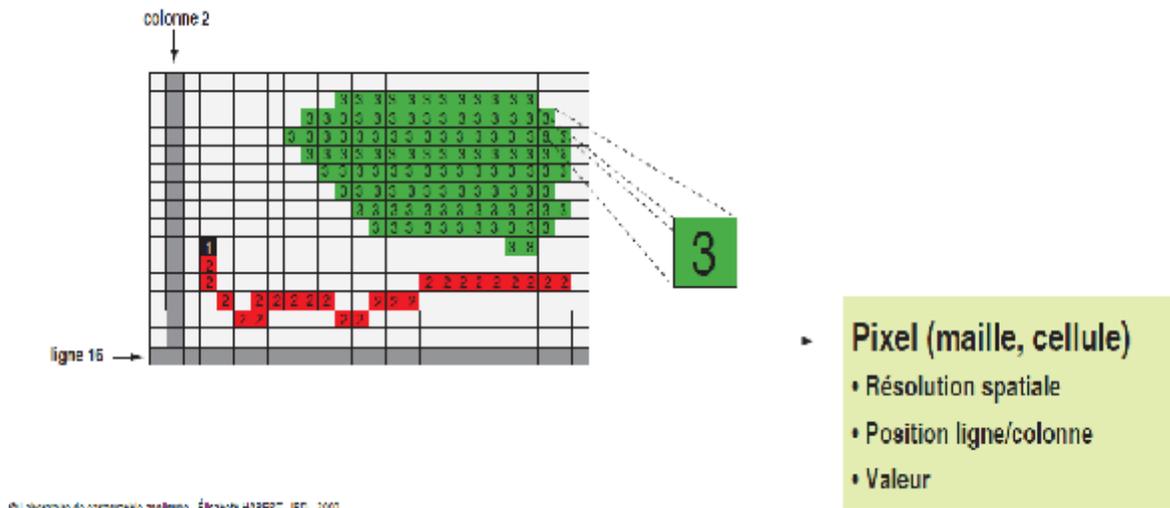


Figure III.1 : Donnée raster [13]

- **Mode Vecteur** où chaque objet représenté sur la carte est décrit par des points successifs composant son pourtour. Chaque point est localisé par ses coordonnées

rectangulaires et est joint au point suivant par un segment de droite (d'où le terme de vecteur). La position des objets est exprimée par des coordonnées (x, y, (z)) rattachées à un certain référentiel de positionnement. Leur forme quant à elle, est exprimée par le biais de trois primitives principales : les objets ponctuels, les objets linéaires et les objets surfaciques. (DENEGRÉ, 1996). A un objet ponctuel, est associé un seul jeu de coordonnées donnant la position du point dans l'espace. A un objet linéaire, une suite ordonnée de points ; chaque point de cette suite étant relié au point suivant par un segment de ligne. Enfin, un objet surfacique est compris comme l'intérieur de son périmètre, de son contour.

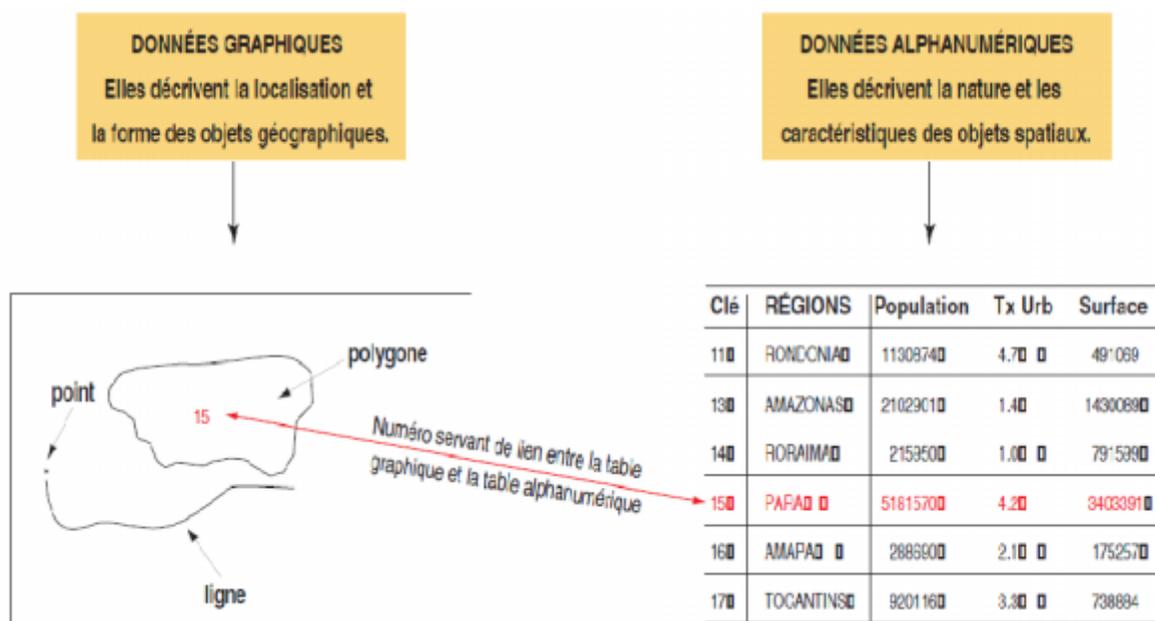


Figure III.2 : Données vectorielles [13]

Les points servent à la représentation de symboles ponctuels : ville sur une carte de France, arbre sur une parcelle...

Les lignes servent à représenter les routes, rivières, voies de chemin de fer, flux, ...

Les polygones servent à représenter tous les objets surfaciques : régions, départements sur une carte de France, parcelle sur une carte communale...

Les données vectorielles traitant les objets géographiques individuellement, c'est ce type de données qui va principalement servir pour la réalisation de cartographies statistiques. Elles permettent en effet d'individualiser des secteurs géographiques et d'y associer des attributs quantitatifs. (14)

Le mode vecteur ne peut s'appliquer qu'à une carte. Le mode raster peut s'appliquer indifféremment à une carte ou à une image. On peut convertir des données raster en données vecteur (vectoriser), ou convertir des données vecteurs en pixels (pixéliser, tramer ou rasteriser).

III.1.6.Base de données :

Les bases de données géographiques sont les outils opérationnels qui permettent d'organiser et de gérer l'information géographique sous forme numérique.

Ce sont des ensembles structurés de fichiers décrivant les objets ou phénomènes localisés sur la Terre (avec leurs attributs et leurs relations nécessaires à la modélisation de l'espace géographique).

Ces ensembles sont munis d'un système de gestion permettant de les tenir à jour, de les archiver et de les diffuser. Les bases de données constituent le socle sur lequel s'appuient les systèmes d'information géographique, qui analysent et exploitent les données pour en tirer des informations utiles à la décision.

III.1.6.1 Types de données :

- **Une base de données graphique** constituant le fond de carte et contenant des informations localisées. Le type de fichier que le logiciel est capable de lire dépend des systèmes de gestion de données graphiques avec lesquels il est compatible. On distingue deux modes de représentation de l'information localisée : **Le mode vecteur, Le mode raster.**

- **Une base de données attributaire** associée à la base de données graphique, base sur laquelle l'utilisateur effectuera une analyse afin d'aboutir à des résultats (ex : nom d'une route, nombre d'habitants d'un logement, etc.). Là encore, le type de fichier que le logiciel est capable de lire dépend des SGBD avec lesquels il est compatible : par exemple un logiciel peut être compatible avec Access ou Excel.

III.1.6.2 Modélisation :

La réalité d'un territoire peut être représentée (on dit aussi "modélisée") par une base de données géographiques décrivant tous les objets ou phénomènes présents sur ce territoire, ainsi que les relations entre ces objets. Ce modèle de la réalité est en fait une schématisation du monde réel, dont la complexité est trop grande pour être tout entière représentée par une ou même plusieurs bases de données géographiques. De plus, comme pour les cartes, la description des objets dans les bases de données est étroitement liée à l'échelle de représentation à laquelle on travaille.

Toute base de données représente une modélisation particulière de la réalité, et donc une généralisation plus ou moins poussée de celle-ci. Comment décrire les c

forme numérique ? De même que sur une carte, interviennent trois catégories de descripteurs : la nature et les attributs de l'objet, la localisation et la forme de l'objet et les relations de construction

- **la nature et les attributs de l'objet** (la sémantique), comme ceux qui sont définis dans la légende et les écritures de la carte, mais qui peuvent être beaucoup plus complets et précis.
- **la localisation et la forme de l'objet** (la géométrie), pour laquelle on définit trois formes principales de représentation : point, ligne et surface, un objet pouvant d'ailleurs être représenté par plusieurs de ces formes (ex. une route avec ses deux bords, et formée de tronçons successifs).

Il faut donc assurer la correspondance entre l'objet sémantique et sa traduction géométrique, par ce qu'on appelle les "**relations de construction**". A cela s'ajoutent d'autres types de relations, qui peuvent être évidentes ou implicites sur une carte, mais qu'il faut modéliser explicitement dans une base de données : par ex. les relations de voisinage ou d'appartenance.

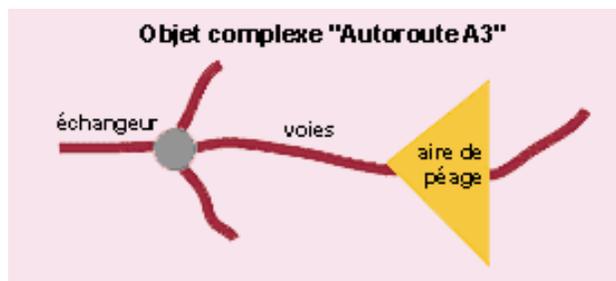


Figure III.3 : de l'objet complexe

✓ **Trois types de relations entre objets :**

❖ **Les relations spatiales :**

Les plus évidentes sur une carte, comme deux bâtiments voisins (adjacence), ou deux routes qui s'intersectent (connectivité), ou une clairière incluse dans une forêt (inclusion) ; on les appelle aussi relations topologiques (logique de l'espace), les termes utilisés pour les formes graphiques élémentaires dans la théorie des graphes étant : polygones (ou faces, pour les surfaces), arcs (limites des polygones) et nœuds (extrémités des arcs).

❖ **Les relations de composition :**

La plupart des objets, relativement complexes, sont en fait constitués d'objets plus simples, comme on le voit souvent sur une carte. Par exemple, un aéroport est composé de pistes, de bâtiments, d'espaces en herbe, etc. (Ces relations de composition décrivent l'appartenance d'un objet à un autre objet. Les objets dits "élémentaires" sont ceux qui se cc

avec leurs formes géométriques (relations de construction) ; cette notion dépend de l'échelle à laquelle on travaille.

❖ Les relations sémantiques :

Décrivent toutes les autres sortes possibles de relations logiques entre objets. elles portent généralement sur la fonction ou les attributs des objets. Exemples : tel cours d'eau est affluent de tel autre, tel bâtiment appartient à tel propriétaire, telle route franchit telle voie ferrée, etc.. Ces relations peuvent être aussi nombreuses et détaillées que le permet l'informatique, ce qui n'est pas le cas pour la carte-papier

L'ensemble de ces quatre types de relations (de construction, spatiales, de composition, sémantiques) permet de modéliser complètement, selon la schématisation retenue, en termes de thèmes et d'échelle, l'espace géographique concerné. On appelle "modèle conceptuel de données" le diagramme représentant, avec différents symboles, l'ensemble des objets, leurs attributs et leurs 4 types de relations.

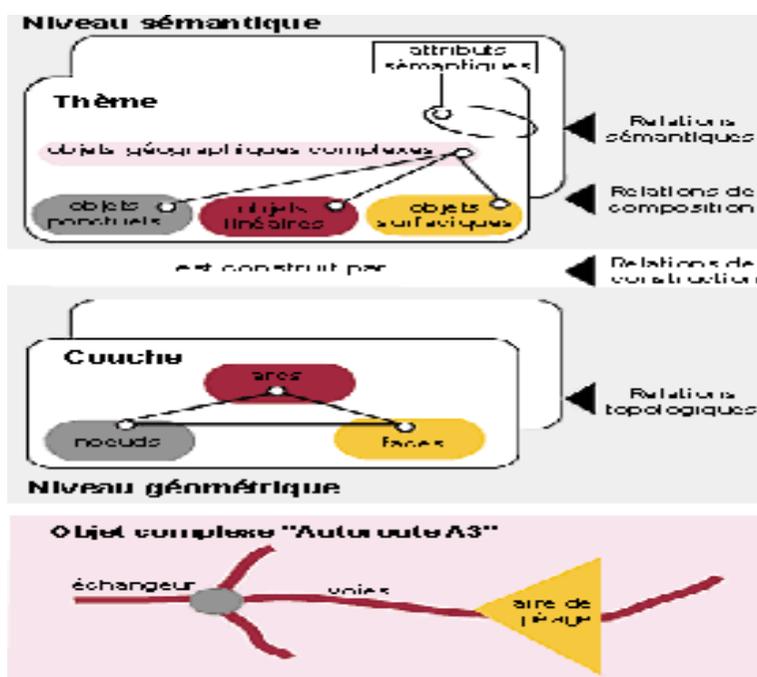


Figure III.4 : type de relations

III.1.7. Requête :

Toutes les questions que l'on peut poser concernant une carte doivent pouvoir être traitées de même à l'aide d'une base des données géographiques. De plus, celle-ci peut répondre à des questions beaucoup plus complexes, grâce à la richesse des attributs et à la souplesse des relations entre objets, notamment sémantiques et topologiques.

III.1.8. Les opérations de manipulation :

L'utilisateur dispose d'un certain nombre d'opérations comme l'intersection de deux éléments, l'inclusion d'un élément dans un autre, ... pour élaborer une requête, les fonctions peuvent faire l'objet d'un support théorique (algèbre Multi sorte) ou n'être qu'une série d'opérateurs, il apparaît souhaitable que l'utilisateur ne manipule que des concepts gérant des objets ne dépendant pas de leur représentation physique (indépendance physique / logique).

De nombreuses approches ont été développées, parmi ces approches nous citons.

III.1.8.1. Par fonction de traitement :

Cette approche regroupe l'ensemble des fonctions nécessaires pour la manipulation de données et définit une algèbre sur ces fonctions Guntung définit une algèbre modifiée pour mieux prendre en compte les relations spatiales et la nature géométrique des éléments une sous classe de ces opérations est utilisée dans les applications thématiques.

L'algèbre multi sorte de Guntung utilise entre autre :

NUM : nombre.

STR : chaîne.

BOOL : booléen.

GEO : généralisation des concepts géométriques pouvant se spécialiser en :

POINT : pour les points.

LINE : pour les lignes.

GEO* : est une séquence d'élément de type GEO.

REG : pour les régions.

OPERATEURS :

*Égalité ou différence de deux éléments géométriques $GEO \times GEO \rightarrow BOOL$

*Appartenance logique d'un élément ou un ensemble $GEO * GEO \rightarrow BOOL$

Relations spatiales:

-intersection $GEO \times GEO * \rightarrow GEO *$

-Adjacences $GEO * \times GEO * \rightarrow BOOL$

-Superposition $GEO * \times GEO * \rightarrow GEO *$

-Localisation $GEO1 \times GEO2 \rightarrow (LINE, NUM)$

Où LINE définit un segment de droite à partir du GEO1 de départ et NUM définit l'angle pour construire un (cône) définissent la zone dans laquelle se trouve GEO2.

Analyse spatiale :

F(GEO)*/(ou)F est une fonction du type connectivité, inter visibilité, p...

Métrique :

Distance (min, max)	GEO× GEO→NUM
Longueur	LINE→NUM
Périmètre, surface	
REG→NUM	

Manipulation :

Centroïde	GEO→ POINT
Opération géométrique (rotation)	
Création d'intersection	LIME x LINE→POINT
Fusion de 02 segments	LIME x LIME→LINE.

III.1.8 .2. Par base de traitement:

Cette approche fait intervenir le traitement à l'image d'un attachement procédural à partir des concepts du modèle entité association. Elle consiste à développer un schémas sous le forme d'une BERM (Binory Relations hip Modèle), la définition est la suivante:

BERM (E, R) : E entité R relation

LAISON (REA, REB)

REA, REB :(ES, REB)

ES : Surrogati d'Entité

EC : Cardinalité

Entité: (EN, EA, ES, EK, EX).

Relation: (RN, RA, RK, RE, RX).

EN : nom de l'entité.

EA : attribut de l'entité.

EK: clé de l'entité.

RN : nom de relation.

RK : clé de relation.

RE : nom de l'entité

EX, RX: expressions algébriques sur le schémas.

ERA (c, o) : Entité I Relation chip Algèbre

C : Vecteur de l'algèbre.

O : Opérateur.

Les opérations sont: effacer un ensemble de relation, un ensemble d'entité, réduire une entité et renommage, projeter une entité, sélectionner une relation, une entité, union, différence, intersection.

L'accès se fait pour les opérateurs de l'algèbre, pour manipulation graphique du schéma de base.

III.1.8.3. Par représentation fonctionnelle

Cette approche repose sur la définition intentionnelle (ou fonctionnelle) d'une image qui dispose de deux représentations abstraite et physique.

L'image abstraite est définie à l'aide d'un langage fonctionnel à un ensemble de primitives compréhensibles par le système d'affichage.

Le langage fonctionnel est d'écrit à partir d'une grammaire:

G(T, N, P), ou: T=OULUS.

O : sous ensemble finis de noms d'objet de la base.

L : ensemble fini de noms de fonctions.

S : ensemble de délimiteurs d'expressions.

N: ensemble de nom- terminaux.

P : ensemble de règles de production sur la construction de la représentation géométrique.

III-2- Système d'information géographique(SIG) :

II.2.1. Définition:

Un Système d'Information Géographique est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent. [15]

D'après la société française de photogrammétrie et télédétection, un SIG est un système Informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées Géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace [11]

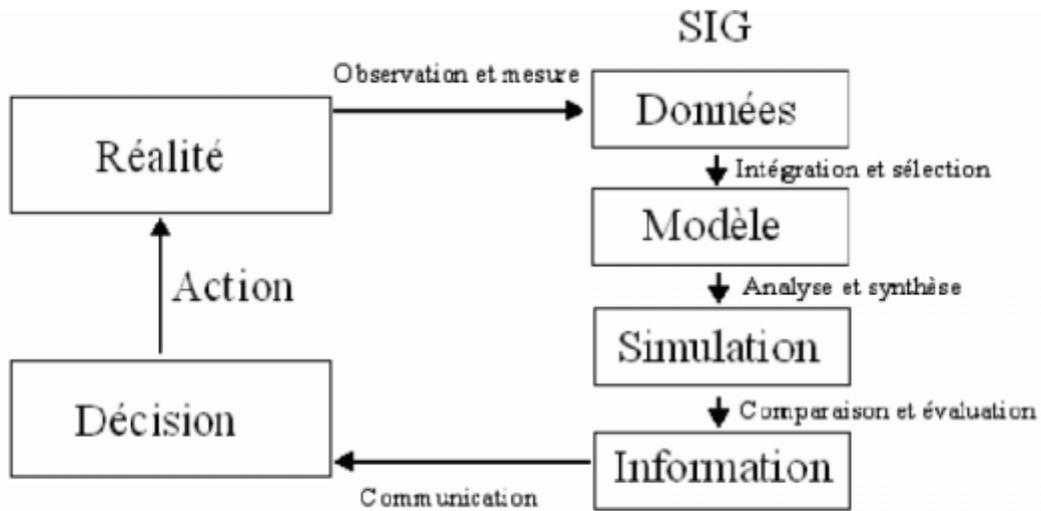


Figure III.5 : Fonctionnement d'un S.I.G[11]

III.2.2. Historique

Depuis les années 70, les techniciens des collectivités locales ont voulu utiliser les capacités de l'ordinateur afin de faciliter la gestion des données. Avant que les SIG n'apparaissent, d'autres logiciels étaient déjà utilisés et le sont encore actuellement, comme les logiciels de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) permettant la numérisation et le stockage de données vectorielles en deux dimensions (Adobe Illustrator, FreeHand, etc.), les logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) qui gèrent des données en 3D (AutoCAD, etc.) et les logiciels de cartographie numérique qui sont des logiciels de DAO adaptés à la cartographie (Gitan, Demeter, etc.).

Mais aucun de ces logiciels ne permet de faire de la cartographie thématique qui consiste, à partir d'un unique jeu de données, à faire varier la représentation en sélectionnant les objets à représenter ou en la paramétrant par un choix de caractéristiques de chaque objet. De plus les SGBD (Systèmes de Gestion de Base de Données : outils informatiques permettant la saisie, la gestion et l'exploitation de bases de données) ont été conçus pour gérer des informations non localisées et ils ne savent pas dessiner.

Les SIG sont donc apparus avec le besoin des utilisateurs d'établir une liaison entre deux types d'outils indépendants : les SGBD et les outils de CAO ou de DAO. Actuellement, la plupart des fonctionnalités proposées par les SIG restent encore basées sur ce couplage SGBD/cartographie numérique.[15]

III.2.3. Les objectifs d'un SIG :

Les SIGs offrent des services répondant aux objectifs qui seront classés suivant deux besoins :

Les besoins de l'utilisateur : Un système pour la saisie, le stockage, l'extraction l'interrogation et l'affichage des données localisées.

Les besoins des décideurs : Un ensemble de données repérées dans l'espace structuré de façons à pouvoir en extraire des synthèses utiles à la décision.

III.2.4. Les composants d'un SIG

Un SIG est l'ensemble de matériels, des logiciels, des données, des personnes et des compétences mises en place pour analyser un territoire [12].



Figure III. 6: Composants d'un SIG [15]

Matériel

L'analyse et le traitement des données se fait par l'intermédiaire des logiciels d'un ordinateur. Le SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs : des ordinateurs utilisés de façon autonome, des serveurs de données client-serveur en intranet ou bien via internet permettent une diffusion large mais également efficace des données ainsi que des résultats [15].

Logiciels

Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions nécessaires pour stocker, analyser et afficher toutes les informations :

- Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
- Système de gestion de base de données.
- Outils géographiques de requête, analyse et visualisation.
- Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile [15].

Données

Les données sont les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées sont soit constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données [15].

Utilisateurs

Un SIG étant un outil, c'est son utilisation qui permet d'exploiter son potentiel. Avec Internet, de plus en plus de logiciels de SIG apparaissent et le nombre d'utilisateurs s'agrandit de jour en jour. Il est à noter que les experts ne sont pas les seuls utilisateurs de logiciels SIG, d'autant plus que beaucoup de logiciels favorisent l'accessibilité du plus grand nombre aux méthodes de cartographie et d'analyse de données géographiques voient le jour. Cependant, pour faire une interprétation exacte des résultats obtenus, il est nécessaire d'avoir une connaissance de base sur la nature des traitements effectués par les logiciels [15].

Méthodes

La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG doit s'effectuer en respectant certaines règles et procédures propres à chaque organisation [15].

III.2.5. Fonctionnalités d'un SIG

Le système d'information géographique (SIG) s'appuie sur un certain nombre de bases de données géographiques, qu'il permet d'intégrer, de gérer, de traiter et de représenter sous forme de cartes.

En tant qu'outil, les SIG comportent des fonctions de saisie de données sous forme numérique (Acquisition), un système de gestion de ces données (Archivage), des fonctions de manipulation, de croisements et de transformation (Analyse) et des outils de mise en forme des résultats (Affichage). En tant que système d'information, un SIG suppose une certaine modélisation du monde réel. Il s'ensuit qu'un SIG comprend des outils permettant de cette abstraction de la réalité. (DENEGRÉ, 1996)

- **Abstraction:**

C'est l'opération qui permet de représenter une situation géographique du monde réel et complexe par un système simple et suffisamment précis et compréhensif.

par des fonctions tenant compte de la modélisation de la réalité :

Modèle pixel ,Modèle vectoriel ,Modèle spaghetti ,Modèle topologique

- **Acquisition :**

Un SIG ne peut fonctionner que s'il contient des données. A partir du moment où l'on a défini les informations nécessaires à notre besoin, C'est l'opération qui permet d'intégrer des données géographiques dans le système.

pour la collecte des données grâce à des fonctions de saisie des données sous forme numérique ;il reste à régler la question du choix du mode d'acquisition des données : si les données existent déjà, les importer ou dans le cas contraire, les saisir.

L'acquisition des données est la phase la plus coûteuse dans la mise en place d'un projet SIG. Il y a donc tout intérêt à bien définir ses besoins et à comparer l'ensemble des données disponibles

- ✓ **Importation et exportation de données :**

Les données existent : il faut les importer dans le système

L'importation de données est la première manière d'acquérir des données. Les SIG offrent généralement trois types de moyens d'importer des données :

importer une base de données structurée dans un format interne

à un SIG. Ce moyen convient entre les SIG d'un même type mais est plus délicat entre des SIG de types ou de versions différentes.

importer un fichier "à plat"

simple fichier textes contenant toutes les informations structurées de façon simple. Néanmoins un important travail de structuration des données est nécessaire pour coïncider avec la structure interne du SIG.

passer par une des normes d'échange disponible sur le marché.

Ce troisième moyen est le plus économique à long terme.

D'une façon générale, l'importation des données sémantiques est plus simple : import de simples fichiers Excel ou Access...

Echange des données géographiques et normalisation

La normalisation dans le domaine de l'information géographique numérique a été justifiée par le besoin de partager et d'échanger des informations entre un émetteur et un récepteur.

La multiplication des formats de constructeurs a conduit le conseil national de l'information géographique (CNIG) à mettre au point la norme EDIGEO. Cette norme française permet de transférer des données en mode vecteur, topologique ou maillé et de décrire la qualité des informations géographiques.

Au niveau européen, il y a le CEN (comité européen de normalisation). Au niveau international, la norme ISO vise aussi à faciliter les échanges de données

Une autre structure, l'Open GIS Consortium est chargée d'harmoniser les nomenclatures

✓ **Numérisation de nouvelles couches de données**

Les données n'existent pas : il faut créer une base de données La géométrie des objets provient essentiellement de vectorisation.

d'images existantes : fonds de carte, photos ou images satellites redressées. Mises comme fond d'écran en mode raster les objets peuvent être saisis à la souris ou bien installés sur une table à digitaliser, ils sont saisis avec un curseur. Pour passer une carte ou une photo en mode raster, on utilise un scanner.

La numérisation consiste à suivre avec le curseur le contour d'un objet sur le document à numériser (carte sur table ou image à l'écran), en enregistrant les points caractéristiques (début, points intermédiaires, fin). Elle peut être issue de relevés GPS ou de la photogrammétrie. Le géocodage est une façon de créer des objets géométriques très utilisée en géomarketing. A partir de données sémantiques (n° de commune, adresse, etc.) associées à un enregistrement, le logiciel va rechercher dans une base de données existante la commune, la rue... noter les coordonnées géométriques (X, Y ou latitude, longitude) et positionner ainsi un nouvel objet géométrique. Un client est ainsi correctement positionné dans la bonne rue de sa commune. Après avoir numérisé la géométrie des objets, l'opérateur remplira selon ses besoins une fiche attributaire pour chaque objet, il entrera alors les données alphanumériques dites sémantiques.

• **Analyse :**

C'est l'opération qui permet d'effectuer des traitements ou d'interprétations liées à la géométrie des objets (exemple calcul d'itinéraire, croisement des données thématique en couches.) par des fonctions de manipulation, croisement et transformation des données spatiales au moyen de requêtes dans le SGBD et quelques fois.

Il existe un grand nombre de fonctions qui permettent d'analyser un ensemble de données géographiques. Peu de logiciels SIG les contiennent toutes. Par contre, des modules spécifiques, selon les besoins, peuvent compléter les logiciels généralistes.

✓ **Analyse des données (Interpréter les données) :**

L'analyse des données a pour but de les interpréter pour élaborer de nouvelles informations sur la zone traitée. Elle met en œuvre des méthodes quantitatives, souvent statistiques, d'interprétation des données.

Les logiciels peuvent utiliser le langage SQL (StructuredQueryLanguage) qui est un langage de requête permettant de rechercher dans une base de données des informations répondant à des critères spécifiques. L'analyse thématique aboutit souvent à de la cartog

✓ **Analyse des objets géométriques :**

L'analyse des objets géométriques sert à mettre en évidence des propriétés liées à la géométrie des objets.

On y retrouve les requêtes topologiques qui ont trait à la proximité, au rapport des objets avec leurs voisins : intersection, inclusion et "buffer" (opération qui consiste à évaluer la proximité entre plusieurs objets).

✓ **Analyse complexe**

Il est fréquent de passer par des étapes de modification des données d'origine, de découpage ou de regroupement des objets de même type avant d'avoir une image correcte des phénomènes à étudier.

Dans la plupart des cas, des développements informatiques ou bien des modules complémentaires permettent d'effectuer des analyses complexes. Elles s'appuient alors sur des bases de données spécifiques. Ce type d'analyse donne toute son utilité au système d'information géographique.

Le calcul d'itinéraire est un exemple d'analyse qui s'appuie sur la géométrie du réseau et sur les informations descriptives : sens de circulation, nom de rue, adressage... permettant de déterminer le trajet entre une adresse de départ et une adresse d'arrivée.

✓ **Les méthodes d'analyse spatiale ont été classifiées par (Longley et al 2001) de la façon suivante :**

- **Les méthodes d'interrogation et raisonnement** représentent les formes les plus simples d'analyse spatiale. Le SIG est utilisé pour répondre aux questions sous la forme de requêtes qui utilisent des prédicats spatiaux ou alphanumériques pour sélectionner un ensemble d'objets géographiques.

- **Les méthodes de mesure** permettent d'obtenir des valeurs numériques qui décrivent des objets géographiques. Elles incluent des mesures comme le périmètre, la surface pour un seul objet spatial et la distance entre deux objets spatiaux.

- **Les méthodes de transformation** sont des opérations spatiales qui changent les données en les combinant entre elles pour obtenir de nouvelles données géographiques.

Ces transformations utilisent de simples règles géométriques, logiques et/ou arithmétiques, par exemple l'overlay, la fusion, etc.

- **Les méthodes de synthèse** synthétisent un ensemble de données en une ou deux

Valeurs numériques. Elles sont les équivalents spatiaux des descripteurs statistiques classiques et elles incluent des méthodes d'analyse statistique spatiale, comme la « standard distance » ou le barycentre.

- **Les techniques d'optimisation** sont utilisées pour sélectionner la position idéale pour des objets géographiques selon des critères bien définis.

- **Affichage :**

Représentation et mise en forme, notamment sous forme cartographique avec la notion d'ergonomie et de convivialité par des fonctions de mise en forme et de visualisation ; L'information géographique peut être transmise de manière verbale ou chiffrée, graphique ou cartographique. Les représentations visuelles sont particulièrement efficaces, parce qu'elles impliquent au préalable un traitement des données et une sélection de l'information pertinente et parce qu'elles autorisent une lecture instantanée d'une image globale. La transmission visuelle n'est réalisée correctement que si le codage par les signes graphiques a été opéré selon les règles assez strictes. Ces règles ont été dictées à partir de recherches sur la cognition : comment l'œil humain perçoit-il les signes graphiques et comment le cerveau transcrit-il cette perception en information ? Pour réaliser une représentation cartographique, le cartographe dispose de signes élémentaires, qu'il distribue selon une certaine implantation graphique. Il combine ces signes, pour former des figurés, en fonction de six variables visuelles (Bertin et Bonin, 1992). La graphique utilise les propriétés du plan pour faire apparaître les relations de ressemblance, d'ordre ou de proportionnalité entre les ensembles de données. La sémiologie graphique est l'ensemble des règles qui permettent l'usage d'un système de signes graphiques pour transmettre l'information. Le langage cartographique en est une partie. Les signes graphiques élémentaires (points, lignes, surfaces) sont l'alphabet, les variables visuelles sont le vocabulaire, et les règles de la perception visuelle sont la syntaxe. On appelle variable visuelle une façon de faire varier les signes graphiques. On distingue six variables visuelles différentes : la taille, la valeur, la couleur, la forme, l'orientation et le grain.

Le figuré cartographique est construit par le cartographe à partir des signes graphiques élémentaires. C'est une construction qui peut recevoir des implantations graphiques différentes et qu'on peut faire varier en utilisant les variables visuelles. L'implantation graphique est la manière d'appliquer le figuré sur la carte : elle peut être ponctuelle lorsque le figuré est attribué à un point ou à un symbole linéaire lorsque le figuré est affecté à une ligne, et zonale lorsque le figuré est étendu sur une surface.

La visualisation de données géographiques est un problème complexe. En effet, pour permettre une analyse judicieuse des cartes, il faut savoir trouver un juste équilibre entre la précision (et donc le nombre de données représentées sur la carte) et la lisibilité. En général, les SIG mettent à disposition de l'utilisateur, deux types différents de cartes : les cartes de références générales et les cartes thématiques.

✓ **Les cartes de références générales** représentent la localisation d'objets concrets (cartes routières, etc.).

✓ **Les cartes thématiques** représentent la distribution spatiale d'attributs (par exemple des cartes représentant la densité de population, etc.), grâce aux variables visuelles et aux affichages graphiques (bars, camemberts, etc.)

Dans les SIG les informations géographiques affichées sur les cartes peuvent être triées, sélectionnées et traitées en fonction des demandes. Il est ainsi possible de présenter les données selon un ou plusieurs thèmes, de les faire apparaître selon l'échelle de visualisation et de limiter leur usage en fonction de leur précision et de leur accessibilité. De plus, l'utilisateur peut à tout moment avoir accès aux données alphanumériques associées à la composante spatiale à travers des requêtes à la base de données, des outils graphiques et surtout à travers l'interaction avec la carte. Cette capacité confère une nouvelle perspective aux cartes en les transformant en de véritables outils d'analyse et d'exploration. La carte peut être considérée comme une interface vers l'information géographique. Elle permet d'explorer les données géographiques en gardant en même temps son rôle premier : la présentation de données dans l'espace.

• **La géo visualisation :**

Dans les années 90 la visualisation scientifique donnait au mot « visualisation » une nouvelle signification en liant la visualisation à l'informatique décisionnelle. Autrement dit, la visualisation scientifique devenait de plus en plus un outil d'aide à la décision permettant de rendre visibles les connaissances qui se cachent derrière les données.

Les relations entre les domaines de la cartographie et du SIG d'un côté, et la visualisation scientifique de l'autre, sont à la base d'une nouvelle discipline scientifique :

la Géo visualisation. Celle-ci intègre les techniques de visualisation scientifique, de cartographie, d'analyse des images, d'exploration de données, pour fournir une théorie, des méthodes et des outils pour la représentation et la découverte de la connaissance spatiale (MacEachren et Kraak, 2001).

- **Archivage :**

Les fonctions d'archivage (et d'interrogation) forment le coeur du SIG. En fait, quand on parle d'archivage dans un SIG, on introduit souvent la notion d'espace de travail. Le système est composé de deux ensembles : les données archivées, par essence statiques, qui représentent un état relativement stable de la base de données et les données en cours de manipulation, par essence dynamiques car en cours de modification. Archiver consiste ainsi à transférer les données de l'espace de travail vers l'espace d'archivage. C'est la fonction inverse de l'interrogation qui permet d'extraire de la base de données les informations utiles à un moment donné.

L'information géographique, avec ses composantes géométrique et sémantique, n'est pas une information «ordinaire», par conséquent, la gestion des données d'un SIG requiert parfois un système particulier. En effet, trois catégories de SIG, traduisant trois approches de gestion, se distinguent :

- Les SIG séparant géométrie et sémantique, considèrent d'un côté les données géométriques et topologiques gérées par des logiciels spécialisés (souvent un système de CAO/DAO5(*) standard) pour le traitement des aspects spatiaux des données, et de l'autre côté, les données sémantiques gérées avec un système de gestion de base de données (SGBD6(*)) standard.
- Ceux intégrant géométrie et sémantique utilisent en général un SGBD standard pour gérer les deux aspects de l'information géographique. Le SIG est, dans ce cas, développé comme une couche au- dessus du SGBD.
- La troisième approche, contrairement aux précédentes liées au mode vecteur, s'intéresse au mode maillé. La gestion se fait avec l'aide de logiciels d'accès aux données maillées ; l'utilisation de SGBD est marginale.

Afin d'assurer une indépendance entre le point de vue de l'utilisateur sur ses données et leur structure physique sur disque, trois niveaux de description de données ont été définis dans le SGBD :

- **un niveau externe**, auquel les utilisateurs décrivent leurs données ;
- **un niveau logique** ou conceptuel, qui est celui de la description globale et unique de toutes les données ;
- **un niveau interne** ou physique qui décrit les paramètres de stockage physique (nom de fichier, type d'index...)

Le modèle utilisé est soit le modèle relationnel (SGBD R), bâti sur une structure logique simple (la relation), soit le modèle orienté- objet (SGBD OO). Dans les SGBD R, les données sont

sont exécutées à l'aide d'opérateurs de l'algèbre relationnelle, composés d'un nombre limité d'opérateurs ensemblistes qui s'appliquent à une ou plusieurs relations pour en engendrer une nouvelle. L'utilisateur a recours à un langage documentaire pour formuler un besoin informationnel. Ce langage décrit les conditions de sa requête, c'est une norme et sert de filtre. Les SGBD R sont spécifiés pour gérer des applications classiques qui représentent une part importante de l'informatique. Pour dépasser les limites de ce système, de nouveaux SGBD inspirés de la technologie de programmation orientée- objet ont été conçus : les SGBD orientés-objet qui ont pour objectif de supprimer le dysfonctionnement entre SGBD R et langages de programmation, d'une part et d'autre part, de gérer des types complexes.

III.2.6. Gestion et Modèle de représentation des informations dans le SIG :

Des données informatiques sont gérées grâce à des systèmes de gestion de bases de données et donc doivent être présentées sous une forme compatible, cela nécessite une modélisation qui servira à leur description et permettra de connaître puis de retrouver tous les éléments utiles aux traitements sous une forme adaptée.

Cette modélisation servira à préciser les renseignements qui doivent être disponibles dans la description informatique d'un événement ou d'un objet réel. La description informatique doit être suffisamment complète pour permettre la réalisation de traitement et traduire la réalité.

III.2.6.1. Gestion multidimensionnelle:

Dans les applications de gestion, l'index est souvent de nature lexicographique. Les techniques sont bien maîtrisées en particulier grâce à l'utilisation du tri, lié à l'existence d'un ordre totale sur l'index, elles ne sont pas applicables dans des applications de type géographiques.

On peut représenter cette gestion en divers modèles à la disposition du concepteur de SIG pour représenter l'information de nature géométrique. [12]

III.2.6.1.1. Modèle pixel:

Chaque cellule (pixel) est référencée en ligne et en colonne elle contient une valeur correspondante à une grandeur numérique ou alphanumérique, la résolution est la taille occupée par un pixel sur le terrain, elle correspond à la taille du plus petit objet que l'on peut identifier.

III.2.6.1.2. Modèle vectoriel:

Le modèle vecteur répond au souci de représenter un objet de manière aussi exact que possible, les objets spatiaux peuvent être représentés sur une carte par des points, des lignes (segments) et des polygones.

Généralement le point est considéré comme un élément à une caractéristique (ses coordonnées dans le référentiel retenu), le segment est un élément à deux caractéristiques (les coordonnées des extrémités initiale et finale), le polygone est considéré comme un élément à n caractéristiques ($n > 2$) un polygone est formé de couples de points.

III.2.6.1.3. Modèle spaghetti:

Chaque entité est codée séparément en vecteur sans référence avec son voisin, le point est représenté par une liste à un seul élément, la ligne par la liste des sommets des segments qui la composent, le polygone de manière identique à la ligne excepté pour le dernier élément de la liste qui doit être le même que le premier.

III.2.6.1.4. Modèle topologique:

La représentation des informations est modélisée sous la forme d'un graphe planaire et de topologie (relation d'adjacence) associée.

III.2.6.1.5. Modèle tessellation:

Les tessellations sont une agrégation des cellules du plan où chaque cellule possède un ensemble de propriétés, la résolution d'une tessellation correspond à la finesse de la description et les méthodes de compactage à un compromis entre le volume des données et les temps d'exécution des opérations manipulant de telles structures.

Il existe trois grands types de tessellation:

- hiérarchique.
- irrégulière.
- hybride.

- **Tessellation hiérarchique:**

Le motif utilisé est le carré car le triangle équilatéral n'est pas uniforme dans l'orientation et l'hexagone ne peut pas être décomposé en hexagone identique.

- **Tesselation irrégulier:**

Elles permettent de diviser le plan en fonction de la distribution de données, chaque cellule contient le même volume d'information.

- **Tesselation hybride:**

Cette classe hétéroctile comprend les méthodes ne gérant plus une partition complète de l'espace en mélangeant l'approche tesselation et vecteur

III.2.6.2. Gestion des relations spatiales :

Certains relations spatiales comme les relations d'inclusion et de connexité sont modifiables pour un graphe, car elles introduisent une notion de hiérarchie, d'autre comme les relations de proximités et de direction ne peuvent pas être traités que pour utilisation direct de la métrique, l'implantation de la fonctionnalité de la gestion des relations spatial dans les divers prototypes traduit deux philosophies:

-A l'aide d'un modèle tenant compte de la représentation physique.

-A l'aide d'un modèle de données logique.

III.2.6.2.1. Représentation physique:

Ces modèles sur les tessellations reposent sur le concept de tesselation où ses dérivées par une intervention au niveau du support disque

III.2.6.2.2. Représentation logique:

Ces modèles reposent sur le concept de base de données ou de moteur d'inférence. Moteur d'inférence:

Ces techniques bien connus du monde de l'intelligence artificiel et commencent à présenter les technique de base de données ne sont quasiment pas dans le domaine de la géographique.

III.2.6.3. Gestion des référentiels:

La spécialisation des objets du monde réel (3D) est représentée sur un support plan (2D) par l'intermédiaire d'une «projection cartographique », un système de projection se définit comme la relation qui existe entre les valeurs des coordonnées rectangulaire de la carte sur le plan et les coordonnées géographiques sur l'ellipsoïde partiel, une projection conforme les angle autour d'un point, une projection équivalente concerne les surfaces, dans tous les cas de figures, les longueurs subissent une variation d'échelle.

III.2.7. Fonctionnement d'un SIG

Les outils SIG les plus couramment utilisés automatisent les tâches qui étaient auparavant effectuées manuellement, par exemple, compiler de nouvelles cartes en les superposant ou

découper physiquement des cartes en morceaux représentant des zones d'étude spécifiques, puis modifier leur projection. Certaines de ces tâches manuelles étaient si ardues et complexes qu'elles retardaient la diffusion des connaissances et des données géographiques. Elles furent à l'origine de l'invention du SIG.

III.2.7.1 Analyse spatiale

L'analyse spatiale est le processus de modélisation, de dérivation des résultats par traitement informatique, puis d'examen et d'interprétation des résultats du modèle. L'analyse spatiale permet d'évaluer l'aptitude et la fonctionnalité, d'estimer et de prévoir, d'interpréter et de comprendre.

L'analyse spatiale est l'un des aspects les plus intéressants et remarquables du SIG. A l'aide de l'analyse spatiale, les utilisateurs de SIG peuvent combiner les informations de nombreuses sources indépendantes et générer un jeu d'informations (résultats) totalement nouveau, en appliquant un ensemble d'opérateurs spatiaux étendu, complet et très élaboré. Les professionnels du SIG utilisent le géotraitement pour "programmer leurs propres idées" afin de générer ces résultats analytiques. Ces résultats sont ensuite appliqués à une grande variété de problèmes.

III.2.7.2 Analyse de superposition

L'une des questions fondamentales les plus posées au sujet d'un SIG est "qu'est-ce qui se trouve sur quoi" ? Par exemple :

- Quelle utilisation du sol se trouve sur quel type de sol ?
- Quelles parcelles se trouvent dans la plaine inondable vieille de 100 ans ? ("Dans" est simplement une autre façon de dire "sur".)
- Quelles routes se trouvent dans quels départements ?
- Quels puits se trouvent dans des bases militaires abandonnées ?

Jadis, pour répondre à de telles questions, les cartographes créaient des cartes sur des feuillets en plastique transparents et les plaçaient sur une table pour créer une nouvelle carte avec les données superposées. Les superpositions proposant de précieuses informations, elles ont été importantes pour le développement des SIG.

Une opération de superposition est beaucoup plus qu'une simple combinaison de réseaux linéaires.

III.2.7.3 Analyse de proximité

- L'une des questions fondamentales les plus posées au sujet d'un SIG est "qu'est-ce qui se trouve près de quoi" ? Par exemple :
- Est-ce que des routes passent à 1 000 mètres d'un cours d'eau ?
- Quelle est la distance entre deux endroits ?
- Quelle est l'entité la plus proche ou la plus éloignée de quelque chose ?
- Quelle est la distance entre les entités d'une couche et celles d'une autre couche ?
- Quel est l'itinéraire de réseau de transport le plus court entre un endroit et un autre ?

III.2.7.3 Analyse et gestion des tables

Presque toutes les données SIG sont stockées ou représentées sous la forme d'une simple table de base de données. Par exemple, les classes d'entités sont des tables possédant un attribut de forme (un attribut dans une table est aussi désigné par le terme champ ou colonne), les rasters peuvent être affichés sous la forme de tables d'attributs, et la plupart des bases de données SIG dynamiques ont des tables autonomes qui contiennent des attributs pouvant être reliés à d'autres tables par un attribut commun. Lorsque vous créez une base de données ou que vous effectuez une analyse, vous passez une grande partie de votre temps à gérer des tables, à ajouter et à calculer de nouveaux attributs, à copier des tables ou leurs lignes d'un emplacement vers un autre, à convertir des tables contenant des chaînes de texte de valeurs de coordonnées en entités, à relier une table à une autre, ou à calculer des résumés statistiques.

Certaines analyses nécessitent que les données SIG soient extraites sous la forme de tables pour une autre application, ou les données tabulaires provenant d'une autre application peuvent devenir une entrée pour le SIG. Souvent, plusieurs étapes du géo traitement modifient et associent des ensembles de données, ce qui donne une classe d'entités comptant de nombreux attributs dérivés d'autres données, qui peuvent être sélectionnés ou résumés pour produire des résultats tabulaires.

III.2.7.4 Analyse de données tabulaires

L'analyse de données tabulaires implique souvent de savoir combien d'éléments appartiennent à une catégorie donnée ou d'examiner la distribution de valeurs pour un ensemble d'éléments. Souvent les choses particulières auxquelles vous vous intéressez sont entourées de beaucoup d'autres qui sont légèrement (ou très) différentes. La recherche d'entités selon ces différences implique souvent d'associer des données provenant de sources différentes en joignant des tables ou par jointure spatiale et superposition, puis en sélectionnant et calculant des valeurs dans les champs.

III.2.7.5 Analyse statistique

Les informations relatives aux attributs d'entités et à leur localisation sont inhérentes aux données SIG. Ces informations servent à créer des cartes qui peuvent être analysées visuellement. L'analyse statistique vous aide à extraire de vos données SIG des informations complémentaires qui peuvent ne pas être évidentes en regardant une carte. Il s'agit par exemple de la façon dont les valeurs attributaires sont distribuées, s'il y a des tendances spatiales dans les données ou si les entités forment des modèles spatiaux. A la différence des fonctions de requête (comme identifier ou sélection, qui fournissent des informations au sujet d'entités individuelles), l'analyse statistique révèle les caractéristiques d'un ensemble d'entités dans son intégralité.

-L'analyse statistique est souvent utilisée pour explorer les données : par exemple, pour examiner la distribution des valeurs d'un attribut particulier ou pour repérer des points aberrants (valeurs très élevées ou très basses). Il est utile de disposer de ces informations lors de la définition de classes et de plages sur une carte, de la reclassification de données ou de la recherche d'erreurs dans les données.

-Les fonctions statistiques peuvent aussi être classées selon si elles sont

Descriptives ou inférentielles.

- **Les statistiques descriptives** résument certaines caractéristiques des valeurs ou entités que vous analysez : la valeur moyenne, la fréquence de distribution des valeurs, ou la tendance directionnelle d'un groupe d'entités. Les statistiques descriptives sont souvent utiles pour comparer deux ensembles d'entités pour la même surface.
- **Les statistiques inférentielles** utilisent la théorie des probabilités pour prévoir l'occurrence possible de valeurs (à l'aide d'un ensemble de valeurs connues), ou pour évaluer la probabilité qu'un modèle ou une tendance visible dans les données n'est pas le fait du hasard.

III.2.8. Les disciplines participantes dans les SIG

Les Systèmes d'Informations Géographiques sont le résultat de la combinaison et de la fusion de disciplines multiples :

- **La géographie** : qui fournit les méthodes d'analyses et d'organisation spatiales.
- **La cartographie** : qui donne les méthodes de représentation de l'espace géographique.
- **La télédétection** : qui offre les techniques d'acquisition et de traitement de données.
- **La photogrammétrie** : qui explique des photographies aériennes.
- **La géodésie** : qui fait des localisations très précises.
- **La mathématique** : qui met à la disposition des spécialistes en Systèmes d'Informations

Géographiques les différentes méthodes de calcul matriciel, de calcul différentiel et Intégrale, de trigonométrie, de géométrie, d'interpolation et d'extrapolation des courbes.

- **La statistique** : qui offre de la possibilité d'analyse et d'interprétation des mesures.
- **L'informatique** : qui permet de faire l'infographie et la conception et de réaliser des Bases de données.
- **Le génie civil**: qui est liée aux applications en transport et en génie urbain [11].

III.9.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principales informations du SIG. Un SIG est un outil informatique permettant de d'intégrer, de gérer, de traiter et de représenter sous forme de cartes (5A) toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent. Les outils SIG les plus couramment utilisés automatisent les tâches qui étaient auparavant effectuées manuellement, par exemple, compiler de nouvelles cartes en les superposant ou découper physiquement des cartes en morceaux représentant des zones d'étude spécifiques, puis modifier leur projection.

Le chapitre suivant aura pour détermination de technique d'extraction de modèle permet défini la planification.

Chapitre IV

Localisation et caractérisation des ouvrages de captage dans la zone d'étude

IV.1 Présentation des bases de données :

Les bases de données géographiques sont les outils opérationnels qui permettent d'organiser et de gérer l'information géographique sous forme numérique. Ce sont des ensembles structurés de fichiers décrivant les objets ou phénomènes localisés sur la Terre (avec leurs attributs et leurs relations nécessaires à la modélisation de l'espace géographique).

Ces ensembles sont munis d'un système de gestion permettant de les tenir à jour, de les archiver et de les diffuser.

Les bases de données constituent le socle sur lequel s'appuient les systèmes d'information géographique, qui analysent et exploitent les données pour en tirer des informations utiles à la décision.

IV .2.Types de bases données :

IV.2.1.Une base de données graphique : constituant le fond de carte et contenant des informations localisées. Le type de fichier que le logiciel est capable de lire dépend des systèmes de gestion de données graphiques avec lesquels il est compatible. On distingue deux modes de représentation de l'information localisée :

_ **Le mode vecteur :** les localisations sont représentées par des points, chaque point disposant de coordonnées bi ou tridimensionnelles. Voici quelques exemples de format vecteur : ASCII, ARC/INFO, ArcView Shape, BIL, DXF, DXF3D, GMT, IDRISI, MOSS, MapInfo MIF, TIGER, VRML, etc.

_ **Le mode raster** (ou maillé ou matriciel) : les informations sont représentées par une grille régulière de points, chaque point étant caractérisé par sa position sur la grille et par une valeur représentant le phénomène à stocker. Voici quelques exemples de format raster : ARC/GRID, GIF, JPEG, BMP, GMT, TIF, PNG, E00, etc.

Il faut également savoir que tous les logiciels ne sont pas capables de lire ces deux modes de représentation, le plus souvent un logiciel ne peut lire que les formats vecteurs. De plus,

certain logiciels possèdent des extensions permettant de convertir le format raster en format vecteur : c'est la vectorisation.

IV.2.2• Une base de données attributaire associée à la base de données graphique, base sur laquelle l'utilisateur effectuera une analyse afin d'aboutir à des résultats (ex : nom d'une route, nombre d'habitants d'un logement, etc.). Là encore, le type de fichier que le logiciel est capable de lire dépend des SGBD avec lesquels il est compatible : par exemple un logiciel peut être compatible avec Access ou Excel.

IV.3 Caractéristiques de la zone d'étude

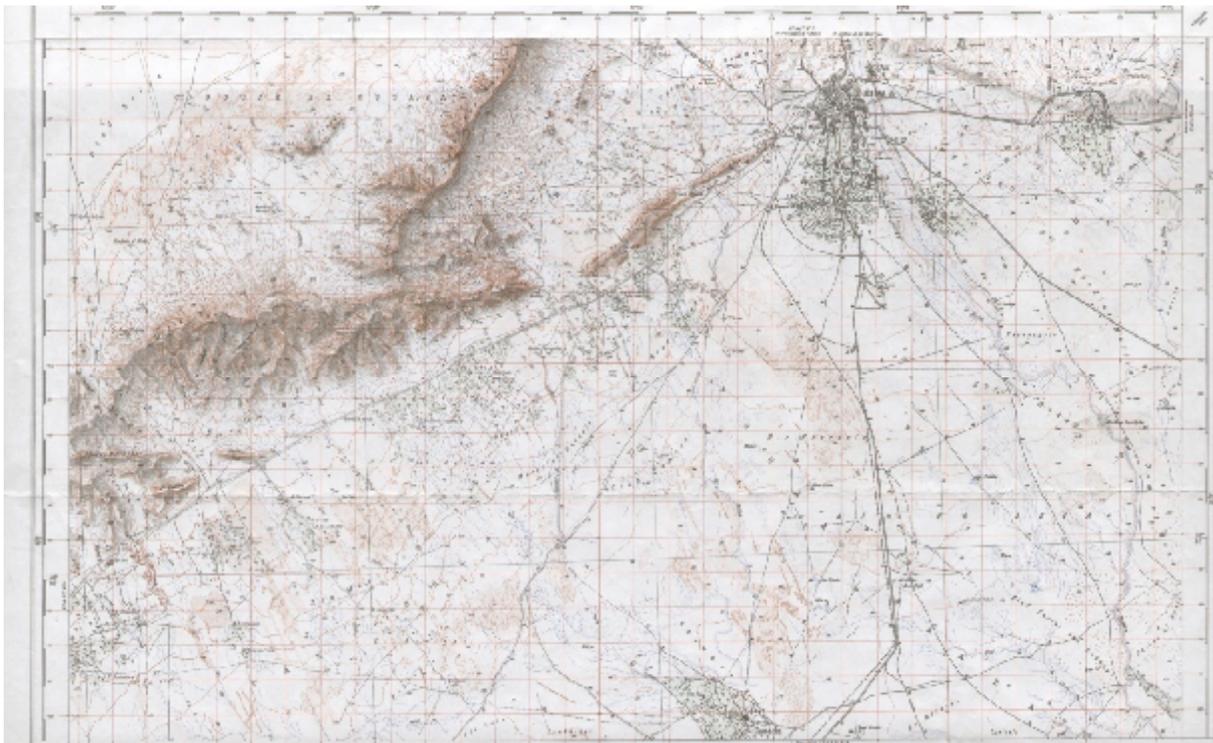


Figure IV .1 : Carte géologique de Biskra (18)

La roche représente le réservoir des eaux souterraines. De ce fait, elle influence leur qualité et joue un rôle important dans le mode d'acquisition du chimisme. La connaissance de la nature lithologique des terrains étudiés permet d'expliquer certains paramètres chimiques des eaux qui s'y trouvent. Par ailleurs, une bonne connaissance des roches de l'aquifère et de la nature lithologique des roches de recouvrements nous donne des renseignements sur la démarche à suivre pour l'établissement des périmètres de protection. La géologie reste un élément clé de toutes études des roches souterraines.

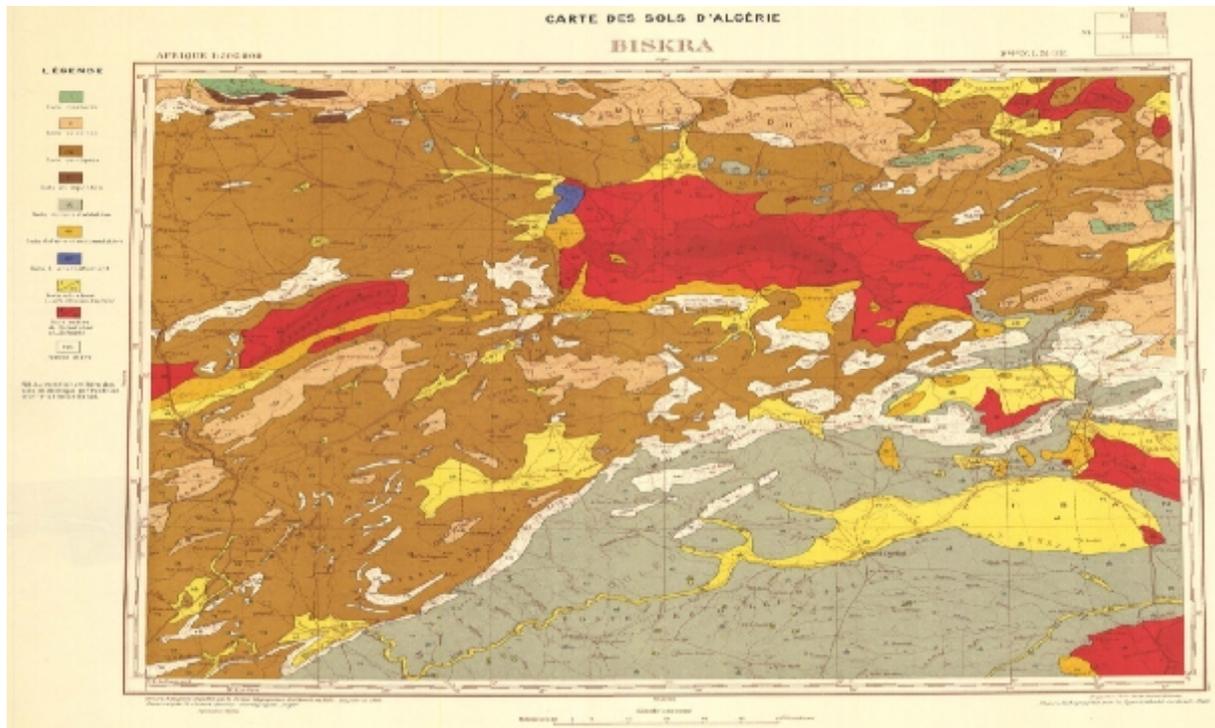


Figure IV.2 .Carte des sols de Biskra (direction hydraulique Biskra)

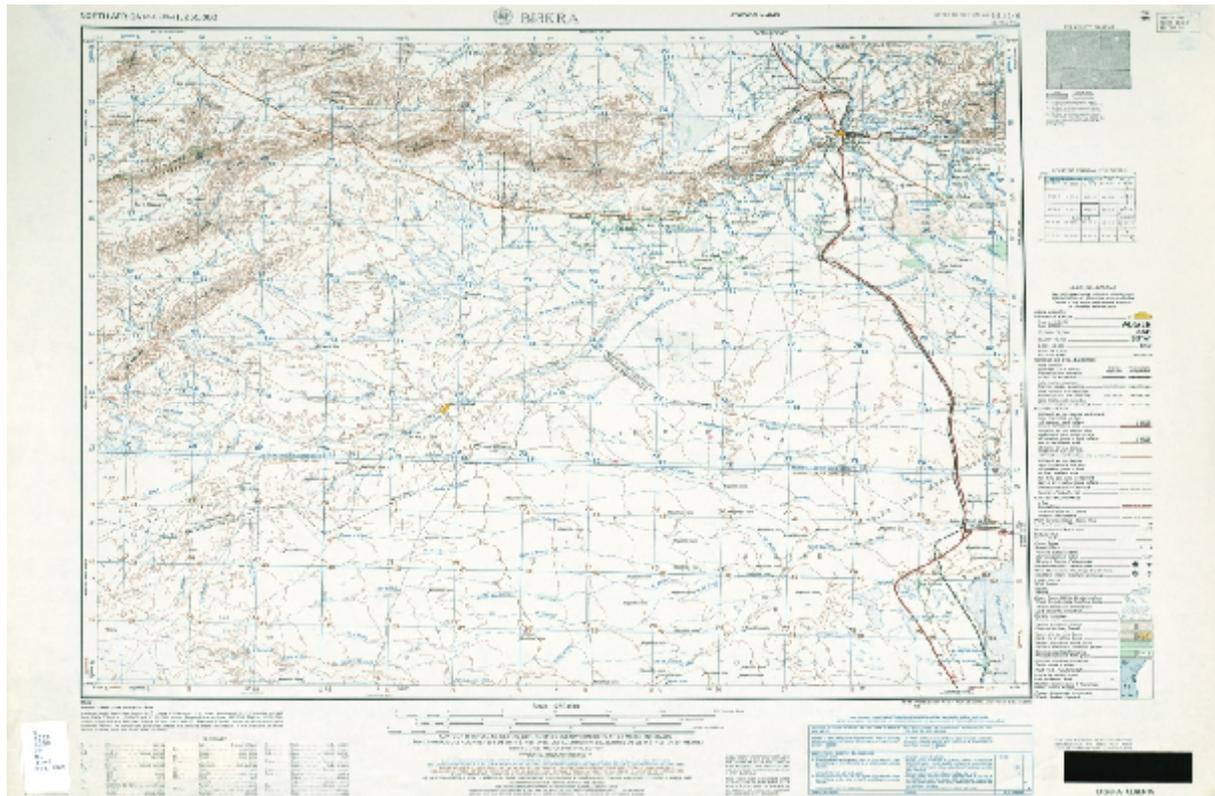


Figure IV .3. Carta de distribution de cours d'eau BISKRA (18)

IV.3.1. Caractéristiques des ouvrages de captages (les forages) :

IV.3.1.1. Champ Captant Externe :

IV.3.1.1.1. Champ Captant Oued Hai :

Le champ captant de l'oued Biskra contient 12 forages qui alimentent trois zones sont : centre-ville, El-Alia nord et zone ouest (Hai).

Le champ captant de l'oued Biskra est situé au nord de la ville de Biskra sur une région saharienne caractérisée par une forme généralement plate et climat semi-aride, les coordonnées géographiques (X'Y) sont :

X varie de 777.750 à 778.210 m

Y varie de 180.150 à 181.100 m

Les altitudes des courbes topographique varie de 130 à 150 m. la surface de champs captant comporte les treize forages ne dépasse pas 1.5 Km²

Ils sont alimentés par une nappe artésienne très riche en eaux souterraines et les rabattements sont mesurés après un essai de pompage continu [1].

IV.3.1.1.2. Champ Captant EL-MEGLOUB

Dans ce champ, il est implanté 9 forages plus récent que précédemment 8-23 ans, mais contrairement ils sont plus profonds allant jusqu'au 200 m.

La totalité de ces forages, desservent la ville de Biskra à partir d'un réservoir de 500 m³ servant comme une station collectrice, à travers un réseau d'adduction de 38 Km à l'exception des 2 forages desservant les localités de Choucha et de Hadjeb-ville.

Sur le plan qualité, et vu la profondeur importante, l'eau de ce champ présente des caractères médiocres (eaux dures)[1].

IV.3.1.2 Champ Captant interne :

Ce champ comporte 18 forages implantés selon les besoins à l'intérieur de la ville de Biskra, avec une profondeur varie entre 50 – 160 m.

Ces forages desservent directement dans le réseau de distribution, produisant une eau de mauvaise qualité (eau salées)[1]

. Tableau: Caractéristiques de d'eau forage (17) (f zone ouest1.2.3 et surprissue)

Qualité eau de forage

Nom du forage: F zone ouest 1

Location oued z'mor

Débit:21 l/s

localités alimentées:biskra

parametres année	Minéralisation exprimée en conductivité en µS/cm	Nitrates en mg/lde NO ₃	TH en °F	Chlorures en mg/l	Sulfates en mg/l	Fer en mg/l	Autres préciser
2009	3770	2,89	128	539	192	0,21	/
2010	3780	2,3	129	541	196	0,02	/
2011	4100	2,19	135	428	188	0	/
2012	3380	2,19	123	388	148	0	/
2013	/	/	/	/	/	/	/

Qualité eau de forage

Nom du forage: F F zone ouest 2

Location oued z'mor

Débit:8 l/s

localités alimentées:biskra

parametres année	Minéralisation exprimée en conductivité en µS/cm	Nitrates en mg/lde NO ₃	TH en °F	Chlorures en mg/l	Sulfates en mg/l	Fer en mg/l	Autres préciser
2009	3270	2,59	115	383	150	0,09	/
2010	3350	1,28	120	386	152	0	/
2011	3430	3,12	140	370	124	0,1	/
2012	3690	3,12	134	388	124	0	/
2013	3770	1,26	131	420	175	0	/

Qualité eau de forage

Nom du forage: FF zone ouest 3

Location :oued z'mor
localités alimentées:biskra

Débit:25 l/s

parametres année	Minéralisation exprimée en conductivité en µS/cm	Nitrates en mg/l de NO ₃	TH en °F	Chlorures en mg/l	Sulfates en mg/l	Fer en mg/l	Autres préciser
2009	3840	3,92	111	690	139	0,16	/
2010	3910	4,12	113	605	150	0	/
2011	3790	2,35	117	576	127	0	/
2012	4100	2,35	137	576	177	0	/
2013	/	/	/	/	/	/	/

Qualité eau de forage

Nom du forage: F Surpissue

Location :oued z'mor
localités alimentées:biskra

Débit:11 l/s

parametres année	Minéralisation exprimée en conductivité en µS/cm	Nitrates en mg/l de NO ₃	TH en °F	Chlorures en mg/l	Sulfates en mg/l	Fer en mg/l	Autres préciser
2009	4070	2,32	100	685	145	0	/
2010	4150	3,45	110	705	147	0,1	/
2011	4700	2,42	118	530	142	0	/
2012	4290	2,42	112	781	141	0	/
2013	4060	2,3	138	542	201	0	/



Figure IV .4. Localisation le Forage (f zone ouest1.2.3 et surprissue)

IV 4. Résulta d'analyse d'eau forage

IV 4.1. Résulta d'analyse d'eau forage (f zone ouest1.2.3 et surprissue)

Forage (f zone ouest1)

- Pour le forage (f zone ouest1) la consécration de nitratas ne de passe le limite admissible recommandée qu'est a l'utilisation excessive de engrais est de phosphatés et azoté pesticide
- La concertation fer dans Léau de forage (f zone ouest1) est aux présentes bactéries (ferro bactéries) qui proviennent de équipement de forage tels que

Forage (f zone ouest2)

- Pour le forage (f zone ouest2) la consécration de nitratas ne de passe le limite admissible recommandée qu'est a l'utilisation excessive de engrais est de phosphatés et azoté pesticide
- La concertation fer dans Léau de forage (f zone ouest2) est aux présentes bactéries (ferro bactéries) qui proviennent de équipement de forage tels que
- Le goutte eau salin de ce forage

Forage (f zone ouest3)

- Pour le forage (f zone ouest2) la consécration de nitrates ne de passe le limite admissible recommandée qu'est a l'utilisation excessive de engrais est de phosphatés et azoté pesticide
- La concertation fer dans Léau de forage (f zone ouest2) est aux présentes bactéries (ferro bactéries) qui proviennent de équipement de forage tels que
- Le goute salin de cette eau

Forage (f surprissue) :

- Pour le forage (f zone ouest2) la consécration de nitrates ne de passe (2.3 -3.45) le limite
- et admissible recommandée qu'est a l'utilisation excessive de engrais est de phosphatés et azoté pesticide
- La concertation fer dans Léau de forage (f zone ouest2) est aux présentes bactéries (Ferro bactéries) qui proviennent de équipement de forage tels que
- Le goute salin de cette eau

Tableau: Caractéristiques de d'eau forage (17)

Qualité eau de forage

Nom du forage: 1- Novembre

Location :hisra

Débit:13 l/s

localités allmantéocslidhar

parametres année	Minéralisation exprimée en conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$	Nitrates en mg/l/de NO_3^-	TH en °f	Chlorures en mg/l	Sulfates en mg/l	Fer en mg/l	Autres préciser
2009	6070	/	142	867	194	0	/
2010	6580	/	172	988	102	0	/
2011	6200	4,12	180	1110	120	0	/
2012	6520	4,14	180	1083	120	0	/
2013	6670	4,42	183	1043	160	0	/

Qualité eau de forage

Nom du forage: F.RASS EL GUERIA 2

Location :biskra

Débit:21 l/s

localités alimantées:centre biskra

année	parametres	Minéralisation exprimée en conductivité en µS/cm	Nitrates en mg/l de NO ₃	TH en °F	Chlorures en mg/l	Sulfates en mg/l	Fer en mg/l	Autres préciser
2009		1120	/	115	655	110	0	/
2010		4510	/	110	610	121	0	/
2011		1580	3,05	147	731	140	0	/
2012		4810	3,04	147	732	148	0	/
2013		4360	4,18	117	715	172	0	/

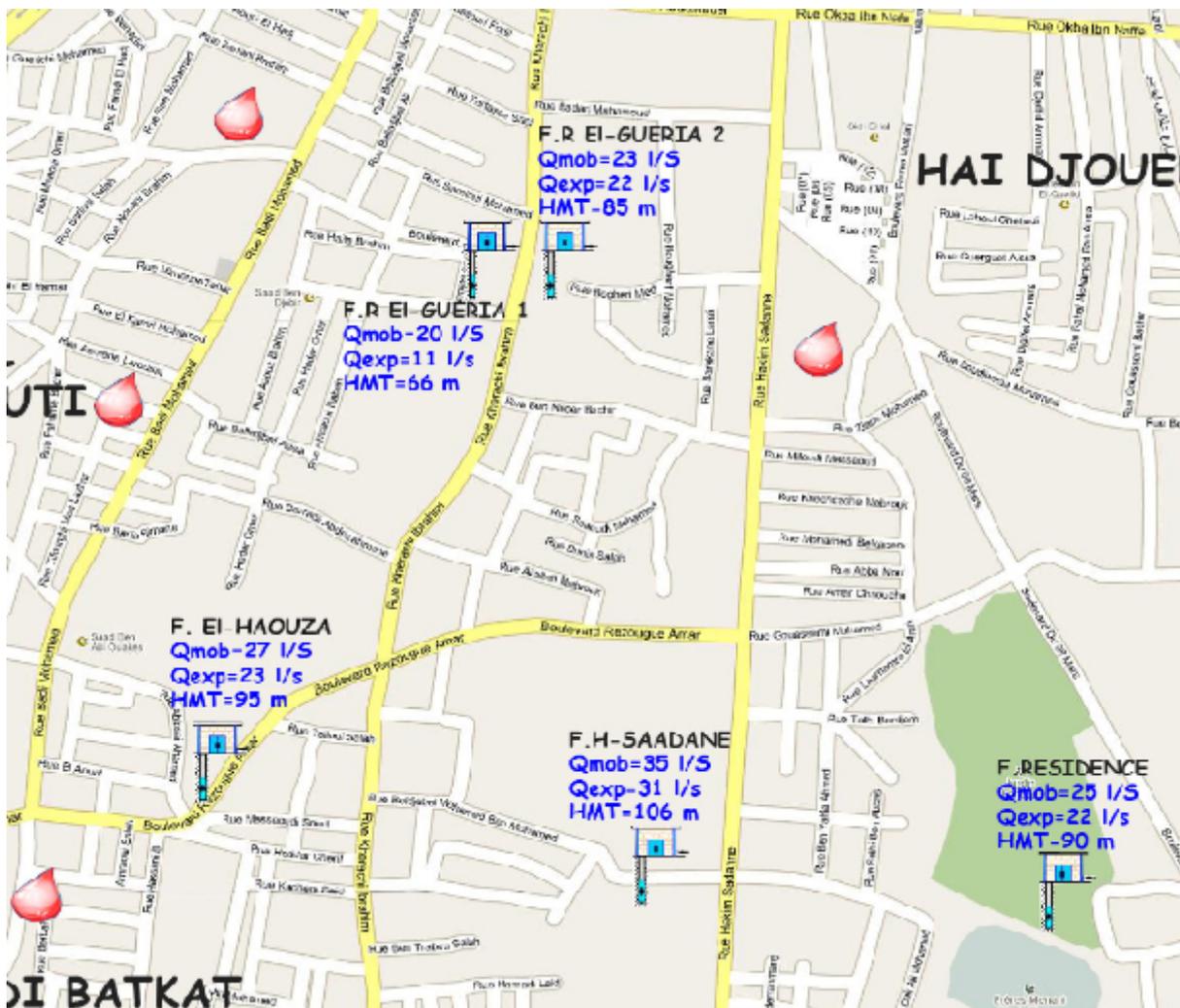


Figure IV .6. Localisation de forage :(f.R .Gueria .1.2)

Figure IV .8. Localisation de forage :(f.H. Saadane)

IV 4.5.Résultats d'analyse d'eau forage : :(f. H SAADANE)

- Pour le forage (f.H SAADANE) a consécration on de nitrates ne de passe (2.3 -3.45) le limite
- et admissible recommandée qu'est a l'utilisation excessive de engrais est de phosphatés et azoté pesticide
- Le gout de l'eau de forage salin par s'que en excessive de chlorures.

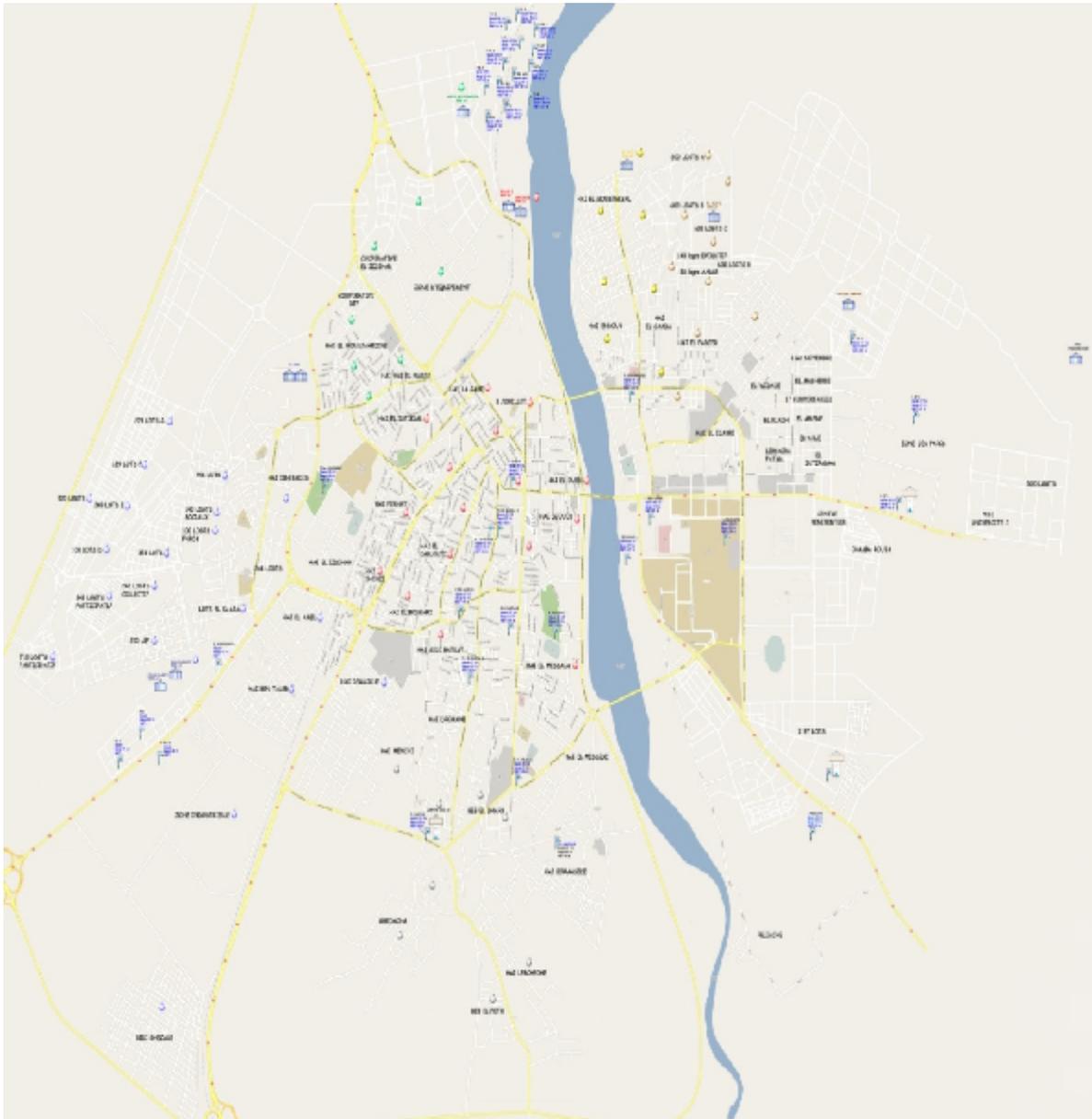


Figure IV .9. Localisation de forage d'eau en la zone BISKRA

(source A.D.E Biskra)

IV 5.CONCLUSION :

Les forages d'eau de captage destinés à la consommation journalier sont caractérisés par une qualité acceptable à l'exception de quelques forages se trouvant près de la zone industrielle. Le forage d'eau de captage eau en présente d'après les analyses de l'eau da ville **BISKRA** la concentration très élevée en chlorures et sulfatas dans cette eau entraîmé une augmentation de la minéralisation totale de l'eau.

Conclusion générale

La ville de Biskra se trouve au sud de l'atlas saharien, à la terminaison ouest des Aurès, au sud-est algérien. Elle possède un climat aride à hyperaride selon les mois de l'année. La moyenne des précipitations annuelle est de l'ordre 134 mm mal réparties sur toute l'année et les températures atteignent 21.6°C avec une forte variation saisonnière.

L'évapotranspiration potentielle calculée par la méthode de TURC est estimée à plus de 2540.85 mm par an. La totalité des précipitations s'évapore marquant ainsi un déficit sur toute l'année.

Une bonne connaissance des mécanismes de transfert est fondamentale pour aider les décideurs à préserver de façon durable la ressource d'eau souterraine et à effectuer les arbitrages qui s'imposent : étendue des périmètres de protection, Les modalités et temps de transfert des polluants sont très variables selon les types de polluants, selon les sols et font appel à trois processus distincts : les caractéristiques des sols et leur humidité, les réactions chimiques des molécules avec l'eau et le milieu, l'activité microbienne. Ainsi, une nappe peut être protégée pour un type de pollution et pas contre une autre.

L'alimentation en eau potable de la ville de Biskra est assurée par le champ captant d'oued Biskra, champ captant d'El Megloub et quelques forages à injection directe dans le réseau du centre-ville. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de consommation de la ville de Biskra exigent un traitement plus au moins poussé (adoucissement par exemple) avant qu'elles ne soient chlorées et distribuées aux usagers.

Les nappes sont dotées naturellement d'un moyen de protection dit "pouvoir épurateur du sol". Ce pouvoir est étroitement lié à la fois à la nature lithologique du sol et de la composition chimique ou organique du polluant. Cette qualité ne sera pas suffisante et ne jouera plus son rôle dans le cas où la pollution est importante.

Après identification des différents paramètres, nous avons exploité un programme de simulation.

Les résultats issus de cette simulation permettent le traçage de plusieurs cartes (piézométrie, vitesse et sens d'écoulement avec le déplacement du polluant) ainsi que la détermination de la localisation et caractéristiques de forage

Après application sur un forage, nous avons pu tracer un la localisation et caractéristiques avec différentes zone de la ville de Biskra.

sur les forages Les résultats peuvent par la suite être exploités pour l'ensemble du champ captant étudié.

Les forages d'eau de captage destinés à la consommation journalière sont caractérisés par une qualité acceptable à l'exception de quelques forages se trouvant près de la zone industrielle. Le forage d'eau de captage eau en présente d'après les analyses de l'eau da ville BISKRA la concentration très élevée en chlorures et sulfatas dans cette eau entrainé une augmentation de la minéralisation totale de l'eau

Références bibliographies :

- [1]- Mémoire de fin d'étude (utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG-AEP) pour la gestion optimale du réseau d'AEP de la Ville de Biskra) université Mohamed khider Biskra 2013
- [2] - Mémoire de fin d'étude (VERS L'ETABLISSEMENT DES PERIMETRES DE PROTECTION DES CAPTAGES D'EAUX SOUTERRAINES DESTINEES A L'A.E.P. DE LA VILLE DE BISKRA) université Mohamed khider Biskra 2011
- [3]- **Journal officiel N° 30/83**; (Juillet 1983), Code de l'eau en Algérie.
- [4]- **Journal officiel N° 60/05**;(September2005), Code de l'eau en Algérie.
- [5]- **Direction de la planification et d'aménagement urbanisme**; (2009),
- [6]**Journal officiel N° 51/00**;(Juillet 2000)
- [7]- **Guergazi S. et Achour S**; Larhyss Journal, 4 (2005) 119-127
- [8] **Thierry BUSSARD** (2005) Methodologies de dimensionnement des zone de protection de captages d'eau souterraines contre les polluants THÈSE DOCTEUR l'Université de Lausannede nationalité suisse et originaire de Gruyères (FR)
- [9]- **EL BENNOURY A**, (Mars2002), Protection des captages d'eau souterraine destines à l'alimentation humaine, (Revue H.T.E.N° 122-.ISSN)
- [10]- **Messameh A**, (2011), Analyse des problèmes couplés des écoulements souterrains. Simulation numérique et géostatistique, étude de cas de la région de Biskra/ (Doctorat en sciences de l'université MOHAMED Kheidar Biskra).
- [11]**Tebourbi Riadh**, « Cours SIG », École Supérieure des communications de Tunis, Tunisie,2007
- [12] <http://logiciels-libres-cndp.ac-versailles.fr/>
- [13] **Élisabeth HABERT**, «Qu'est ce qu'un système d'information géographique ? », Institut derecherche pour le développement, France, 2000
- [14] **Auteur: Christine C. de** <http://sig-pour-tous.forumactif.com>
Tutoriel protégé par licence Creative Commons- utilisations
- [15] **Jean-Raphaël Clastot/ Eric Ung - TER SID/SIG – 2008**
- [16] <http://www.madoxav.fr/wordpress/wp-content/uploads/file/Datamining.pdf>
- [17] **Document en (ADE)**
- [18] **Document** direction hydraulique Biskra