
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCCEN



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : eau sol et Aménagement

Thème

**LA CARTOGRAPHIE DE VULNERABILITE ET DU RISQUE DE
POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE GROUPEMENT
URBAIN DE TLEMCCEN**

Présenté par

FELLAH HALIMA SAADIA

Devant le jury composé de :

Debbal Z.	<i>Maître Assistante</i> Chargée de Cours – Université de Tlemcen	Président
Adjim F.	<i>Maître de Conférences classe A</i> – Université de Tlemcen	Encadreur
Adjim M.	<i>Maître de Conférences classe A</i> – Université de Tlemcen	Co-encadreur
Chiboub F.A.	<i>Professeur</i> de département d'hydraulique – Université de Tlemcen	Examineur
Fandi W.	<i>Maître Assistante</i> Chargée de Cours – Université de Tlemcen	Examineur

Année universitaire 2011-2012

Dédicace

Je dédie ce modeste travail avec toute mon affection aux êtres qui me sont les plus chers au monde « mes parents »

A mes chers frère et sœur: Othmane et Nassima.

A mon grand-père Mohamed et ma grand-mère Djemaa.

A mon grand-père El Miloud et sa femme Rachida.

A mes oncles maternel et leurs familles respectives : Ahmed, Mohamed, Belkacem, Abdelmadjid, Nesreddine et Abdelkhalid.

A mes tantes maternelles et leurs familles respectives : Fatna, Khadidja, Mansoriah, Malika et Latifa.

A mes oncles paternel en France et leurs familles respectives : Abbes, Abou bekr, Hamza, Mostapha et sa famille en Algérie.

A mes tantes paternelles en France et leurs familles respectives : Naima, Zahra, Khadidja, Halima, Houria et Fatima

A mes amies surtout : Amina et sa fille Narjiss, Lamia, Samia, Karima, Sarah, Nadjet, Imane, Saliha et sa famille.

Et aussi a mes chères cousines : Fatima, Amel, Rabia, Iman et Hiem.

A toute ma promotion 5^{ème} année Hydraulique (option : ESA) et tous ceux qui m'ont aidés à réaliser ce modeste travail.

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier Dieu pour m'avoir inspiré la volonté et le courage d'acheminer ce travail jusqu'à la fin.

Mes remerciements vont d'abord à mes encadreurs Mme Adjim F. et Mr Adjim M. qui, avec leurs expériences, m'ont guidé le long de la réalisation de ce travail. Leurs conseils et recommandations ont été précieux pour l'aboutissement de ce travail.

Je tiens aussi à remercier Melle Fandi W. et Mr Chiboub fellah A. pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce mémoire en acceptant de l'examiner. Mes vifs remerciements vont à Mr. Debbal Z. pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Je tiens aussi à remercier tous les ingénieurs de la D.H.W.T, D.S.A, D.E, D.E.M, qui m'ont aidé de réaliser ce modeste travail, en particulier Mr Hamza Chérif C.S.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'épanouissement de ce travail.

Résumé :

Le groupement urbain de Tlemcen se situe dans le nord-ouest algérien au pied des monts de Tlemcen. Il s'étend en partie sur les formations carbonatées du Jurassique supérieur, largement karstifiées lesquels représentent la principale ressource en eau souterraine de l'ouest algérien. Ces eaux souterraines karstiques sont d'une bonne qualité physico-chimique qui est destinée à l'alimentation en eau potable. Mais elle est très vulnérable au phénomène de pollution. La protection des ressources en eaux souterraines contre la pollution s'avère donc obligatoire.

Dans le cadre de ce mémoire, une cartographie de la vulnérabilité ainsi que le risque de pollution des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen a été élaborée. Pour cela l'approche européenne développée dans le cadre de Cost 620 a été utilisée. Le travail a consisté d'abord à produire une carte d'aléa élaborée à partir d'un inventaire des données disponibles actuellement sur les foyers de pollution existants dans le GUT. Le calcul de l'indice d'alea (Hi) nous a permis de classer les différents aléas rencontrés sur le GUT en cinq degrés : très faible, faible, modéré, élevé et extrême. La superposition de la carte d'aléa à la carte de vulnérabilité a permis d'établir la carte de risque de pollution à trois degrés : faible, modéré et élevé. Cette carte permet la mise en évidence des zones où les eaux souterraines karstiques risquent un danger de pollution réel.

L'établissement de cette carte a permis de constater que 80% des rejets d'eaux usées inventoriés dans la zone d'étude présentent un risque élevé, les 20 % restants présentent un risque modéré. Certains de ces rejets sont très proches des ouvrages de captage d'eaux souterraines karstiques destinés à l'A.E.P. Plus de 30 % des surfaces irriguées par les eaux usées présentent un risque élevé la surface restante présente un risque modéré. L'unité industrielle Mantal ainsi que 10% des stations service révèlent un degré de risque élevé. Aussi, il est à noter que 43 % des industries agro-alimentaires révèlent un risque modéré. Environ 50 % des accès de transports présentent un degré de risque modéré. La décharge des déchets inertes ainsi que les carrières de Koudia montrent un degré de risque modéré.

La cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines s'avère donc un document indispensable pour la protection de ces eaux et pour une meilleure orientation de l'aménagement du territoire du groupement urbain de Tlemcen.

Mot clés :

Eau souterraine, Pollution, Karst, Cartographie, SIG, Vulnérabilité, Alea, Risque, COST 620, Groupement Urbain Tlemcen.

ملخص:

تقع المجموعة الحضرية لتلمسان في سفوح جبال تلمسان شمال غرب الجزائر. حيث تمتد جزئيا في تشكيلات كربونات الجوراسي العلوي، ذات التصدعات الكثيرة و التي تمثل المصدر الرئيسي للمياه الجوفية في غرب الجزائر. هذه المياه الجوفية الكارستية لديها نوعية فيزيو- كيميائية جيدة الجودة، تستخدم لتزويد السكان بالمياه الصالحة للشرب. ولكنها حساسة جدا لظاهرة التلوث. فلذا حماية الموارد المائية من التلوث أصبحت ضرورية.

في اطار هذه المذكرة، تم رسم خرائطية الحساسية والخطورة لتلوث المياه الجوفية في المجموعة الحضرية لتلمسان. لهذا تم استخدام الطريقة الأوروبية المتطورة في إطار COST 620. اذن لانجاز هذا العمل تم انتاج خريطة المخاطرة المنجزة من خلال جرد البيانات المتاحة حاليا على تفشي ظاهرة التلوث الموجودة في منطقة الدراسة. بحيث يسمح حساب مؤشر الخطورة الذي يتيح لنا تصنيف الأخطار المختلفة في هذه المنطقة على خمسة مستويات: منخفضة جدا، منخفضة، متوسطة، عالية و عالية جدا. تطابق خريطة المخاطرة على خريطة الحساسية تسمح برسم خريطة الخطورة للتلوث على ثلاثة مستويات: منخفضة ومتوسطة وعالية. هذه الخريطة تتيح لنا تحديد المناطق التي يمكن أن تكون مهددة بخطر التلوث للمياه الجوفية الكارستية.

إنشاء هذه الخريطة تبين أن 80% من مياه الصرف التي شملها الاستطلاع في منطقة الدراسة المعرضة لمخاطر عالية، ما تبقى 20% في خطر معتدل. بعض من هذه المياه قريبة جدا من منشآت إنقاط المياه الجوفية الكارستية المخصصة لتزويد المياه الصالحة للشرب. أكثر من 30% من المساحة المروية بواسطة المياه العادمة تظهر خطورة عالية و المساحة المتبقية تمثل خطورة معتدلة. الوحدة الصناعية مونطال و 10% من محطات تزويد الوقود تظهر درجة عالية من الخطورة. أيضا لوحظ أن 43% من الصناعات الغذائية تشير إلى وجود خطورة متوسطة. ما يقارب 50% من وصول وسائل النقل لديهم مستوى متوسط من الخطورة. تصريف النفايات الخاملة و كذا محاجر الكدية تظهر درجة معتدلة من الخطورة.

الخرائطية لحساسية و خطورة التلوث للمياه الجوفية تعد اذا وثيقة أساسية لحماية هذه المياه وتحسين توجيه فريق التخطيط لمدينة تلمسان.

الكلمات المفتاحية :

المياه الجوفية، التلوث ، كارست ، خرائطية ، نظام المعلومات الجغرافية (SIG)، الحساسية ، المخاطرة ، الخطورة، 620 COST، تجمع الحضري لتلمسان.

Abstract:

The urban group of Tlemcen is located in the Algerian northwest in the pied-monts of Tlemcen. It stretches partly in the Upper Jurassic carbonate formations, largely karstified which represent the main source of groundwater in west of Algeria. This karst groundwater has a good physico-chemical quality which is intended to supply drinking water. But it is highly vulnerable to pollution. The protection of groundwater resources against pollution is therefore mandatory.

In the context of this dissertation, a vulnerability mapping and risk of groundwater pollution of the urban group of Tlemcen have been elaborated. For this, the European developed approach as part of COST 620 was used. The first task was to produce a hazard map elaborated from an inventory of currently available data on potential pollution existing in the UGT. The calculation of the hazard's index (H_i) allowed us to classify the different hazards found on the UGT in five levels: very low, low, moderate, high and extreme. The superposition from the hazard map to the vulnerability map allowed to realize the map of pollution risk at three levels: low, moderate and high. This map allows the demonstration of areas that karst groundwater pollution is a real danger.

The establishment of this map showed that 80% of wastewater rejects inventoried in the study area present a high risk, the remaining 20% present a moderate risk. Some of these rejects are very close to the karst groundwater drillings intended to the SDW. More than 30% of the area irrigated by wastewater present a high risk, the remaining surface presents a moderate risk. The industrial unit Mantal and only 10% of fuel loading stations show a high degree of risk. Also, it is noted that 43% of food industry indicate a moderate risk. Approximately 50% of transport accesses present a moderate level of risk. The discharge of inert wastes and Koudia's careers show a moderate degree of risk.

The vulnerability mapping and risk of pollution of groundwater is considered as an essential document for the protection of these waters and for a better orientation of the development planning of the Tlemcen's urban group.

Key words:

Groundwater, pollution, Karst, Mapping, GIS, vulnerability, Hazard, Risk, COST 620, Tlemcen.

Table des matières

Dédicace	
Remerciements	
Résumé	
Table des matières	
Abréviation	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I :

Généralité sur les eaux souterraines

I.1. L'EAU SOUTERRAINE	3
I.2. LA DISPONIBILITÉ DE L'EAU DANS LE MONDE	5
I.2.1. Généralité	5
I.2.2. Les ressources souterraines en Algérie.....	7
I.3. L'AQUIFÈRE	7
I.3.1. Définition	7
I.3.2. Les types d'aquifère	8
3.1.1. Aquifère à nappe libre	8
3.1.2. Aquifère à nappe captive	8
3.1.3. Aquifère à nappe semi captive ou à drainance	8
I.4. MENACES À LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES	9
I.5. LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES	11
I.5.1. Généralités	11
I.5.2. Différents types de pollution	12
5.2.1. Les polluants physiques	12
5.2.2. Les polluants chimiques	12
5.2.3. Les polluants organiques, Microorganismes	16
I.6. L'ORIGINE ET SOURCE DE POLLUTION	17
I.6.1. Selon la nature des polluants	21
I.6.2. Selon la répartition géographique	22
I.6.3. En fonction de la réparation dans le temps	22
I.7. LES CONSEQUANCES DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES SUR LA SANTE	22
I.8. LES MALADIES A TRANSMISSION HYDRIQUES	23
I.8.1. Le choléra	24
I.8.2. Salmonellose	24
8.2.1. Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes	24
8.2.2. Les gastro-entérites	25
I.8.3. Hépatites virale	25
I.8.4. Poliomyélite	25
I.8.5. La dysenterie	25
I.9. CONCLUSION	25

CHAPITRE II :

La vulnérabilité des eaux souterraines et risque de pollution

II.1. LA VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES :	28
II.1.1. Définition	28
II.1.2. Les types de la vulnérabilité	29
1.2.1. La vulnérabilité intrinsèque	29
1.2.2. La vulnérabilité spécifique	30
II.1.3. Les critères de vulnérabilité	31
1.3.1. Critères relatifs au sol.....	31

Table des matières

1.3.2.	Critères relatifs à la zone non saturée	31
1.3.3.	Critères relatifs à la zone saturée	32
1.3.4.	Critères communs à la zone non saturée et à la zone saturée	33
II.2.	LA CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE	34
II.2.1.	Définition	34
II.2.2.	L'échelle de représentation.....	35
II.2.3.	Les méthodes de cartographie de la vulnérabilité à la pollution	36
II.2.4.	Les différentes méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité à la pollution 37	
2.4.1.	La méthode DRASTIC	37
2.4.2.	La méthode E.P.I.K	39
2.4.3.	La méthode R.I.S.K.E.....	40
2.4.4.	La méthode R.I.S.K.E.2	43
2.4.5.	La méthode G.O.D.	45
2.4.6.	La méthode S.I.N.T.A.C.S.	47
2.4.7.	La méthode DISCO	49
2.4.8.	La méthode C.O.P.	50
2.4.9.	La méthode P.I.	52
2.4.10.	La méthode A.V.I.	54
2.4.11.	L'approche européenne (O.C.P.K.).....	55
II.3.	LA PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES	56
II.3.1.	Les périmètres de protection de captage d'eau	57
II.3.2.	Les types de périmètre de protection	58
3.2.1.	Le périmètre de protection immédiate	58
3.2.2.	Le périmètre de protection rapprochée	58
3.2.3.	Le périmètre de protection éloignée	59
II.3.3.	Les critères de délimitation des zones de protection	60
3.3.1.	Le pouvoir épurateur du sol	60
3.3.2.	Le rabattement	61
3.3.3.	Le temps de transfert	61
3.3.4.	La distance	61
3.3.5.	Les limites d'écoulement	61
II.4.	LE RISQUE DE POLLUTION	61
II.5.	CONCLUSION	63

CHAPITRE III

Présentation de Groupement Urbain de Tlemcen-Mansourah-Chetouane et Beni Mester (GUT)

III.1.	LA PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA ZONE D'ETUDE	65
III.1.1.	La situation géographique	65
1.1.1.	La commune de Tlemcen	65
1.1.2.	La commune de Chetouane	66
1.1.3.	La commune de Mansourah	66
1.1.4.	La commune de Beni Mester	66
III.1.2.	La population et son évolution	68
1.2.1.	La commune de Tlemcen	69
1.2.2.	La commune de Chetouane	69
1.2.3.	La commune de Mansourah	70
1.2.4.	La commune de Béni Mester	70
III.1.3.	Aperçue sur le climat de la zone.....	70
1.3.1.	La température	71
1.3.2.	Les précipitations	71
III.1.4.	Contexte hydrographique	73
III.1.5.	L'étude géologique	73
1.5.1.	Les tufs calcaires	74

Table des matières

1.5.2.	Eboulis et dépôts	74
1.5.3.	Alluvions :	74
1.5.4.	Les travertins	75
1.5.5.	Les grés tortoniens	75
1.5.6.	Les marnes et les grés helvétiques	75
1.5.7.	Les marno-calcaires de « Raourai » (Kimméridgien)	75
1.5.8.	Les dolomies de Tlemcen (Kimméridgien)	76
1.5.9.	Calcaires bleus (Kimméridgien)	76
1.5.10.	Les grés de Boumediene Séquaniens	76
III.1.6.	Contexte hydrogéologique	79
III.2.	LA DESCRIPTION DE LA PRODUCTION EN EAU	81
III.2.1.	La production en eaux superficielles	81
2.1.1.	Le Barrage Meffrouche	82
2.1.2.	Le barrage Beni- Bahdel.....	83
2.1.3.	Le barrage Sekkak	84
III.2.2.	La production en eaux souterraine	85
2.2.1.	Les forages	86
2.2.2.	Les sources	87
2.2.3.	Les puits	87
III.3.	L'ETAT DE L'ASSAINISSEMENT DANS LA ZONE D'ETUDE	88
III.3.1.	Les rejets d'eaux usées	89
3.1.1.	La commune de Tlemcen	90
3.1.2.	La commune de Mansourah	95
3.1.3.	La commune de Chetouane	96
3.1.4.	La commune de Beni Mester	98
III.3.2.	Impact sur les eaux souterraines	99
III.4.	L'OCCUPATION DU SOL DANS LE GUT	100
III.4.1.	Infrastructure de développement	100
4.1.1.	Les déchets ménagers	100
4.1.2.	Les stations de service	109
4.1.2.1.	Présentation	109
4.1.2.2.	Impact sur les eaux souterraines	110
4.1.3.	Le transport	113
III.4.2.	Les activités industrielles	115
4.2.1.	Les carrières	115
4.2.2.	Les rejets des unités industrielles	118
4.2.3.	Les déchets hospitaliers	122
4.2.4.	Les déchets de la STEP	125
4.2.5.	Les abattoirs	127
III.4.3.	Les activités agricoles	128
4.3.1.	L'agriculture	128
4.3.2.	L'élevage	130
III.5.	CONCLUSION	133
CHAPITRE IV :		
Application sur le groupement urbain de Tlemcen		
IV.1	LA CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE A LA POLLUTION DE LA ZONE D'ETUDE.....	134
IV.1.1	Présentation et adaptation de la méthode au secteur étudié	134
IV.1.2	Les principaux résultats obtenus	135
IV.2	LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE POLLUTION DE LA ZONE D'ETUDE ...	136
IV.2.1	L'évaluation d'aléa	136
2.1.1.	Etape 1: Définition et inventaire des aléas	137
2.1.2.	Etape 2: Données sur les différents foyers de pollution	142
2.1.3.	Etape 3 : Pondérations des aléas.....	146

Table des matières

2.1.4.	Étape 4: Interprétation graphique	147
2.1.5.	Étape 5: Techniques de cartographie	152
2.1.6.	Étape 6: Évaluation des données	152
2.1.7.	Étape 7: Production de la cartographie des aléas	152
IV.2.2.	L'évaluation du risque de pollution	153
IV.2.3.	Discussion	157
2.3.1.	La commune de Chetouane	157
2.3.2.	La commune de Mansourah	159
2.3.3.	La commune de Tlemcen	160
IV.3.	CONCLUSION	162
	CONCLUSION GENERALE	164
	BIBLIOGRAPHIE	167
	ANNEXE	
	Annexe A: La méthode DRASTIC	179
	Annexe B : Evolution de la population par dispersion.....	180
	Annexe C : Les fiches techniques des barrages	182
	Annexe D : Les STEP dans le GUT.....	184
	Annexe E: Détails de réseau d'assainissement et les différents points de rejet dans les différentes communes de la zone d'étude	185
	Annexe F : L'irrigation par les eaux usées.....	188
	Annexe G: Les valeurs de poids d'aléas	189
	Annexe H : Les symboles de la carte d'aléa	191

Abréviation :

A.B.H. : Agence de Bassin Hydrographie

A.E.P : Alimentation En Potable

A.N.A.T : Agence National d'Aménagement de Territoire

A.N.R.H : Agence National des Ressources Hydriques

A.S.P.E.W.I.T : Association pour la Sauvegarde et la Préservation de l'Environnement de la Wilaya de Tlemcen

C.E.T : Centre d'Enfouissement Technique

C.H.U. : Centre Hospitalier Universitaire

C.W. : Chemin de la Wilaya

D.E : Direction de l'Environnement.

D.E.M : Direction des Energies et des Mines

D.H.W.T : Direction d'Hydraulique de la Wilaya de Tlemcen.

D.S.A : Direction des Services Agricole.

DBO : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

E.Coli : Escherichia Coli

E.N.T.C.: Entreprise nationale des télécommunications.

G.I.P.L.A.I.T. : Groupe Industriel des Productions laitières

G.U.T. : Groupement Urbain de Tlemcen

H.I. : Hazard index

I.N.E.R.I.S. : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

M.E.S. : Matière En Suspension

M.O : Matière Organique

M.T.H. : Maladie à Transmission Hydrique

MANTAL : Manufacture de Tissage d'Articles Lourds

N.E.E. : National Eau et Environnement

NO₂ : Nitrite

NO₃ : Nitrate

O.M.S : Organisation Mondial de la Santé

O.N.A : Office National d'Assainissement

P.A.W.: Plan d'aménagement de la wilaya

Abréviation :

R.N. : Route National

S.I.G. : Système d'Information Géographique

S.T.E.P. : Station d'Épuration

SOGREAH : EURL aménagement et environnement.

SOITEX : Soieries, Textile

U.A.B.B.T. : Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen

U.R.B.A.T. : Urbanisme Tlemcen

Z.H.U.N. : Zone d'Habitat à d'Urbanisation Nouvelle

Liste des figures

Figure 1.1: Ecoulement de l'eau souterraine.....	4
Figure 1.2: Répartition des ressources en eau dans le monde en 2000	6
Figure 1.3: Les différents types de nappes.....	9
Figure 1.4: Comportement des produits dans le milieu souterrain.....	15
Figure 1.5: La pollution de nappe souterraine par des solvants chlorés.....	16
Figure 1.6: Différent sources de pollution des eaux souterraines.....	18
Figure 1.7: Contamination des eaux souterraines par une décharge	22
Figure 1.8: Vibrio cholera observé en microscopie électronique à balayage.....	24
Figure 2.1: La vulnérabilité des eaux souterraines dépend généralement de la vitesse à laquelle l'eau s'infiltré dans un aquifère.	29
Figure 2.2: Les critères de la vulnérabilité intrinsèque de la méthode RISK.....	42
Figure 2.3: Modèle conceptuel des secteurs d'applications des critères de RISKE 2.....	45
Figure 2.4: Système empirique G.O.D; pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère.....	46
Figure 2.5: Paramètres de la vulnérabilité d'un aquifère discontinu fissuré adaptée par la méthode DISCO.	50
Figure 2.6: Illustration de la méthode PI.....	53
Figure 2.7: Eléments pris en considération dans la méthode de cartographie de la vulnérabilité: approche européenne	56
Figure 2.8: Périmètres de protection et Bassin d'Alimentation de Captage	58
Figure 2.9: Facteurs du risque de pollution de la nappe	62
Figure 3.1: Limite administrative de GUT	67
Figure 3.2: Evolution de la population du GUT.....	69
Figure 3.3: Variations annuelle de la pluviométrie de l'année (1979, 2009) enregistrées à la station météorologique de Meffrouche.....	72
Figure 3.4: Log lithostratigraphique synthétique des monts de Tlemcen	77
Figure 3.5: Coupe géologique simplifiée de la région de Tlemcen.....	78
Figure 3.6: Carte géologique simplifiée de la région de Tlemcen.....	78
Figure 3.7: Barrage Meffrouch.....	83
Figure 3.8: Les images de la caméra d'inspection de l'ONA (état de réseau d'assainissement de la commune de Tlemcen)	91
Figure 3.9: Rejet koudia à ciel ouvert	92
Figure 3.10: Le rejet de nouveau pôle universitaire	93
Figure 3.11: Les rejets de la communes de Mansourah	94
Figure 3.12: Station d'épuration d'Ain el houtz.....	94
Figure 3.13: Rejet de la commune de Mansourah.....	96
Figure 3.14: Oued Saf saf pollué.....	97
Figure 3.15: Rejet de la commune de chetouane.....	97
Figure 3.16: Le rejet nord de Boudjmil qui déverse dans l'Oued en plein tissus urbain.....	98
Figure 3.17: Décharge sauvage de Saf Saf	102
Figure 3.18: La station de lagunage de CET	104
Figure 3.19: Exemple de l'encombrement des poubelles dans les cités de GUT.....	109
Figure 3.20: Schéma représentant les différentes causes de pollution accidentelle dans les stations de service.....	111

Liste des figures

Figure 3.21: Le trajet des polluants dans les stations-service.....	112
Figure 3.22: Quantité d’huiles usées des moteurs des stations de lavages dans le GUT	113
Figure 3.23: La carrière de koudia	117
Figure 3.24: La carrière désaffectée	118
Figure 3.25: Quantité total annuel d’huiles	120
Figure 3.26: Rejet d’unité industriel SOITEX	122
Figure 3.27: Les quantités des déchets hospitaliers dans le GUT	124
Figure 3.28: Les lits de séchage et l’aire de stockage	126
Figure 3.29: Abattoir de Saf saf	127
Figure 3.30: Terrain irrigué par les eaux usées à partir d’un oued à proximité dans la commune de Tlemcen	128
Figure 3.31: Exemple des oueds pollués utilisé pour l’irrigation dans les communes de Tlemcen et Chetouane	129
Figure 3.32: Les fûts des pesticides entreposés à l’air libre au-dessus d’une nappe libre à Oudjlida.....	130
Figure 3.33: Les espèces ovines, bovines, caprines dans le GUT	131
Figure 3.34: Poulets de chair et pondeuses dans le GUT	132
Figure 4.1: Cartographie de la vulnérabilité des eaux karstiques de la région de Tlemcen	135
Figure 4.2: Plan de travail pour la réalisation de la cartographie de l’aléa	137
Figure 4.3: Page de couverture du logiciel.....	143
Figure 4.4: Exemple d’une page de logiciel.....	144
Figure 4.5: Schema d’illustration de procédure de la carte d’aléa	149
Figure 4.6: La carte d’aléa non classée	150
Figure 4.7: La carte d’aléa classée	151
Figure 4.8: Schéma d’illustration de la méthodologie d’évaluation du risque	155
Figure 4.9: La carte de risque de pollution.....	156
Figure 4.10: Evacuation à ciel ouvert de rejet R.25 T.....	159

Liste des Tableaux

Tableau 1.1: Estimation du volume d'eau total sur Terre.....	5
Tableau 1.2: Les caractéristiques de l'eau souterraine	10
Tableau 1.3: les différents types de pollution des eaux souterraines	17
Tableau 1.4: Sources potentielles de contamination.....	20
Tableau 2.1: Critères de vulnérabilité	33
Tableau 2.2: Les propriétés est les poids attribués aux paramètres DRASTIC	33
Tableau 2.3: Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC.....	35
Tableau 2.4: Reclassification des valeurs d'Ig en classes de vulnérabilité.....	44
Tableau 2.5: Intervalles des valeurs l'indice GOD et classes correspondantes	47
Tableau 2.6: Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS.....	43
Tableau 2.7: Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode COP.....	51
Tableau 2.8: Légende de la carte de vulnérabilité de la méthode PI.....	53
Tableau 2.9: Les catégories de vulnérabilité.....	55
Tableau 3.1: Valeurs moyennes mensuelles de la température (C°) de l'année (1998, 2000) enregistrées à la station météorologique de Meffrouch.....	71
Tableau 3.2: Différentes sources des formations géologiques.....	80
Tableau 3.3 : Données comparatives des ressources en en eaux superficielles mobilisables des barrages de Tlemcen.....	81
Tableau 3.4: Adductions dans le GUT.....	82
Tableau 3.5: Situation de l'alimentation en eau potable par commune	82
Tableau 3.6: Caractéristique de la station de Lalla Setti.....	83
Tableau 3.7: Les volumes produits année par le barrage Sekkak	84
Tableau 3.8: Volume produit par pompages des eaux souterraines.....	85
Tableau 3.9: Résultats des forages réalisés à Tlemcen	86
Tableau 3.10: Quelques forages réalisés dans le grand Tlemcen	86
Tableau 3.11: Indicateurs de l'assainissement par commune	89
Tableau 3.12: La décharge publique de la wilaya de Tlemcen	103
Tableau 3.13: Liste de décharge sauvage à travers le GUT	106
Tableau 3.14: Volumes de marchandises transportées par chemin de fer	114
Tableau 3.15: Données relatives au transport de voyageurs selon les modes.....	115
Tableau 3.16: Les carrières à travers les communes de GUT.....	115
Tableau 3.17: La quantité des huiles usées des engins des carrières de Beni Mester	116
Tableau 3.18: Stations d'épuration des eaux résiduaires industrielles.....	119
Tableau 3.19: Liste des abattoirs au niveau de GUT	128

Liste des tableaux

Tableau 4.1: Classifications des aléas.....	138
Tableau 4.2: Les catégories des aléas dans le GUT.....	141
Tableau 4.3: Liste des stations de service dans le GUT après l'exécution dans le logiciel Data Collection Sheet For Inventory Of.....	145
Tableau 4.4: Exemple de calcul H_i	147
Tableau 4.5: L'indice d'aléa H_i et les classes de H_i	148

INTRODUCTION GENERALE :

Sur la terre, l'eau est abondante mais sa répartition est très inégale. C'est une ressource naturelle limitée, indispensable à toute forme de vie et essentiellement pour le développement économique et social des pays. Malheureusement, certaines activités humaines polluent gravement les cours d'eaux, nappes phréatiques et sources d'eau potable.

L'eau souterraine, bien qu'elle soit cachée et invisible, elle est fragile et souvent considérée comme une source d'alimentation en eau potable. Elle est très vulnérable aux nombreuses sources de contamination. Sa vulnérabilité est une propriété intrinsèque des aquifères qui dépend de la sensibilité des eaux souterraines aux impacts naturels et anthropiques. L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère devient progressivement une préoccupation mondiale.

En outre, la protection et la préservation des ressources en eaux souterraines s'avèrent intéressantes, particulièrement dans les pays à climat aride et semi-aride où les ressources en eau sont rares. Ces dernières décennies, l'Algérie souffre de problème de pénurie d'eau potable suite à une forte croissance démographique et le développement urbain dans les grands centres comme le groupement urbain de Tlemcen qui entraînent le problème de détérioration de la qualité de ressource souterraine.

Ainsi, la crise d'eau potable cause l'utilisation anarchique des ressources souterraines qui est largement exploitées par forages pour l'alimentation en eau potable dans le GUT. Ce dernier est notre site d'étude car il est le plus touché par les problèmes environnementaux et la dégradation des eaux souterraines.

Dans ce mémoire, notre objectif est de réaliser une cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines dans le cadre de mieux orienter le développement urbain et la préservation des ressources souterraines du groupement urbain de Tlemcen.

Dans le chapitre I, nous introduisons un aperçu sur les notions générales de l'hydrogéologie et les différents types de pollutions qui dégradent la qualité des eaux souterraines. Ensuite, nous présentons les conséquences de pollution des eaux souterraines sur la santé humaine où nous évoquons les maladies à transmission hydrique.

Le chapitre II, nous présentons une étude bibliographique sur la cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines qui est notre objectif. Ainsi, nous citons brièvement les principales méthodes de cartographie de la

vulnérabilité qui porte l'intérêt à l'approche européenne OCPK.

Par contre dans le chapitre III, nous avons choisi comme site d'étude le groupement urbain de Tlemcen qui est une zone intéressante pour la réalisation de la carte de risque des eaux souterraines dans le but de protéger les ressources souterraines les plus menacées. Le seul aquifère intéressant dans ce travail est l'aquifère karstique qui correspondant au deux séries de formations calcaréo-dolomitiques de Tlemcen laquelle représente la principale ressource en eau souterraine de la région.

Pour arriver à notre objectif, nous avons fait donc un inventaire des données existantes et nécessaires à l'élaboration de la carte de vulnérabilité et de risques de pollutions. Cet inventaire permet de mettre en évidence l'état de lieu de GUT. Un inventaire détaillé sur les activités industrielles, agricoles et infrastructures de développement a été réalisé. Aussi l'impact de chaque aléa sur l'eau souterraine a été décrit.

Le chapitre IV est consacré à l'application de la méthodologie proposée par le Cost 620 pour l'élaboration de la cartographie du risque de pollution des eaux souterraines dans le GUT. Enfin, on termine par une conclusion générale ainsi que des recommandations.

L'eau est une ressource naturelle limitée, nécessaire à la vie et aux systèmes écologiques, et essentielle pour le développement économique et social [22].

Auparavant et jusqu'à ce jour, l'eau souterraine est menacée de pollution qui entraîne la dégradation de la qualité de l'eau, ce qui rend son utilisation dangereuse pour la santé humaine et perturbe beaucoup le milieu naturel et l'écosystème aquatique. C'est pour cela qu'il est indispensable d'étudier la qualité de l'eau capté qui doit répondre aux normes de l'O.M.S. Mais, la pollution des eaux souterraines est moins apparente, de telle sorte que la tendance générale est de la négliger (Schoeller Henri J., 1975).

Ainsi, la plupart des contaminations des eaux souterraines sont dues à l'activité humaine et aussi elle peut être liée à l'évacuation des déchets d'une manière directe ou de manière indirecte. Généralement, elles proviennent de deux catégories: les sources locales (ou ponctuelles) et les sources diffuses. Mais par le mouvement des eaux souterraines, les substances indésirables sont susceptibles de s'infiltrer à travers le sol et la zone non saturée, puis d'atteindre la nappe. Alors, l'eau souterraine va être dispersé et pollué.

Une fois les eaux souterraines contaminées sont plus difficiles à nettoyer et parfois impossibles à traiter mais les conséquences peuvent se prolonger pendant des décennies (Vernoux J.F. et al, 2010).

I.1. L'EAU SOUTERRAINE :

Les eaux souterraines sont une ressource cachée que l'on a tendance à oublier. À l'échelle du cycle hydrologique, les eaux souterraines ne représentent qu'une faible partie de toute les eaux marines et océaniques, elles représentent alors une fraction importante des eaux douces continentales (Banton O. et Bangoy L.M., 1997). Les aquifères souterrains sont la réserve majeure (97%) de l'eau douce exploitable sur les terres émergées (Schoeller Henri J., 1975). Elles constituent également une formidable ressource renouvelable, exploitée pour l'approvisionnement en eau potable l'usage industriel ou agricole (Bensaouala F., 2006).

L'eau souterraine est l'eau qui existe dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre et aussi sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, et qui transite plus ou moins rapidement (Bordet J., 2007), dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Elles sont souvent contenues dans des couches aquifères (Schoeller Henri J., 1975) (Figure 1.1).

Il est important de caractériser les eaux souterraines en recueillant les informations sur:

- la nature et la géométrie des aquifères (géologie) : ainsi que leur protection : épaisseur et nature des différentes couches géologiques ou pédologiques recouvrant les aquifères considérés ;
- les caractéristiques et les régimes hydrodynamiques : perméabilité, coefficient d'emménagement, piézométrie, variations de ces paramètres dans le temps (sous forme de chronique), zones et mode d'alimentation des nappes, zones de drainage, etc. ;
- la qualité des eaux souterraines : qualité chimique et variations temporelles de l'hydrochimie, sources de pollution potentielles.

Ces informations sont issues des cartes géologiques, pédologiques, hydrogéologiques existantes, des études géotechniques des infrastructures linéaires, des cartes de vulnérabilité de l'eau souterraine existantes (Sétra; 2007).

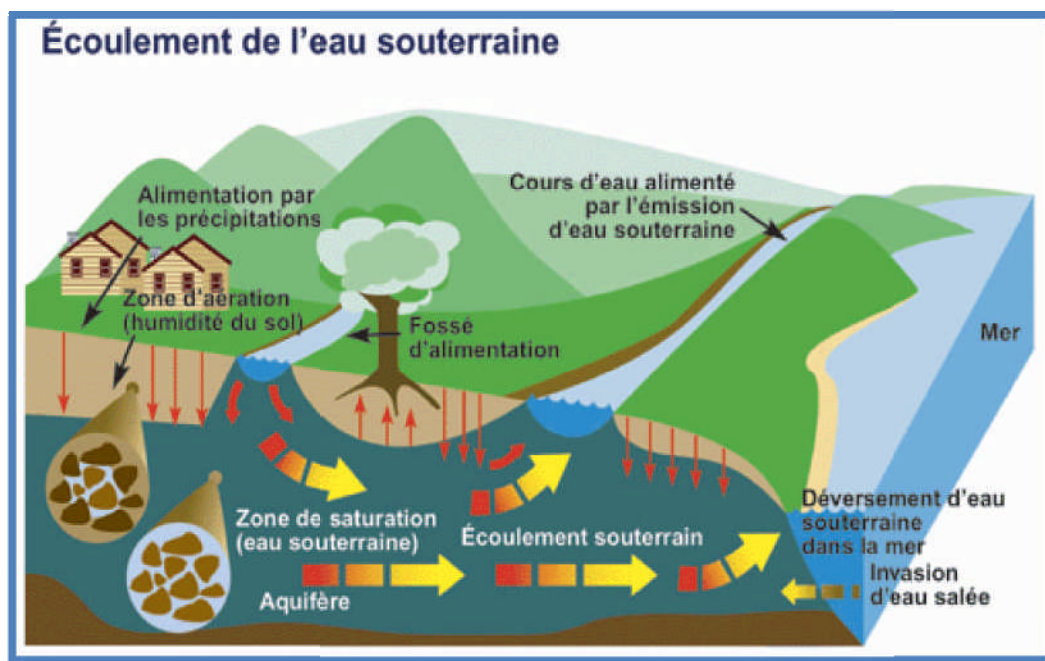


Figure 1.1: Ecoulement de l'eau souterraine [6].

I.2. LA DISPONIBILITÉ DE L'EAU DANS LE MONDE :

I.2.1. Généralité:

L'eau sous toutes ses formes est abondante sur terre, mais l'essentiel est constitué d'eau de mer et de glace (Adjim H., 2004). Le stock d'eau d'hydrosphère est de 1,4 milliards Km^3 (Tableau 1.1). Il est reparti inégalement en cinq grands réservoirs de grandeurs décroissantes « océans, glaces, eaux souterraines, eaux de surface des continents, et atmosphère ». Le réservoir des glaces des calottes glaciaires et neiges éternelles, représente 60% des eaux douces terrestres. Le réservoir souterrain, représente 40% du volume des eaux douces. Dans l'état actuel les connaissances de contenance en eau de qualité est difficile à évaluer (Castany G., 1980).

La circulation de l'eau à la surface de la Terre ou cycle globale de l'eau, assure les échanges entre les quantités d'eau stockées sous trois états, vapeur, solide et liquide (Gomella C. et Guerree H., 1980).

Tableau 1.1 : Estimation du volume d'eau total sur Terre [19].

Stocks totaux d'eau	1,39 milliards de km^3	% du total
océans, mers	1,35 milliard de km^3	97,40 %
glaces	27,5 millions de km^3	1,98 %
eaux souterraines	8,2 millions de km^3	0,59 %
lacs, étangs,	100 000 km^3	0,0072 %
mers intérieures	105 000 km^3	0,0075 %
humidité du sol	70 000 km^3	0,0050 %
humidité de l'air	13 000 km^3	0,0094 %
rivières	1 700 km^3	0,00012 %
eau des cellules vivantes	1 100 km^3	0,00008 %

Les réserves en eau souterraine peuvent sembler importantes mais seule une très faible proportion est mobilisable et potentiellement utilisable par l'homme. De plus, ces réserves en eau souterraine sont inégalement réparties sur la planète (Imerzoukène S. et al, 2011).

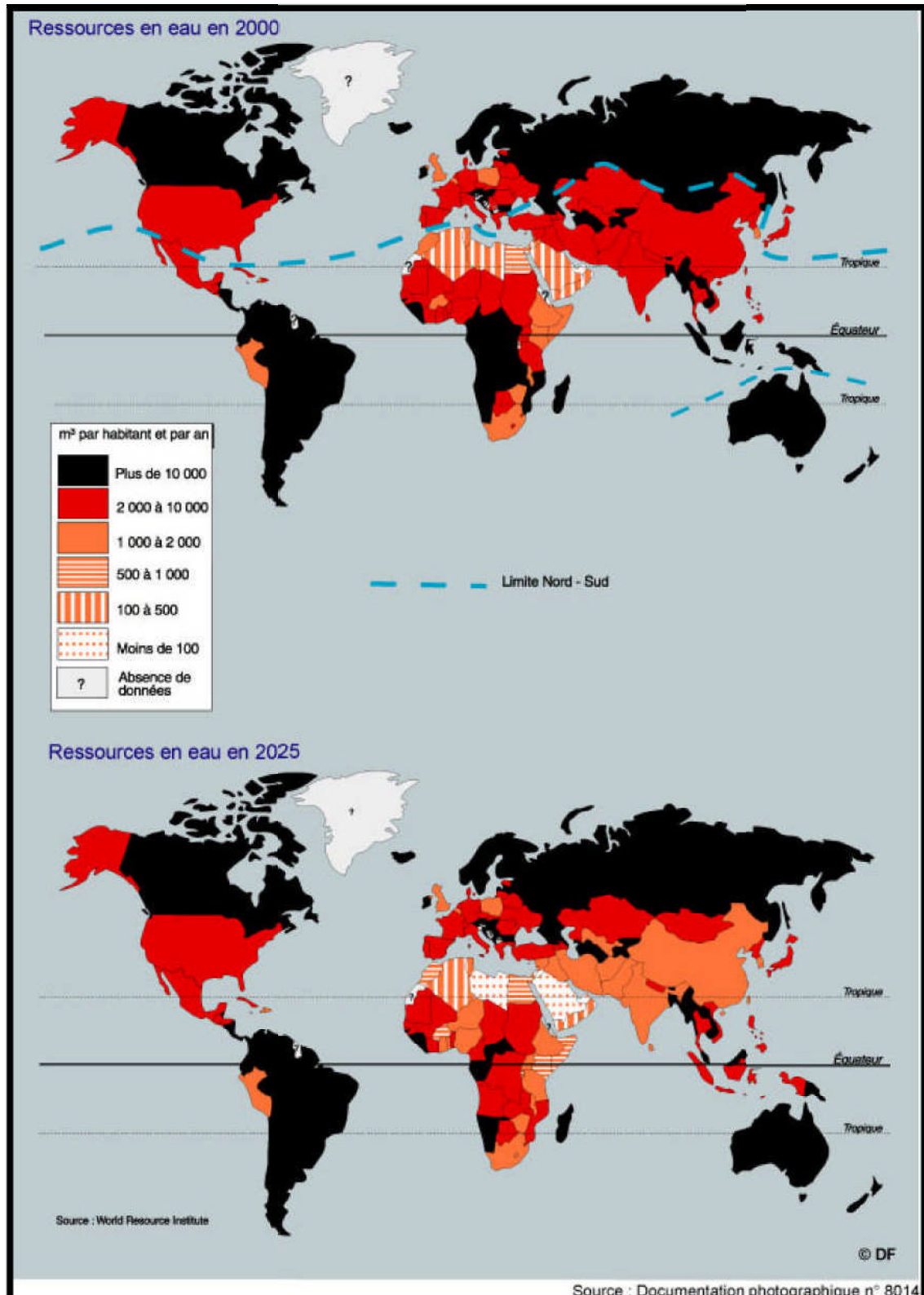


Figure 1.2: Répartition des ressources en eau dans le monde en 2000 [13].

I.2.2. Les ressources souterraines en Algérie:

Les ressources en eau souterraine sont mal connues. Il existe deux grandes nappes d'eau en Algérie qui sont présentés comme suivant :

- **Nappes du Nord** (ressources renouvelables) : Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord du pays sont estimées à près de 2 Milliards de m³/an. Elles sont exploitées à des taux très élevés frôlant les 90% dans le Nord du pays (Kettab A., 2000 ; CNES, 1999 in Adjim H., 2004). Ces nappes sont alimentées essentiellement pas les précipitations dont la répartition demeure irrégulière à la fois dans le temps et dans l'espace. En Algérie, il y a 38 nappes entre le nord et le Sahara. Son totale potentialité est de 1 776 Hm³ et son total prélèvement est de 1 467 Hm³ [15].
- **Nappes du Sahara** (ressource non renouvelable) : Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Les réserves exploitables sans risque de déséquilibre hydrodynamique sont estimées à 5 km³/an. L'exploitation atteint actuellement 1.6 milliards de m³ par forages et 85 millions de m³ par foggaras [15]. Aussi, un réservoir de 60 000 km³ est constitué par la nappe albienne située dans le Sahara. Ils restent sous-exploités avec un taux de 15%. Ces eaux sont en partie fossiles, ce qui signifie que la nappe ne se renouvelle que très lentement. Ces dernières sont difficilement exploitables et renouvelables. Toutefois, la taille de ce réservoir invite les Algériens à l'optimisme quant à l'avenir hydrique du pays et explique l'intérêt nouveau porté à l'aménagement territorial de cette partie du pays (14 ; Kettab A., 2000 ; CNES, 1999 in Adjim H., 2004).

I.3. L'AQUIFÈRE :

I.3.1. Définition :

L'aquifère (du latin aqua fero : porter l'eau) est une structure géologique (une couche de terrain ou une roche) perméable contenue de l'eau, comme alluvions de rivière, des granites fissurés, un plateau calcaire, etc (Gilli E. et al, 2008) et suffisamment poreuse pour contenir une nappe d'eau souterraine. Cette dernière est un réservoir naturel d'eau douce susceptible d'être exploitée (Castany G., 1980)

Issue de l'infiltration, l'eau contenue dans un aquifère circule dans le sous-sol nourrit une ou plusieurs sources, ou se déverse de façon occulte dans un milieu récepteur, mer, lac, cours d'eau ou autre aquifère (Gilli E. et al, 2008).

Un aquifère est un système hydrologique, hydrodynamique (Castany G., 1980). Il est caractérisé par sa géométrie, sa superficie et sa profondeur, et par les caractéristiques intrinsèques de la roche dont il est formé, lithologie, porosité, perméabilité, fracturation, homogénéité, etc. (Gilli E. et al, 2008).

I.3.2. Les types d'aquifère :

La base de l'aquifère, appelé substratum, est constituée par une formation hydrogéologique imperméable, par contre sa limite supérieure est de trois types :

- hydrodynamique avec fluctuation libres : aquifère à nappe libre
- géologique imperméable : aquifère à nappe captive
- géologique semi-perméable : aquifère à nappe semi captive (Castany G., 1980) (Figure 1.3).

3.1.1. Aquifère à nappe libre :

Il s'agit de roches poreuses (sable, craie, calcaire) jadis déposées en vastes couches (Mougin B., 2004). La base de l'aquifère, le substratum, est imperméable. La surface piézométrique constitue la limite supérieure de l'aquifère (une limite hydrodynamique). Cette surface peut s'élever ou s'abaisser librement dans la formation hydrogéologique perméable formant le réservoir (Castany G., 1980). La pluie efficace peut l'alimenter directement toute la surface libre de la nappe, les variations du niveau piézométrique seront rapides.

Au sein des nappes libres, on distingue “ les nappes phréatiques“, qui sont des nappes d'eau libres à faible profondeur, et “ les nappes alluviales“ (Beauchamp J., 2006).

3.1.2. Aquifère à nappe captive :

Les nappes captives sont souvent profondes, voire très profondes (1 000 m et plus) (Mougin B., 2004). Dans ces aquifères des eaux souterraines sont emprisonnées dans la formation hydrogéologique perméable, entre deux formations imperméables fixes : le substratum à la base et le toit au sommet (Castany G., 1980). Leur alimentation ne s'effectue que par les affleurements du terrain perméable à l'intérieur duquel elles se trouvent incluses (Dupont A.; 1978).

3.1.3. Aquifère à nappe semi captive ou à drainante :

Le toit ou le substratum (ou les deux) de l'aquifère sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable. Celle –ci permet, dans certaines

conditions hydrodynamiques favorables (différences de charge) des échanges d'eau (ou de pression) avec l'aquifère superposé ou sous-jacent, appelé drainant (Castany G., 1980).

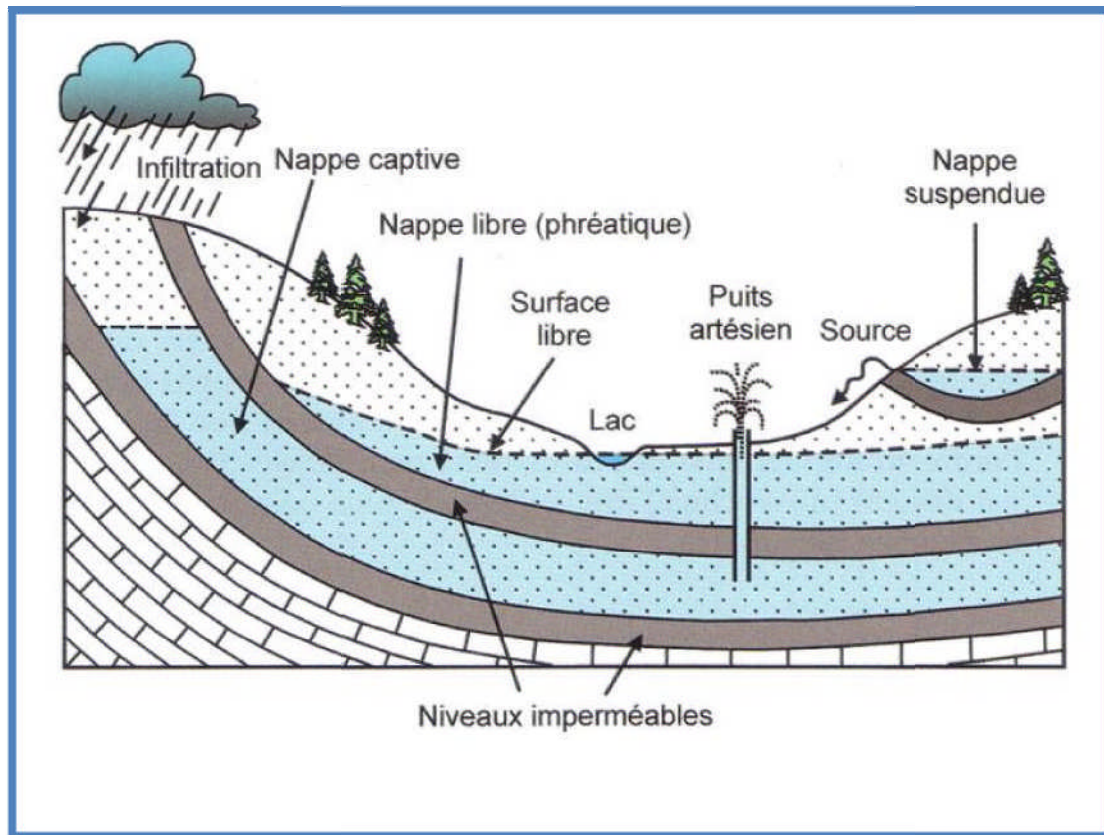


Figure 1.3: Les différents types de nappes [18].

I.4. MENACES A LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES :

La plupart des eaux souterraines sont propre [5]. Leur qualité chimique et bactériologique est mesurée par leurs teneurs en substances dissoutes et par la variation de celles-ci dans l'espace et dans le temps (Müller S. et Kozel R., 2004). Elle peut être altérée par les activités humaines. La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par mesures des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être telle quelle utilisée à d'autres fins (irrigation...) ou devra subir un traitement appropriée pour retrouver sa potabilité (Beauchamp J., 2006).

Pour s'assurer de la salubrité d'une source d'eaux souterraines, il est important de connaître l'emplacement des aquifères, afin de pouvoir bien les protéger, surtout à

l'intérieur des zones de captage des puits d'eau potable (Hugh S. et Myslik J., 2006). Les eaux souterraines doivent être traitées avant distribution, toutes les fois que les concentrations d'un ou plusieurs de ces éléments dépassés la valeur autorisée par les règlements en vigueur (Degremont, 2005).

Tableau 1.2: Les caractéristiques de l'eau souterraine (Degremont, 2005).

<i>Caractéristique :</i>	<i>Eau souterraine :</i>
Température	relativement constant
Turbidité, MES	faible ou nul (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux matières en solution (acide humique) ou due à une précipitation (Fe-Me).
Gouts et odeurs	Rares (sauf H ₂ S).
Minéralisation globale(ou salinité).	Sensiblement constante ; général, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
Fe et Mn divalents (a l'état dissous)	Généralement présent
CO₂ agressif	Souvent présent en grande quantité
O₂ dissous	Absent la plupart du temps
H₂S	Souvent présent
NH₄	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Solvants Chlorés	Peuvent être présents (pollution de la nappe).
Nature eutrophique	Nul

I.5. LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES :

I.5.1. Généralité :

Une eau est polluée lorsque, sous l'effet de l'activité humaine, elle devient impropre à satisfaire la demande d'utilisation ou qu'elle présente un danger pour l'environnement (Castany G., 1980). Par contre, un polluant est un facteur physique, chimique ou biologique issu de l'activité humaine et provoquant sous une intensité ou une concentration anormale, une altération de la qualité de l'eau naturelle (Lallemand Barres A. et Roux J.C., 1999).

Les eaux souterraines sont plus sûres et plus fiables que l'eau de surface. Une des raisons est que l'eau de surface est plus facilement exposée aux polluants que les eaux souterraines. Ceci ne veut pas dire que les eaux souterraines sont invulnérables à la contamination [3].

Alors, L'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées à la structure naturelle des terrains où elle a séjourné et, en particulier, lorsque les concentrations des constituants dissous ou en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par les standards nationaux ou internationaux (Lallemand Barres A. et Roux J.C., 1999). Les eaux souterraines sont courantes et non stagnantes. On y observe des mouvements verticaux et horizontaux liés à l'infiltration et à la gravité. Une pollution à la surface du sol peut s'infiltrer jusqu'à la surface de la nappe, puis s'y diluer et y migrer (Bordet J., 2007).

Donc, tous les produits chimiques qui sont facilement solubles et pénètrent le sol sont les principaux polluants des eaux souterraines et tout apport de substances indésirables dans l'eau souterraine, causé par les activités humaines, est considéré comme une *contamination* [6]. La contamination peut rendre l'eau inutilisable pendant des décennies, et il est souvent impossible de nettoyer rapidement et à moindre coût [2]. Dans de nombreux cas, la contamination n'est reconnue qu'après l'exposition des utilisateurs à des risques éventuels pour la santé [6].

Les causes naturelles de la dégradation de la qualité de l'eau souterraine exemples : dissolution de sels minéraux de réservoir comme les eaux sulfatées de l'aquifère du calcaire, l'invasion des eaux salées marines dans les aquifères côtières affluant à la mer, etc (Castany G., 1980). Les eaux souterraines circulent lentement dans le sous-sol. Les pollutions peuvent donc perdurer sur de longues périodes et migrer. La source de pollution a été supprimée, mais elle agit, au terme de dizaine d'années (Bordet J. ; 2007). Un polluant peut encore accéder à des puits éloignés grâce aux courants souterrains de l'eau. Dans ce cas les effets de la contamination des eaux souterraines ne s'arrêtent pas avec la perte de réserves d'eau de puits. Il y a plusieurs études ont porté sur la migration des contaminants depuis les lieux d'éliminations ou de déversements jusqu'aux lacs et cours d'eau [6].

I.5.2. Différents types de pollution :

Les polluants peuvent être classés, selon leur nature, en quatre grandes catégories : physiques, chimiques, organiques et bactériologiques. Il est nécessaire, en premier lieu, d'en dresser un catalogue fixant leur nature, leur dose néfaste et leur toxicité (Lallemand Barres A. et Roux J.C., 1999) (Tableau 1.3).

5.2.1. Les polluants physiques :

Les trois principaux agents physiques de la pollution sont : la chaleur, le transport de matières solides en suspension et la radioactivité.

5.2.1.1. La chaleur :

La chaleur, par élévation de la température de l'eau, surtout de surface, provoque des effets écologiques sur la vie aquatique (développement des microorganismes comme les algues) (Castany G., 1980). Cette élévation de température diminue la teneur en oxygène de l'eau et donc la capacité de vie des différentes espèces (Bordet J., 2007).

5.2.1.2. La radioactivité :

L'utilisation des substances radioactives prend tous les jours plus d'ampleur tant dans le domaine industriel que dans le domaine agricole. Elle est potentiellement la plus dangereuse des polluants physiques. C'est pourquoi tous les rejets sont sévèrement réglementés et contrôlés (Castany G., 1980).

5.2.1.3. Les matières solides en suspension :

Elles sont introduites par les précipitations et les eaux de surface. Certaines particules, très petites de l'ordre du micron, peuvent ainsi transiter. Les MES diminuent la luminosité dans l'eau, donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu, et les espèces animales en souffrent (Koller E., 2004 ; Castany G., 1980). Elles sont classées en :

- *Matières décantables.*
- *Matières non décantables :* soit par leurs poids spécifiques et par leurs dimensions, soit par leurs colloïdale. Selon leur nature les matières solides en suspension peuvent être minérales ou organique (Souikni N. et Seghioer N., 2006).

D'autres pollutions physiques agissent sur l'acidité et la salinité, ect. Ces pollutions physiques perturbent les écosystèmes et diminuent la biodiversité (Bordet J., 2007).

5.2.2. Les polluants chimiques :

L'eau dissout les substances rejetées par l'activité humaine. Les polluants chimiques sont nombreux et d'origines diverses : sels minéraux dissous, métaux

lourds, pesticides, détergents et hydrocarbures (Castany G., 1980). Elle provoque des déséquilibres biologiques à court ou long terme.

- **à court terme :** la dose fait le poison, souvent, si l'on supprime la cause, l'effet disparaît rapidement ;
- **à long terme :** Les rejets de substances toxiques ; Ils proviennent d'industries, d'égout urbains, des transports ou de l'utilisation de pesticides en agriculture. On connaît la toxicité aigue de certaines substances comme le chrome ou le plomb (Bordet J., 2007).

5.2.2.1. Sels minéraux dissous :

- **Nitrate et nitrite:**

Les plus nocifs sont les composés de l'azote : nitrates (NO_3) et nitrites (NO_2). Ils provoquent des troubles graves chez les jeunes vertébrés par dégradation de l'hémoglobine du sang et production de méthémoglobine toxique .Ils peuvent provoquer l'hypertension.

Les nitrates sont essentiellement d'origine agricole. Toutefois leur présence dans l'eau souterraine ancienne montre que cette pollution n'est pas toujours liée à des causes récentes (Castany G., 1980). Ils se déplacent généralement relativement lentement dans le sol et les eaux souterraines : il y a un temps de latence d'approximativement 20 ans entre l'activité de pollution et la détection du polluant en eaux souterraines. Pour cette raison, on prévoit que les activités courantes de pollution continueront à affecter les concentrations en nitrate pendant plusieurs décennies [3]. Leur accroissement dans les eaux souterraines, au cours de la dernière décennie est préoccupant. Leur teneur maximum dans l'eau potable est fixée à 44 mg/l (Castany G., 1980).

- **les sulfates :**

Les sulfates et les chlorures sont naturellement présents dans l'eau souterraine (*dissolution des sels minéraux des réservoirs*). Les chlorures, par leur persistance dans tous les milieux, constituent d'excellents traceurs naturels. Mais la montée significative de leurs teneurs, est inquiétante. Ils sont introduits par l'eau des précipitations, les engrais chimiques et les rejets industriels. Leur teneur maximum dans l'eau potable est fixée à 250 mg/l (Castany G., 1980).

5.2.2.2. Micropolluants : métaux lourds, pesticides et détergents :

Les micropolluants groupent des substances toxiques à très faible teneur dans l'eau, de l'ordre du microgramme, voire du nano gramme par litre sont dues généralement aux activités industrielles par rejets d'effluents et par lessivage de produits stockés sur un sol [1]. Ils sont dangereux, même à l'état de traces, car la chaîne alimentaire à un effet cumulatif. L'ingestion répétée des métaux lourds par l'homme provoque des stockages nocifs dans le squelette (plomb), les plus

dangereux sont : les cyanures très toxiques (rejets interdits), le mercure sous sa forme de composés solubles (Dose mortelle : 1 à 2 g), le chrome cancérigène sous sa forme polyvalente (chromates et bichromates), le plomb (saturnisme), sélénium, l'arsenic et le cadmium (2 g tuent un homme). Leur teneur, à l'état de traces, est sévèrement réglementée, même dans les eaux brutes de rivière utilisées par les stations de traitement (Castany G., 1980).

D'autres éléments sont considérés comme indésirables et peuvent présenter des inconvénients au consommateur d'ordre organoleptique : goût, saveur, coloration. C'est le cas pour le cuivre, le zinc, le fer, le manganèse, l'aluminium [1].

- **Le terme de pesticides :**

Groupe tous les produits de lutte contre les parasites des cultures et des animaux. Leur évolution dans le sol, aboutissant à des dérivés toxiques, est encore mal connue. Par suite du pouvoir auto épurateur du sol. Plupart d'entre eux sont rapidement éliminés, et les eaux souterraines en sont pratiquement dépourvues (Castany G., 1980).

- **L'usage des détergents :**

Ce sont des substances utilisées pour les diverses opérations de nettoyage. Un détergent est un produit complexe contenant un ou plusieurs agents de surface et des composés minéraux (carbonates, phosphates et polyphosphates), souvent associés à des matières organiques améliorantes et à des enzymes hydrolysants. La biodégradabilité de ces substances est très variable. Les détergents sont rares dans les eaux souterraines, sauf dans les zones suburbaines, en liaison avec les puisards recevant les eaux usées et dans certaines nappes alluviales en relation étroite avec un cours d'eau pollué [1]. Ils inhibent les processus d'autoépuration, limitent le développement des microorganismes du sol, bloquent la réoxygénation (Castany G., 1980). Ces détergents sont peu toxiques mais ils facilitent par leur pouvoir mouillant la dispersion et le transfert d'autres polluants comme les pesticides [1].

5.2.2.3. Hydrocarbures :

La pollution des eaux souterraines par les produits pétroliers provient aussi bien de déversement accidentel sur le sol ou en sous-sol que d'infiltration non contrôlée de rejets. Ils peuvent provenir des effluents domestiques ou industriels. Ils se trouvent dans les eaux de rejet sous forme de suspension flottante empêchant toute oxygénation de celle-ci et provoquant ainsi des asphyxies des êtres vivants (Souikni N. et Seghiouer N., 2006).

Les hydrocarbures, par suite de leur pouvoir de dilution, sont pernicieux à des doses très faibles. Une teneur de $1/10\ 000$ à $1/100\ 000$ en volume donne des odeurs et des saveurs désagréables à l'eau. Un litre d'essence souille entre 1 000 et 5 000 m³ d'eau. Une nourrice de 20 litres pollue la consommation quotidienne d'une ville de 200 000 habitants (Castany G., 1980). Comme ces produits sont pour la plupart faiblement oxydables et encore perceptibles à des dilutions de 1 partie par milliard, les

nappes d'eau polluées deviennent inutilisables pendant de très longues années [1] (Figure 1.4).

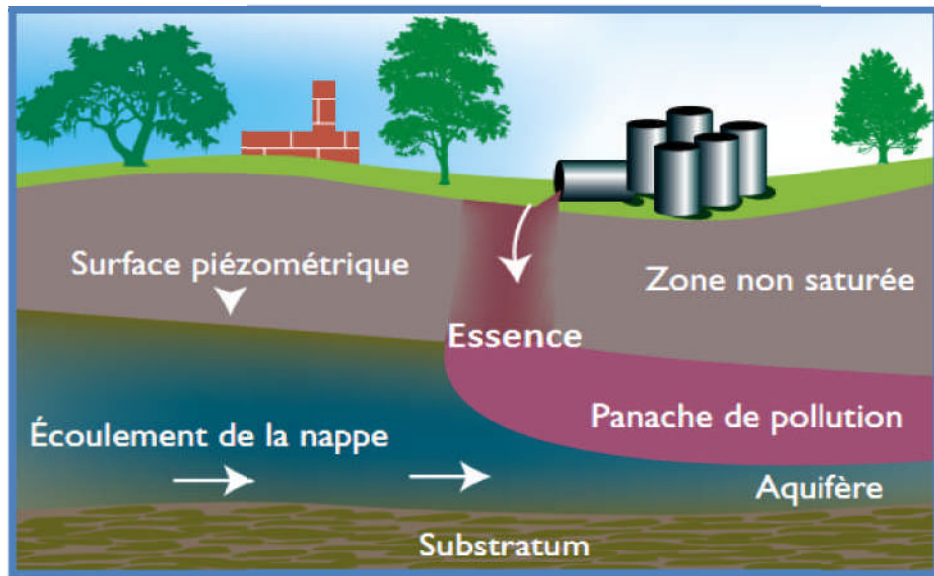


Figure 1.4: Comportement des produits dans le milieu souterrain (Boucheseiche C. et al, 2002).

- **Les solvants chlorés :**

Les solvants chlorés, ou hydrocarbures chlorés aliphatiques, sont utilisés comme solvants aussi bien pour le nettoyage que pour l'extraction et la séparation de certains produits, ils sont également employés comme réfrigérants. Ils sont largement répandus. Leur présence dans les décharges de tous types constitue un risque de pollution des nappes phréatiques car ils ne sont pas retenus par les argiles. Après percolation dans le sol, les eaux souterraines, près de zones urbaines ou industrielles (décharges industrielles) peuvent être contaminées par ces polluants très volatils. Ils sont peu dégradables et ont tendance à se déposer dans la partie basse de la nappe [1] (Figure 1.5).

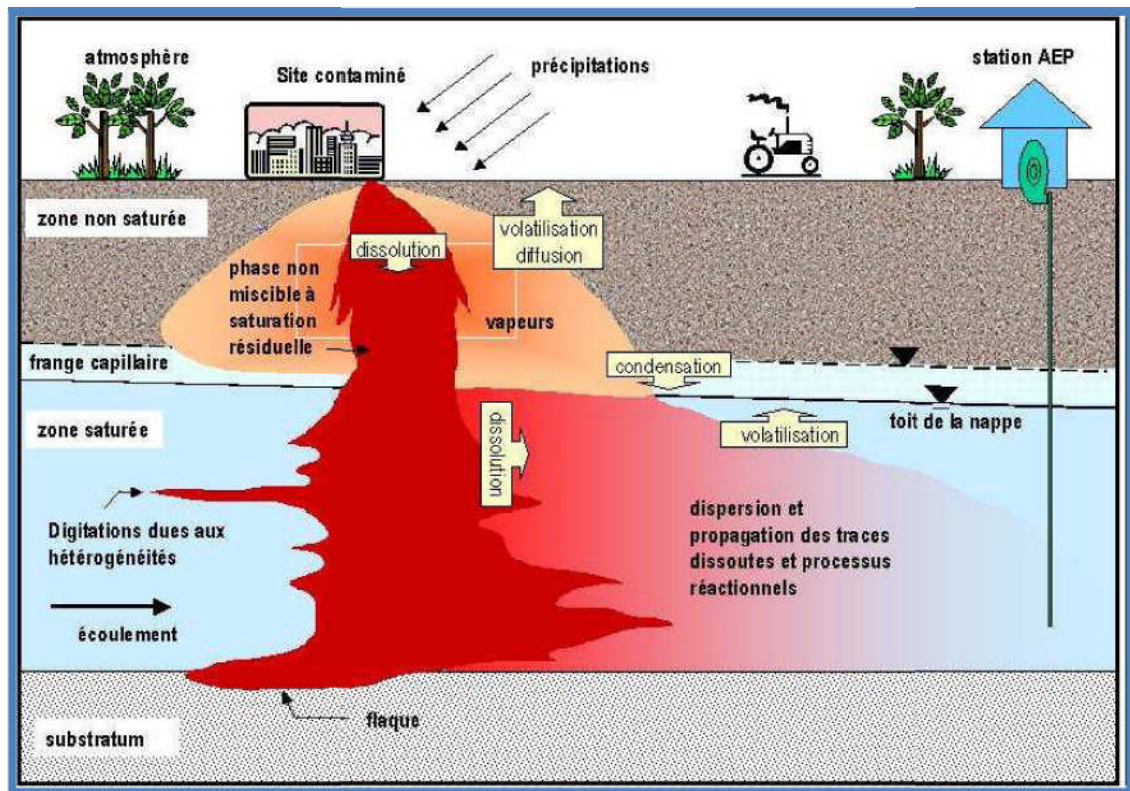


Figure 1.5: La pollution de nappe souterraine par des solvants chlorés [7].

5.2.3. Les polluants organiques, Microorganismes :

Elle provient de l'agriculture, des hôpitaux et même de la vie domestique. Elle peut introduire dans l'eau des micro-organismes dont certains sont pathogènes (Bordet J., 2007).

L'eau souterraine est le vecteur des microorganismes, pathogènes ou non. Le pouvoir auto épurateur du sol est très efficace. Pratiquement l'eau souterraine en est dépourvue dans les conditions naturelles. Un problème particulier est posé par les aquifères karstiques au sein desquels l'autoépuration naturelle est faible, voire nulle (Castany G., 1980).

Tableau 1.3: les différents types de pollution des eaux souterraines (Bordet.J, 2007).

Type de pollutions :	Activités dominantes :	Indicateurs :
Physique :		
pollution thermique	centrales thermiques	
Pollutions mécaniques	Ruissellement de la pluie sur les toitures et chaussées, mines, carrières, extractions de graviers, industries.	Matières en suspension
Pollutions radioactives :	Centrales nucléaires, Hôpitaux.	Becquerels
Organiques et oxydables:		
MO fermentescibles et MOX	Effluent domestiques, élevages, agro-alimentaire, pâte à papier.	Oxygène dissous, DBO, DCO, glucides, lipides, protides.
Chimique :		
Fertilisants, pesticides	Agriculture, lessives,	Nitrates, phosphates
Métaux et métalloïdes	Mégisseries, agriculture, mines, traitements des métaux, combustion, agriculture	Eléments métalliques Pb, Cu, Zn, Cr, Cd.
Hydrocarbures, organochlorés, micropolluants organiques de synthèse	Industries pétrolières, transports industries	Très nombreuses molécules
Pollution microbiologiques :	Effluent domestiques, élevages, agroalimentaire, hôpitaux	Germes fécaux

I.6. L'ORIGINE ET SOURCE DE POLLUTION:

L'activité humains engendre des rejets gazeux, liquides et solides dans le milieu (atmosphère, eaux de surface, sol, nappes) qui, directement (rejet) ou indirectement, vont affecter les eaux souterraines (Gilli E. et al, 2008). La pollution de l'eau souterraine est provoquée par les rejets des activités domestiques et urbaines, agricoles ou industrielles, dont l'eau est le véhicule de transport et de dissémination idéal. D'où trois grandes sources pollutions : domestique et urbaine, agricole et industrielle (Castany G., 1980). Part contre, les pollutions anthropiques peuvent être de diverses natures : accidentelles, saisonnière ou chroniques, ponctuelles ou diffuses ou dispersées (Bordet J., 2007). Toutes ces pollutions sont susceptibles de dégrader les ressources en eau (Figure 1.6).



Figure 1.6 : Différent sources de pollution des eaux souterraines [16].

Les pollutions peuvent être classées suivant différents critères :

I.6.1. En fonction de l'origine de la pollution :

(Tableau 1.4).

- **Urbaine et domestique** : (eaux usées domestiques, eaux d'infiltration sous les dépôts d'ordures, etc.) (Lallemand Barres A. et Roux J.C., 1999).

Ce sont les rejets d'eaux usées domestiques et municipales (lavage des rues, arrosages et les eaux utilisées pour la climatisation des immeubles...) (Castany G. ; 1980). Aussi, dans le cas d'un assainissement défectueux, les substances indésirables contenues dans les eaux vannes, les eaux ménagères, les eaux des stations d'épuration urbaines surchargées et dans les dépôts ordures ménagères peuvent être transférés à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...). En plus, on trouve des polluants de la voirie, la contamination possible des nappes par les eaux usées (raccordement incomplet ou défectueux, mauvais état des réseaux, surcharge ou mauvais fonctionnement des stations d'épuration, en particulier absence de traitement tertiaire), par les fuites de cuves de carburants (essence, fuel) et enfin par les cimetières (Anonyme, 2009).

- **Industrielle** : (eaux usées, eaux d'infiltration sous les stockages de déchets industriels, liquides dangereux tels que hydrocarbures et solvants, etc.) (Lallemand Barres A. et Roux J.C., 1999).

Elles sont provoquées par les rejets industriels, thermiques et chimiques. Il faut ajouter les effets des grands aménagements urbains, le développement des autoroutes (Castany G., 1980).

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... (Anonyme, 2009). Les pollutions industrielles sont exceptionnelles, mais souvent chroniques (des résidus solides qui, souvent dans le passé, fuite de réservoirs et de canalisations). Les fuites sont toujours difficiles à détecter et à maîtriser, et l'abandon des sites donne des friches industrielles dont les sols sont pollués et susceptibles de contaminer les nappes qu'ils recouvrent (Gilli E. et al, 2008).

- **Agricole** : (eaux d'infiltration de drainage et de ruissellement sous aires cultivées, ou sous aires agricoles (élevages, stockages et épandages d'engrais et de produits phytosanitaires) (Lallemand Barres A. et Roux J.C., 1999).

La pollution agricole est causée principalement par l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques, des pesticides et des produits chimiques, aussi le traitement des plantes et les fuites de stockage des sous-produits de l'élevage (Castany G., 1980). En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux (Anonyme, 2009). De plus, les engrais et pesticides épandus constituant un réservoir de polluants facilement mobilisable par l'eau d'infiltration (Gilli E. et al, 2008) et leur utilisation massive détruit la vie dans les rivières et rend les eaux souterraines impropres à la consommation humaine (Anonyme, 2009).

Tableau 1.4: Sources potentielles de contamination [3].

Sources potentielles de contamination des eaux souterraines				
Origine	Municipal	Industriel	Agricole	Individuel
Sur ou près de la surface	<p>pollution de l'air</p> <p>déchets municipaux</p> <p>sel pour le dégivrage des routes</p> 	<p>pollution de l'air</p> <p>produits chimiques: stockage et flaques</p> <p>carburants : stockage et flaques</p> 	<p>pollution de l'air</p> <p>flaques chimiques</p> <p>engrais, pesticides</p> 	<p>pollution de l'air</p> <p>engrais, produits d'entretien, détergents</p> <p>huile de moteur, peinture, pesticides</p> 
Sous la surface	<p>décharge, égouts</p> 	<p>Canalisations</p> <p>réservoirs de stockage souterrain</p> 	<p>stockage en réservoirs souterrains</p> <p>puits: mal construits ou abandonnés</p> 	<p>Système septique, puits: mal construits ou abandonnés</p> 

I.6.2. Selon la nature des polluants :

- **Physiques** : (chaleur, matières en suspension, radioactivité) ;
- **Chimiques** :(sels minéraux, métaux lourds, pesticides, détergents, hydrocarbures, solvants) ;
- **microbiologiques** : (micro-organismes, virus, bactéries) (Lallemand Barres A. et Roux J.C., 1999).

I.6.3. Selon la répartition géographique :

- **La pollution diffuse** : c'est la pollution la plus répandue et la plus néfaste. Elles sont réparties sur de vastes espaces homogènes hydrogéologiquement. Elles atteignent la nappe par infiltration. Elles évoluent lentement et sont influencées par des épisodes climatiques : la pluie lessive les sols et augmente la pollution des nappes ; inversement les années de sécheresse voient les sols stocker les multiples produits chimiques d'origine agricole. La pollution de la nappe se réduit provisoirement (Bordet J., 2007). Les principales pollutions diffuses concernent l'agriculture : herbicides, nitrates, pesticides, phosphore, micro-organismes. Elles sont émises à faible dose, par de nombreuses sources [1]. Elles sont donc difficiles à identifier, à contrôler et à réduire.
- **La pollution dispersée** : Ce sont des pollutions ponctuelles, en nombre très important (les bâtiments d'élevage...). Elles sont réparties sur un territoire hydrauliquement homogène (Bordet J., 2007).
- **La pollution ponctuelle** : Les pollutions ponctuelles, par contre, proviennent d'une surface délimitée, faible vis-à-vis du bassin versant des eaux souterraines ou de surface, et définie dans un espace géographique. Elles sont qualifiées quelques fois d'accidentelles [1]. Elles sont définies par une origine précise : dépôt d'ordures, décharge sauvage, rejets industriels, gros élevages, puits abandonnés (Bordet J., 2007), des fuites sur des conduites ou des cuves, ou l'infiltration de lixiviats d'un dépôt solide, quelquefois la retombée de polluants, émis dans l'atmosphère, sur le sol à proximité des points d'émission [1], et un exutoire (nappe, rivière, lac, canaux). Elles sont donc identifiables et maîtrisables (Bordet J., 2007).

La nature des produits polluants peut être fortement variée, mais les plus fréquemment rencontrés sont les hydrocarbures, les solvants chlorés, les chlorures, les sulfates, quelques métaux lourds

particulièrement mobiles, et autres sous-produits de l'industrie. Dans certains cas, le nombre de pollutions ponctuelles peut être tel que la pollution devient généralisée.

En revanche, certaines substances dissoutes dans l'eau peuvent être peu sensibles et comporter un risque pour la santé [1] (Figure 1.7).

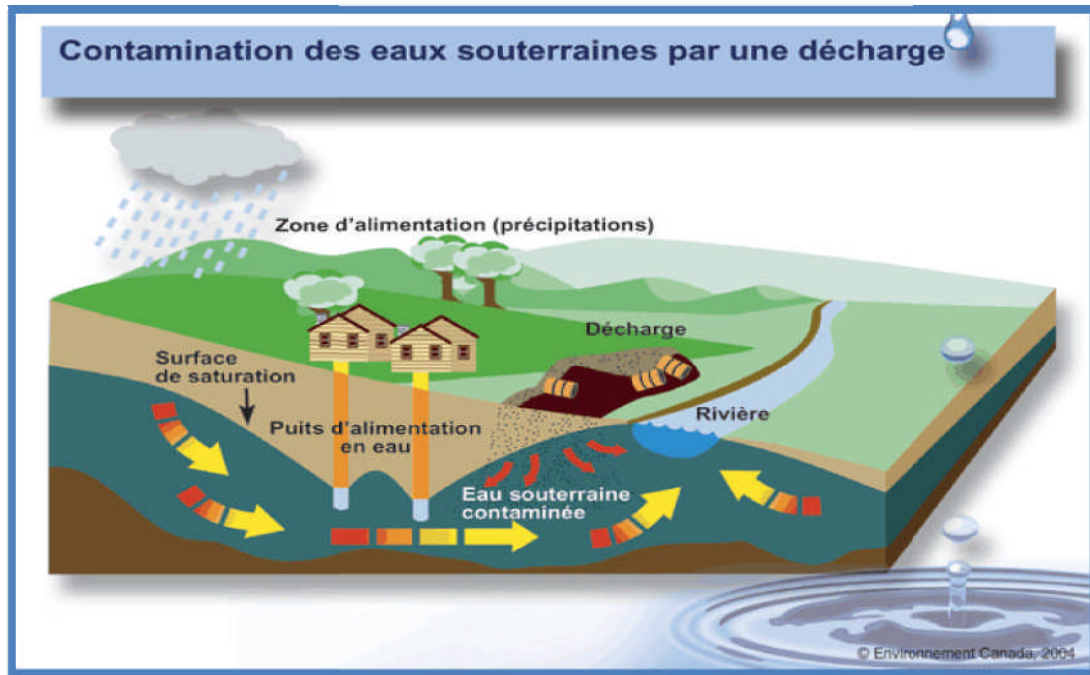


Figure 1.7 : Contamination des eaux souterraines par une décharge [6].

I.6.4. En fonction de la réparation dans le temps :

- *pollution permanente* (chronique) ;
- *pollution accidentelle* ;
- *pollution saisonnière* (sels de déneigement, etc.) (Lallemand Barres A. et Roux J.C., 1999).

I.7. LES CONSEQUENCES DE LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES SUR LA SANTE :

La contamination des eaux souterraines par des composés xénobiotiques toxiques même en faibles concentrations peut compromettre l'exploitation de la ressource pour de très longues périodes de temps. L'intensification des activités industrielles et agricoles, ainsi que la diversification des modes de sous-produits de production ou des déchets après consommation, rendent vulnérables les ressources en eau souterraines. Par contre, lorsqu'une source diffuse de contamination est détectée,

une grande superficie de l'aquifère sera vraisemblablement déjà contaminée (Banton O. et Bangoy L.M., 1997).

Les Micro-organismes tels que les bactéries et les virus entérique constituent des contaminants particuliers issus des fosses septiques ; ils génèrent également des charges élevées en matières organiques, en azote et en phosphore, en composée lessiviels, ainsi que parfois des solvants chlorés négligemment utilisés comme agent de nettoyage ou de fuites de retenues d'eaux usées domestiques. Malgré leur passage dans la zone non saturée comme zone d'autoépuration, une fraction de ces contaminants est susceptible d'atteindre les eaux souterraines [2]. La contamination de l'eau souterraine sera alors difficile, et par fois impossible à traiter (Castany G., 1980). Certaines de ces bactéries déclenchent de fortes diarrhées qui peuvent conduire à une déshydratation importante de l'organisme entraînant la mort. Le paludisme et la dengue sont d'autres exemples de maladies où l'eau polluée infecte les moustiques qui ensuite les transmettent à l'homme [5].

Les polluants des eaux sont principalement de nature chimique. Ceux considérés comme les plus préoccupants sont brièvement présentés ci-dessous :

- Certains métaux lourds et métalloïdes sont connus pour leur pouvoir neurotoxique (par Ex. le plomb) ou cancérigène (par Ex. :l'arsenic, le chrome, le cadmium)
- Certains hydrocarbures, en particulier le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). En 2003, ils ont été classés comme produits très préoccupants pour la santé.
- Beaucoup de solvants halogénés ou leurs produits de dégradation sont reconnus comme substances très toxiques et nocives, parfois cancérigènes (par ex : le chlorure de vinyle). Ils peuvent causer divers troubles, notamment neurologiques aigus et chroniques (Draou S., 2011).

I.8. LES MALADIES A TRANSMISSION HYDRIQUES :

L'eau va contribuer à l'apparition des maladies à transmission hydriques connues ; telles que : le choléra, la typhoïde et l'hépatite virale, etc. Cette série des maladies hydriques est très longue. Mais, ces maladies hydriques sont n'importe quelles maladies causées par la consommation d'eau contaminée par des fèces animales ou humaines, qui contiennent des microorganismes pathogènes.

Ces eaux polluées ont une influence nocifs sur la santé humaine, ses effets nocifs touchent plus de 2,2 millions de personnes meurent chaque année de maladies liées à la mauvaise qualité de l'eau et à des conditions sanitaires déplorables, essentiellement dans les pays en voie de développement. Toutes les huit secondes,

quelque part dans le monde, un enfant meurt d'une maladie liée à une eau souillée [8 ; 17]. Chaque jour, 5000 personnes meurent à cause de l'eau insalubre.

Quelque maladie à transmission hydrique :

I.8.2. Le choléra :

Maladie infectieuse contagieuse se propageant sous forme d'épidémies essentiellement par l'intermédiaire de l'eau, due à une toxine bactérienne et caractérisée par une diarrhée aiguë généralement sévère. La bactérie responsable du choléra est le vibrion cholérique. La transmission se fait par contact direct, ou indirectement par la nourriture et surtout par l'eau de boisson contaminée par des bactéries provenant des selles de malades [12].

Le choléra est capable de survivre 7 à 12 jours dans l'eau des puits, il est sensible aux solutions chlorurées. Le choléra est soumis au règlement sanitaire international (O.M.S) (Hamidi M.N., 1997) (Figure 1.8).



Figure 1.8: Vibrio cholera observé en microscopie électronique à balayage [7].

I.8.3. Salmonellose :

Les salmonelloses sont des maladies provoquées par des entérobactéries du genre Salmonella qui comprennent deux principaux types d'affections:

8.3.1. Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes :

C'est une maladie due aux germes salmonella (salmonella typhi ou bacille d'eberth et Salmonella Paratyphi A, B, C) se caractérise par une forte température, accompagnée de vertiges et d'insomnie, une diarrhée, déshydratation, souvent on note aussi une constipation. Elle est contagieuse, qui peut être mortelle sauf si la personne est traitée rapidement. Les salmonella sont des bacilles (2-3u) ; mobiles, aéro-anaérobie facultatifs capables de survivre plusieurs semaines dans l'eau et dans le sol (Hamidi M.N., 1997).

La contamination est surtout hydrique (eau souillée par des selles contaminées), parfois alimentaire (aliments souillés, coquillages, crudités), exceptionnellement directe, par les mains sales [9].

8.3.2. Les gastro-entérites :

Les gastro-entérites sont provoquées par des Salmonella ubiquistes présentes chez l'homme et les animaux. La durée d'incubation est généralement de 1 à 2 jours et dépend de la dose ingérée. Elles se manifestent par une fièvre, une diarrhée, des vomissements et douleurs abdominales. La contamination se fait par des aliments contaminateurs peu ou pas cuits (œufs, lait, charcuterie, eau, coquillages souillés) [9].

I.8.4. Hépatites virale :

Hépatites, groupe de maladies aiguës ou chroniques caractérisées par une inflammation du foie [9]. C'est une maladie infectieuse, contagieuse due au virus A, le virus mesuré 27Nanomètres ; sensible à l'eau de Javel de concentration 1mg/1. Son réservoir est l'homme son mode de contamination : L'eau et les sols, sa voie de pénétration est orale (Hamidi M.N., 1997).

I.8.5. Poliomyélite :

C'est une maladie des pays à mauvaise hygiène fécale. Elle atteint surtout les jeunes enfants entre 3 mois et 5 ans (paralysie dite infantile). Il faut donc éviter autant que possible que l'eau soit contaminée majoritairement via le réseau d'évacuation des eaux usées [9].

I.8.6. La dysenterie :

La dysenterie amibienne est entraînée par la présence de l'amibe pathogène Entamoeba HISTOLYTICA. Elle est faite par les mains sales ou indirecte par les aliments et les eaux polluées. La maladie se transmet à partir de sujets malades ou des porteurs sains (Hamidi M.N., 1997).

I.9. CONCLUSION:

L'eau est une ressource finie, recyclable, inégalement répartie et indispensable à la vie. Pour que chacun puisse en profiter, l'eau a besoin d'être conservée et protégée. L'eau souterraine est un réservoir naturel à long terme pour le cycle de l'eau donc il faut le protéger pour pouvoir l'utiliser dans les moments cruciaux.

Dans le but de préserver la santé de l'homme et son environnement, des risques de contamination liés à la réutilisation des eaux usées et aussi par des rejets urbains, industriels, agricole, donc, on a besoin de connaître qualitativement et

quantitativement les sources et foyers de pollution des eaux souterraines afin de les éliminer ou de diminuer leurs effets nocifs.

La lutte contre la pollution de l'eau souterraine, qui s'intègre dans la préservation de milieu souterrain doit comporter trois objectifs :

- Prévention, assurée en priorité par une réglementation basée sur des recherches et des expérimentations.
- La parade par les moyens techniques appropriés et la décontamination très difficile, dans l'état des techniques actuelle.
- Détection ou le contrôle par les réseaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines (Castany G., 1980).

La prévention doit débiter par une réduction immédiate des sources de pollution et doit être suivie par l'installation de périmètres de protection immédiats des sources, nappes superficielles ou souterraines. Ces périmètres doivent être clôturés.

Enfin, La protection des eaux souterraines à pour objectif de la mise en disponibilité d'une eau propre et potable pour les citoyens. Mais, pour assurer une meilleure protection contre la pollution, il doit utiliser la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines qu'il reste toujours l'un des documents indispensables à la protection des eaux souterraines contre la pollution.

La pollution de l'eau souterraine est une altération qui la rend impropre à une de ses utilisations ou perturbe l'écosystème aquatique, elle peut être provoquée par différentes sources de pollution. Les polluants susceptibles d'atteindre la nappe sont ainsi de nature diverse et ont des comportements très différents lors de leur migration dans le sol et le sous-sol. La mobilité et la persistance des substances dans le sous-sol sont très variées selon leur solubilité, leur facilité à être biodégradées, etc. (Allier D. et al, 2008).

En effet, la vulnérabilité d'une nappe à la pollution est une notion relative, non mesurable et sans dimension. La précision de son évaluation dépend essentiellement de la nature, de la quantité et de la fiabilité des données utilisées (El warititi M. et al, 2007). De plus, l'étude de la vulnérabilité à la pollution des nappes permet une meilleure gestion des eaux souterraines et des interventions convenables dans le cas de contamination. Elle permet aussi de préciser les zones sollicitées à être contaminées suite à des activités anthropiques (Smida H. et al, 2009). Ainsi, il existe différentes méthodes pour évaluer la vulnérabilité et aucune ne s'applique à toutes les situations. Le choix repose sur les objectifs poursuivis et les caractéristiques de la région étudiée (Savard M. et al, 2008). Les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standard pour protéger les eaux souterraines contre toute éventuelle source de pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future (Smida H. et al, 2009).

En outre, la vulnérabilité est distincte du risque de pollution. Ce dernier est évalué qualitativement par la combinaison de l'aléa et de l'effet couplé de la charge polluante et de la vulnérabilité. Ceci nous permet d'élaborer une carte des risques et de localiser, par conséquent, les zones vulnérables et à risques (Amharref M. et al, 2006).

Enfin, le but de ce chapitre est de faire une étude bibliographique sur la cartographie de vulnérabilité et de risque de pollution des eaux souterraines.

II.1. LA VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES :

II.1.1. Définition :

Le terme « vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination » a été introduit en hydrogéologie par Margat en 1968. La vulnérabilité est une propriété intrinsèque des aquifères qui dépend de la sensibilité aux différents facteurs physiques déterminant la mesure où elles sont, dans les conditions naturelles, plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. De plus, elle décrit la vitesse de propagation d'un polluant vers et dans la nappe d'eau souterraine et caractérise la capacité de « protection » d'une nappe vis-à-vis d'une pollution. Celle-ci est, en premier lieu, liée à l'autoépuration naturelle du sol. En second lieu, elle est favorisée par la circulation de l'eau (Castany G., 1980 ; Allier D. et al, 2008 ; Döerfliger N. et Zwahlen F., 1997 in Bensaoula F., 2006).

Ainsi, elle est utilisée pour caractériser, à l'aide d'information d'origine géologique et hydrogéologique, la sensibilité des aquifères aux contaminations anthropogènes, que soit sous forme ponctuelle, linéaire ou diffuse (Doerfliger N. et Zwahlen F., 1997 in Bensaoula F., 2006). Cependant, les polluants susceptibles d'atteindre la nappe sont ainsi de nature diverse et ont des comportements très différents lors de leur migration dans le sol et le sous-sol. La mobilité et la persistance des substances dans le sous-sol sont très variées selon leur solubilité, leur facilité à être biodégradées, etc. (Allier D. et al, 2008) (Figure 2.1). Il est possible d'évaluer la vulnérabilité des aquifères à l'échelle régionale aussi bien que la vulnérabilité de l'eau souterraine à la contamination à l'échelle locale.

Alors, La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables. Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les couvrent. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger (Beauchamp J., 2006). Ils peuvent apparaître une quelconque pollution lorsque les couches protectrices sont percées par un ouvrage de captage. Ce dernier étant un moyen de communication entre les eaux profondes et la surface. Ce phénomène sera d'autant plus important lorsque le milieu aquifère est fissuré ou karstique dans lequel la circulation de l'eau est plus rapide (Bensaoula F., 2006).

Cette vulnérabilité des eaux souterraines vis-à-vis à la pollution demande la prise en compte de trois milieux bien définis: *le sol*, *la zone non saturée (Z.N. S)* et *la zone saturée (Z.S)*. A ces trois milieux peut se rajouter l'infiltration qui rentre en compte dans la migration des polluants (Cazaux M., 2007).

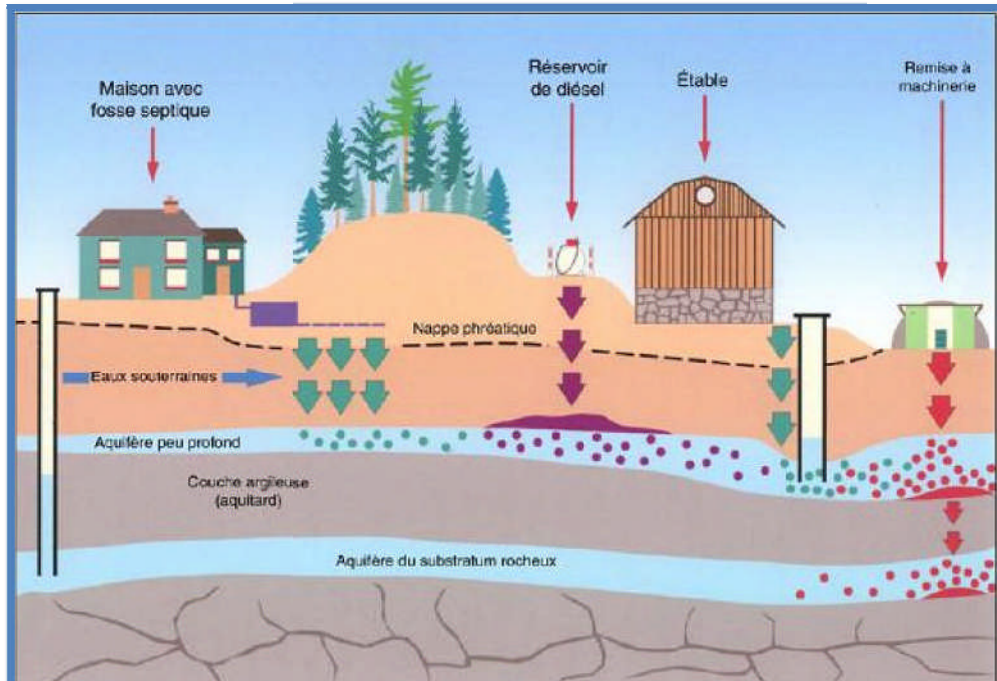


Figure 2.1 : La vulnérabilité des eaux souterraines dépend généralement de la vitesse à laquelle l'eau s'infiltré dans un aquifère [23].

II.1.2. Les types de la vulnérabilité :

L'estimation de la vulnérabilité d'un aquifère face à une pollution repose sur des concepts subjectifs non standardisés. Les études de vulnérabilité font généralement la distinction entre deux notions : la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique.

La distinction des deux types de vulnérabilité est nécessaire car elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation : la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante dans le temps alors que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis (Mardhel V. et al, 2005).

1.2.1. La vulnérabilité intrinsèque :

la vulnérabilité intrinsèque définie uniquement à partir des caractéristiques physiques intrinsèques du milieu naturel (nature géologique et hydrogéologiques du sous-sol, profondeur de la surface libre et drainage de surface) qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines (industrielles, urbaines, agricoles)(Mardhel V. et al , 2005 ; AlbinetM.et Margat J., 1970).C'est une propriété générale, non mesurable et sans dimension

laquelle son évaluation repose sur les caractéristiques géologiques, géographiques, hydrologiques et hydrogéologiques du bassin étudié (D.G.W : 2010). Elle est indépendante de la nature des contaminants (Bensaoula F., 2006).

De plus, la vulnérabilité intrinsèque dépend de trois facteurs :

- Les modalités d'introduction de la pollution, c'est-à-dire le processus de contamination du sol, et le transfert, selon un trajet surtout vertical, de la pollution depuis la surface du sol jusqu'à la nappe à travers le sol et la zone non saturée.
- La propagation de la pollution dans la zone saturée, c'est-à-dire l'écoulement de l'eau ainsi polluée, et entraînée par le mouvement naturel de la nappe ; elle peut être plus ou moins rapide, selon les caractéristiques de l'aquifère et le gradient piézométrique ; elle peut s'étendre à une distance plus ou moins grande selon l'étendue et les conditions de drainage de la nappe.
- L'atténuation de la pollution dans le milieu, c'est-à-dire la concentration résiduelle en contaminant lorsque que celui-ci atteint la zone saturée, en comparaison à la concentration initiale de la pollution.

Ces trois facteurs dépendent eux même de la combinaison de différents paramètres tels que les données climatiques, et les caractéristiques physiques du sol, de la zone non saturée et de la zone saturée (granulométrie, porosité, perméabilité, adsorption, dispersion) (SOGREAH , 2009).

1.2.2. La vulnérabilité spécifique :

Elle est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte la nature, les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque (Mardhel V. et al, 2005).

L'évaluation de la vulnérabilité spécifique d'un aquifère à un contaminant ou groupe de contaminant donné doit être réalisée au cas par cas, en prenant en compte toutes les caractéristiques physiques, chimiques ou microbiennes du contaminant ou groupe de contaminant considéré. possibles entre le milieu souterrain et le contaminant (dégradation, sorption –désorption, ...) (Anonyme (b) , 2010 ; SOGREAH, 2009).

Les principaux mécanismes observés sont:

- L'adsorption, qui caractérise le pouvoir de fixation de minéraux et de matières organiques du sol,

- La complication, combinaison chimique de composés pouvant changer le pouvoir migrant du produit initial,
- La précipitation sous forme d'un composé plus complexe et insoluble,
- La biodégradation pouvant affecter certains polluants organiques,
- La volatilisation de certains composés, etc...

Cette dernière approche est applicable pour l'évaluation de la contamination potentielle en contaminant localement, mais peut difficilement être mise en pratique quand le but recherché est la réalisation d'une carte de vulnérabilité pour une large zone ou pour la mise en place d'un outil de gestion et de protection des eaux souterraines(SOGREAH , 2009).

II.1.3. Les critères de vulnérabilité :

Plusieurs facteurs agissent sur la vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine, ces facteurs sont présents dans le sol, la zone non saturée et la zone saturée (Tableau 2.1).

1.3.1. Critères relatifs au sol:

- La topographie : c'est un critère qui contribue dans la détermination de la pente des terrains et l'évaluation de la vitesse d'écoulement des eaux superficielles (Cazaux M., 2007).
- La couverture pédologique : la nature, l'épaisseur, la texture la teneur en argile et en matière organique influent sur le transfert des polluants dans la nappe d'eau souterraine. Le facteur principal est la lithologie (Castany G., 1980 ; Cazaux M., 2007).

1.3.2. Critères relatifs à la zone non saturée:

- L'épaisseur de la Z.N.S : c'est l'horizon entre la surface topographique et la nappe d'eau souterraine. Elle conditionne de temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe (rétention, stockage, interactions physico-chimiques avec l'encaissant) et donc son éventuelle dégradation en cours de transfert (Allier D. et al, 2008, Cazaux M., 2007).

Pour un aquifère libre, l'épaisseur de la zone non saturé (ZNS) est la distance entre la surface du sol et le niveau de la nappe. Pour un

aquifère captif, elle est égale à la distance entre la surface et le toit de l'aquifère.

- L'amplitude de battement de la nappe : dans la mesure où elle est significative, conditionne l'épaisseur du recouvrement de la nappe (sol + ZNS). De ce fait elle peut devenir un critère de vulnérabilité (Allier D. et al, 2008).
- La perméabilité verticale de la Z.N.S : plus la perméabilité verticale est importante plus le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe est important (Allier D. et al, 2008).
- La structure de la Z.N.S : La variation de faciès, La nature, la texture, la teneur en argile et en matière organique de la Z.N.S peut réduire la contamination des eaux souterraines par la pollution (Cazaux M., 2007).

1.3.3. Critères relatifs à la zone saturée

- *Le type de nappe:* une nappe libre est plus vulnérable à la pollution qu'une nappe captive naturellement protégée par un toit imperméable ou peu perméable.
- *Les paramètres hydrodynamiques* (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emmagasinement, gradient hydraulique) déterminent le temps de résidence d'un contaminant et leur vitesse de migration dans la nappe.
- *La piézométrie:* Conditionne l'évolution des processus hydrodynamiques. C'est une relation entre les eaux superficielles et les eaux souterraines (drainage ou alimentation) conditionnent la possibilité de contamination des eaux souterraines. Ce phénomène peut s'inverser (Allier D. et al, 2008).
- *La direction et le sens d'écoulement:* déterminent le trajet d'un polluant dans la nappe d'eau souterraine.
- *Le type du système hydrogéologique (transmissif):* Il joue sur les temps de transfert et temps de séjour dans la nappe. À partir de la réactivité aux impulsions pluviométriques du système, la vulnérabilité du système peut être évaluée (Cazaux M., 2007 ; Allier D. et al, 2008).
- *Les relations nappe-cours d'eau :* l'alimentation des nappes d'eau souterraine par les cours d'eau superficiels ou par le drainage en sens contraire donne une idée sur la possibilité de contamination à la

pollution.

- *L'épaisseur de l'aquifère*: détermine la réserve d'eau dans l'aquifère. Plus la réserve est importante plus la dilution du polluant est assurée (Cazaux M., 2007).

1.3.4. Critères communs à la zone non saturée et à la zone saturée :

- *La fracturation*: la fracturation augmente la vitesse d'infiltration des polluants (Cazaux M., 2007).
- *La recharge*: conditions d'alimentation et d'écoulement, facteur du renouvellement de la réserve totale moyenne. Aussi, c'est le volume d'eau atteignant la nappe d'eau souterraine et dépend de la pluie efficace s'infiltrant dans le sol puis dans la zone non saturée. De plus, la quantité d'eau en réserve détermine les conditions de dilution d'un polluant ayant atteint la nappe (Castany G., 1980 ; Cazaux M., 2007 ; Allier D. et al, 2008).

Tableau 2.1 : Critères de vulnérabilité (Mardhel V. et al, 2005).

Vulnérabilité intrinsèque			Vulnérabilité spécifique
Sol	Zone non saturée (ZNS)	Zone saturée	
Ruissellement - infiltration	Profondeur de la nappe libre ou épaisseur de la ZNS	Type de nappe libre ou captive	Occupation du sol, forêts/espace naturels, agriculture/culture (l'irrigation augmente la percolation, le drainage la diminue), urbanisation /tissu industriel.
Pédologie: perméabilité verticale des sols nature et texture des sols	Temps de transfert : perméabilité verticale	Temps de résidence dépend des paramètres hydrodynamiques des aquifères Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci.	Présence ou non de biseau salé
	Structure de la ZNS ; variation de faciès, épaisseur des discontinuités de faciès, position dans le profil vertical, texture, teneur en m. o. et argile	Relation eaux souterraines/eaux superficielles	Points sensibles ; surfaces agricoles, décharges, rejets des établissements classés, densité des voies de circulation, prélèvements dans la nappe
		Piezométrie: évolution des sens et direction d'écoulement selon la période du cycle hydrologique	Capacités dispersives et épuratoires des sols face à un polluant spécifique
		Épaisseur de l'aquifère (quantité de réserve)	Comportement du polluant potentiel (milieu fixe); soluble, insoluble, miscible, non miscible, plus dense, plus léger que l'eau, réactivité avec le milieu traversé
		Type de systèmes hydrogéologiques : caractères plus ou moins capacitif et transmissif	Réseau hydrographique; extension et vulnérabilité (qualité des cours d'eau)
		Direction et sens	
	Battement de nappe		
	Recharge : quantité d'eau atteignant la ZS sur une période ILTCC s recharge annuelle nette).		
	Fracturation. directions et densité		

II.2. LA CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE :

II.2.1. Définition :

La vulnérabilité à la pollution peut-elle faire l'objet d'une cartographie. Autrement, les cartes de vulnérabilité sont des cartes schématiques interprétatives permettant d'estimer la vulnérabilité d'un aquifère à la contamination (SOGREAH, 2009). Elles sont réalisées avec certains objectifs et à une échelle donnée, qui peuvent être contraints par la quantité et la qualité des données disponibles. Le concept de La cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines est basé sur un modèle « origine-écoulement-cible ».

Leur objectif principal est de représenter les différents niveaux de vulnérabilité des eaux souterraines sur un support cartographique (topographique, géologiques) à différentes échelles, selon les objectifs demandés et la précision des différents paramètres. Aussi, Ils constituent un appui pour la gestion des eaux souterraines et la définition de mesures de protection. La cartographie de vulnérabilité reste le meilleur moyen de protection des aquifères contre la pollution (Cazaux M., 2007 ; Albinet M. et Margat J., 1975 ; SOGREAH, 2009).

Ces cartes doivent répondre à deux préoccupations principales :

- la prévention par la localisation des zones sensibles dans lesquelles une pollution peut affecter gravement l'eau souterraines, la définition de la pénétration et de la propagation des polluants dans l'aquifère et la situation des foyers de contamination actifs ou potentiels
- La protection par mise en place d'aménagements spéciaux (étanchéité des stockages et des canalisations de surface et souterrains, collecte des effluents, etc.), de périmètres de protection des eaux souterraines captées et des réseaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines (Castany G., 1980).

Les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standard pour protéger les eaux souterraines contre toute éventuelle source de pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future (Smida H. et al, 2009).

II.2.2. L'échelle de représentation

La vulnérabilité s'exprime par des cartes. Elles sont dressées à différentes échelles, adaptées aux utilisations, parfois plus grandes pour des problèmes spécifiques.

Les différentes échelles de représentation sont :

- *L'échelle nationale ou régionale* : les documents cartographiques ont pour objectif l'éducation ou la sensibilisation à la protection des ressources en eau souterraines contre la pollution.
- *L'échelle régionale* : la carte devient plus précise et permet d'orienter une politique générale pour une gestion adéquate de la qualité des eaux souterraines.
- *L'échelle régionale voire locale*: la carte de vulnérabilité devient un document capable permet d'aider à la décision en matière d'aménagement et d'élaborer des scénarios d'aménagement.
- *L'échelle locale* : elle permet une meilleure protection des ressources en eau souterraines et elle peut permettre à prendre des décisions définitives la carte reste un outil pour la protection de la ressource en eau ou de captages d'eau et elle peut permettre de prendre des décisions définitives (Cazaux M., 2007).

Enfin, la qualité de la carte de vulnérabilité dépend des données d'entrées (fiabilité des données, imprécision des mesures,...), de leur analyse et de leur traitement.

II.2.3. Les méthodes de cartographie de la vulnérabilité à la pollution :

Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des aquifères à la pollution sont nombreuses on dénombre plus de 24 à travers le monde. Les plus connues étant les méthodes multicritères d'indexation et de pondération de facteurs tels que des paramètres géologiques (épaisseur de la couverture ou de la zone non saturée, perméabilité des terrains), géomorphologiques (pentes, accidents particuliers), environnementaux (occupation du sol,...). Les premières cartes ont été conçues par Margat (1968) puis par Albinet (1970) et par Margat et Monition (1970). Elles étaient basées sur des principes simples liés au milieu physique: sol, zone non saturée et typologie de l'aquifère (Anonyme, 2009 et Anonyme (b), 2010).

Elles peuvent être classées en trois grandes catégories :

- ***Les méthodes de cartographie à index*** sont le plus souvent utilisées dans le cadre de la vulnérabilité intrinsèque, considérées comme les plus pertinentes vis-à-vis de terrains d'étude. Elles sont basées sur la combinaison de cartes de divers paramètres d'une région (critères de vulnérabilité), en donnant un index numérique à chaque paramètre et leur attribuent un poids. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG) (Vernoux J.F., 2007).

- *Les modèles de simulation* utilisant des équations mathématiques qui régissent le transport des polluants ; ces méthodes sont plus ou moins complexes, selon le nombre de transports ou le nombre de dimensions que l'on prend en compte. Ils donnent une image de la vulnérabilité spécifique de la nappe (Cazaux M., 2007);
- *Les méthodes statistiques* qui, en se basant sur une variable dépendant de la concentration en polluants, fournissent des caractéristiques sur les probabilités de contamination de la zone d'étude. Elles donnent une image de la vulnérabilité spécifique de la nappe (Dörfliger N. et al, 2004).

II.2.4. Les différentes méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité à la pollution:

A travers le monde, il existe de nombreuses méthodes qui permettent de créer des cartes de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution des aquifères (Murat V. et al, 2003). Ainsi, beaucoup de pays ont développé leur propre méthode, adaptée aux conditions et sensibilités locales, éventuellement en liaison avec la législation locale, en s'inspirant éventuellement de l'une ou l'autre méthode existante (Anonyme (b), 2010).

Nous citons suivant une étude bibliographique les différentes méthodes les plus utilisées pour la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution par la pondération et l'indexation des paramètres qui sont basées sur la combinaison des cartes de divers critères. On cite quelque méthodes :

2.4.1. La méthode DRASTIC :

DRASTIC est une des premières méthodes d'indexation et de pondération des facteurs et une des plus utilisées dans le monde. C'est l'une des méthodes du sous-groupe PCSM (Point Count System Model). Elle a été développée par l'E.P.A. (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985 et ensuite par Aller L. et al en 1987. Elle a basée sur l'attribution d'une notation aux différents paramètres utilisés (variant généralement entre 1 et 10) et leur groupement dans des classes différentes (Mardhel V. et al, 2005 ; Anonyme (b), 2010 ; Sinan M. et al, 2003).

L'objectif de la méthode DRASTIC est de donner une méthodologie standard qui donne des résultats fiables pour la protection des eaux souterraines contre la pollution anthropique dans le milieu poreux. Cette méthode est utilisée pour la cartographie à petite échelle et génère un indice pour le potentiel de pollution des ressources en eau souterraines. Cet indice s'étale sur un intervalle allant de 23 à 230.

Il faut noter que la vulnérabilité à la pollution est plus importante pour des notes plus élevées (Zerouali A. et El Meslouhi M., 2011).

La méthode DRASTIC est basée sur l'estimation de 7 paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère contrôlent la vulnérabilité vertical de l'eau souterraine :

- [D] : *Profondeur* de la surface de la nappe (ou *Depth*);
- [R] : *Recharge* nette;
- [A] : *Nature lithologique de l'Aquifère*;
- [S] : *Sol* (granulométrie et faciès);
- [T] : *Topographie des terrains*;
- [I] : *Impact de la zone non saturée* (lithologie et épaisseur);
- [C] : *Conductivité hydraulique (perméabilité) de la zone saturée* (Sinan M. et al, 2003).

Après l'indexation et la pondération de chaque facteur, le résultat final, appelé l'Indice DRASTIC, permet d'identifier des zones plus susceptibles d'être contaminées par rapport à d'autres. Plus l'indice DRASTIC est élevé, plus le potentiel de pollution de l'eau souterraine est grand (Anonyme (b), 2010).

Le tableau 2.2 ci-après contient les poids attribués à chacun des paramètres ci-dessus. Les poids les plus élevés (5) sont attribués à la nature lithologique et à l'épaisseur de la zone non saturée. Les poids les plus faibles (1 et 2) sont attribués respectivement à la pente et à la nature lithologique du sol (Sinan M. et al, 2003).

Tableau 2.2 : Les propriétés est les poids attribués aux paramètres DRASTIC (Mardhel V. et al, 2005).

Sym.	Paramètre	Propriétés	Poids
D	Profondeur de la nappe	Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met beaucoup de temps pour atteindre la surface piézométrique.	5
R	Recharge nette	Véhicule principal pour le transport du contaminant. Plus cette recharge est grande, plus le risque de contamination est élevé.	4
A	Lithologie de l'Aquifère	Caractérisée par la granulométrie des terrains saturés. Elle intervient dans le piégeage du polluant qui peut s'échapper au pouvoir d'absorption du sol. Plus la granulométrie est fine, plus le piégeage du polluant est grand.	3
S	Sol	Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.	2
T	Topographie	Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible,	1
I	Zone non saturée	Son impact est déterminé à partir de la texture des terrains qui la constituent. La percolation du polluant jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette texture est favorable (graviers, sables grossiers ...)	5
C	Perméabilité	Plus ce paramètre est grand, plus le transfert du polluant est rapide.	3

Une fois les différentes classes définies et leurs notes attribuées, la méthode détermine l'indice *DRASTIC* (*Id*) qui permet de caractériser le degré de vulnérabilité (1 à 10) d'un secteur donné, de la nappe. La vulnérabilité est d'autant plus importante que l'indice (*Id*) calculé est élevé. L'*Id* a été calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants selon la relation suivante:

$$ID = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Sc \times Sp + Tc \times Tp + Ic \times Ip + Cc \times Cp$$

Avec :

D, R, A, S, T, I, C: représentent les paramètres *DRASTIC*,

"**p**" étant le poids du paramètre *c*'est un facteur de pondération allant de 1 à 5

"**C**" la cote associé (Sinan M. et al, 2003).

L'établissement de la carte de vulnérabilité d'une nappe à la pollution consiste à reporter dans l'espace les valeurs de l'indice *DRASTIC* (*Id*) (Ake G.E. et al, 2009).

Tableau 2.3: Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode *DRASTIC* (Ake G.E. et al, 2009).

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	< 101
Moyen	101-140
Fort	141-200
Très fort	> 200

Alors, on a obtenues les cartes de vulnérabilités qui permettent de visualiser le degré relatif de vulnérabilité d'un secteur de la zone étudiée (Tableau 2.3). La relation entre la vulnérabilité avec l'indice calculé (*Id*) est proportionnellement directe ; plus l'index de vulnérabilité (*Id*) d'une zone est élevé, plus celle-ci est vulnérable aux pollutions.

Les notations généralement accordées aux sept paramètres de la méthode *DRASTIC* sont présentées dans l'annexe A. La notation 10 correspond au degré de vulnérabilité le plus élevé (Mardhel V. et al, 2005).

2.4.2. La méthode *E.P.I.K* :

Cette méthode largement employée en Suisse est devenue obligatoire dans ce pays pour définir la vulnérabilité des bassins karstiques captés pour l'AEP suite à la loi fédérale sur la protection des eaux de 1991. Elle a été développée par Döerfliger en 1996 puis Döerfliger et Zwahlen, en 1997. Celle-ci a été considérée comme étant la première méthode valable de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque pour les aquifères karstiques.

Leur objectif consiste à évaluer le degré de vulnérabilité intrinsèque de la région étudiée vis-à-vis de tout type de contaminant et délimite les périmètres de protection des captages des eaux (Dörfliger N. et Zwahlen F., 1998 ; Pranville J., 2007).

La méthode EPIK est une méthode multicritères à indices qui prend en compte quatre critères principaux:

- **L'épikarst "E"**: Son degré de développement conditionne une infiltration plus ou moins rapide de l'eau dans le toit du substratum calcaire.
- **La couvertureprotectrice "P"**: Son épaisseur est un facteur déterminant sur le temps de transit de l'eau depuis la surface du sol, jusqu'au toit de la formation calcaire.
- **Les conditions d'infiltration "I"**: Elles caractérisent une infiltration diffuse et lente ou concentrée
- **Le développement du réseaukarstique "K"**: IL détermine la rapidité des écoulements au sein de l'aquifère karstique (Pinaud M., 1999).

La méthode EPIK base sur l'organisation spécifique des écoulements dans le milieu karstique et consiste à l'évaluation de levé cartographique et la combinaison de quatre critères. Chaque paramètre est divisé en classes traduisant des degrés d'impact vis à vis d'une pollution. Un coefficient multiplicateur (facteur de pondération) est appliqué à chaque paramètre afin de traduire son importance relative par rapport aux autres. La gamme de variation du facteur de protection F est divisée en quatre classes correspondant à des zones de protection en matière de protection des points d'eau pour l'alimentation en eau potable.

L'indice final de vulnérabilité est calculé (facteur de protection) en chaque maille du système selon la formule suivante:

$$F = \alpha E_i + \beta P_j + \gamma I_k + \delta K_l$$

Avec: α , β , γ , δ : coefficients de pondération des critères;

K_l , P_j , I_k , E_i : valeur de chacun des critères indexés.

Les résultats de l'algèbre cartographique fournissent des cartes de vulnérabilité pouvant être directement transposées en cartes de zones de protection (Crestin G., 2001 et Belzelgues et al, 2002).

2.4.3. La méthode R.I.S.K.E.

La méthode de cartographie à index avec pondération des critères s'inspire de la méthode suisse EPIK en raison de leur spécificité envers les aquifères karstiques. Elle est un outil de cartographie de la vulnérabilité à destination des hydrogéologues praticiens, des hydrogéologues agréés ainsi que des administrations en charge d'établir les périmètres de protection ou de faire appliquer la loi sur l'eau en vigueur.

Elle a basée sur cinq critères caractéristiques du fonctionnement et de la structure des aquifères karstiques qui sont (Figure 2.2):

- **R** pour la roche aquifère : (lithologie et fracturation) la nature des formations géologiques peut influencer sur la circulation de l'eau, et donc des polluants potentiels, à l'intérieur de l'aquifère.
- **I** pour les conditions d'infiltration : (infiltration diffuse / infiltration Ponctuelle) Les deux paramètres primordiaux retenus sont la pente qui va plus ou moins favoriser le ruissellement au détriment de l'infiltration et les pertes qui vont permettre une infiltration directe et très rapide de l'eau jusqu'à l'aquifère.
- **S** pour le sol et la couverture protectrice (la teneur en cailloux, la texture et l'épaisseur) Les formations pédologiques forment une couverture protectrice au dessus des roches aquifères. Il est donc important d'évaluer le pouvoir protecteur et/ou régulateur de ces horizons vis-à-vis de polluants potentiels.
- **K** pour le degré de développement de la karstification : La karstification du milieu est l'un des paramètres les plus importants qui conditionnent la vulnérabilité. Ce critère permet de caractériser la vulnérabilité du milieu souterrain. Le développement du réseau karstique est donc à évaluer à partir de différentes méthodes, telles que l'analyse des hydrogrammes de crues (estimation du degré de karstification).
- **E** pour l'Epikarst (Dörfliger N. et al, 2005).

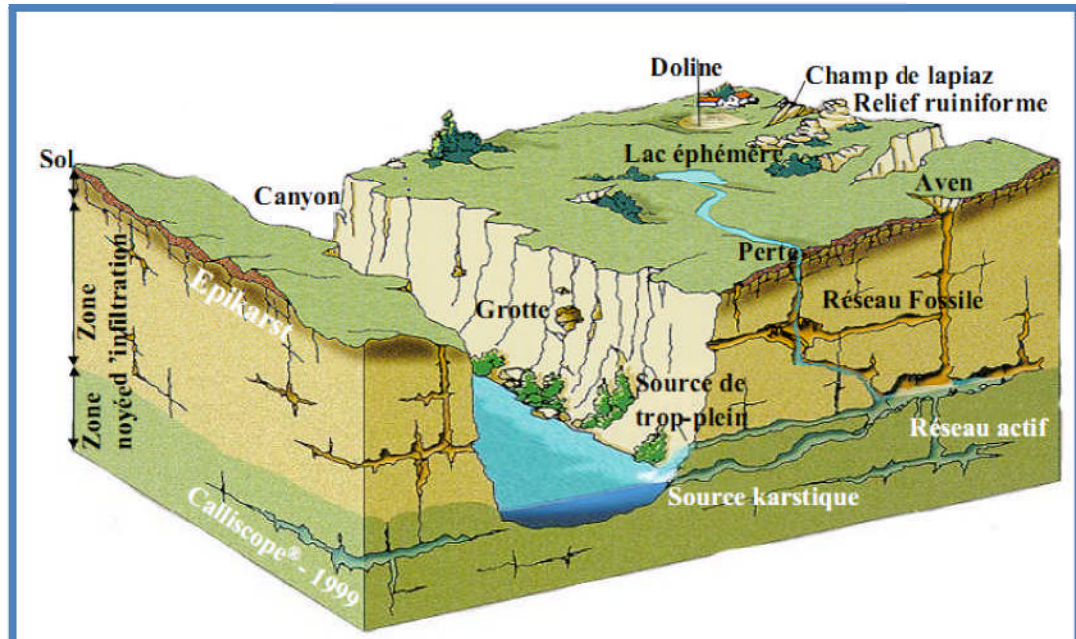


Figure 2.2 : Les critères de la vulnérabilité intrinsèque de la méthode RISK (modifiée d'après Petelet Giraud et al, 2001) (Dörfliger N. et al, 2005).

Les cinq critères R.I.S.K.E est subdivisé en classes matérialisées par un indice allant de 0 à 4. Cette étape de cartographie peut être réalisée avec un logiciel de SIG de type Map Info. Les classes sont définies pour chaque critère de manière spécifique. Elle permet de calculer l'indice de vulnérabilité global I_g en chaque maille de la zone d'étude ; une maille de 50m sur 50m (guidée par le pas du Modèle Numérique de Terrain disponible sur la zone d'étude). Ainsi, cet indice de classe pour chaque critère est multiplié par un facteur de pondération du critère considéré ; le poids est plus important pour le critère le plus sensible vis-à-vis de la vulnérabilité. Les valeurs obtenues sont ensuite additionnées pour obtenir l'indice de Vulnérabilité global I_g . Cette étape revient à superposer les 5 cartes des critères indexés afin d'obtenir une représentation cartographique de la répartition de l'indice I_g . La valeur de l'indice est subdivisée en 5 classes de vulnérabilité régulières traduisant la sensibilité relative du milieu aux influences naturelles et anthropiques (Dörfliger N. et al, 2005 ; Belzelgues et al, 2002).

L'indice global de vulnérabilité est calculé (I_g) en chaque maille du système se fait selon la formule suivante :

$$I_g = \alpha R_i + \gamma K_i + \delta S_k + \beta I_j + \varepsilon E_m$$

Avec :

$\epsilon, \beta, \delta, \gamma, \alpha$: poids des critères R.I.S.K.E.

$i, j, k, 1, m$: indices des critères R.I.S.K.E.

Les cartes de vulnérabilité obtenues à l'aide de la méthode RISKE ne sont en aucun cas des cartes permettant l'implantation d'un site industriel ou agricole sans passer par l'établissement d'une étude détaillée d'impact sur l'environnement.

2.4.4. La méthode R.I.S.K.E.2 :

La méthode de cartographie R.I.S.K.E.2 est une dérivée de la méthode suisse EPIK et de la méthode RISKE. C'est une évolution de cette dernière laquelle apporte même une amélioration sur la définition des 5 critères. Aussi, elle est une méthode d'indexation et de pondération des critères (P.C.S.M.) qui s'intéresse à la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique. En effet, elle détermine la capacité qu'aurait une goutte d'eau à s'infiltrer au sein de l'aquifère jusqu'à la ressource puis, à atteindre la source et permet d'évaluer les zones favorables à l'infiltration contre la pollution (Pranville J. et al, 2007).

Leur objectif est d'établir la variabilité des modalités d'infiltration vers la ressource et la source et les évolutions méthodologiques qui ont mené de «RISKE » à « RISKE 2 » concernant les critères S, E, I et K (Figure 2.3):

- Dans RISKE, le critère E permettait de cartographier les morphologies karstiques de surface. Dans RISKE 2, il qualifie la présence ou non d'un épikarst pouvant constituer un aquifère temporaire de stockage en subsurface. Les caractéristiques physiques et spatiales (épaisseur, fracturation, remplissage, continuité latérale) de l'épikarst seront prises en compte dans la définition du nouveau critère E.
- Les critères S (Sol) et E (Epikarst) sont englobés au sein d'un même critère de protection P. Des combinaisons entre les indices de E et S donneront des valeurs d'indices pour P.
- Le critère I distinguera les zones d'infiltration (infiltration diffuse / infiltration Ponctuelle). Pour cela, une étude des pentes (déjà utilisées pour « RISKE ») et de la morphologie karstique de surface (auparavant définie dans le critère E) sera couplée.

Alors, l'abréviation pourrait se notifier RIPK dans le cadre du calcul de l'indice global de vulnérabilité « Ig ». Ces critères seront dans une première phase cartographiés et indicés selon leur degré de vulnérabilité intrinsèque. Puis chacune

des cartes obtenues sera discrétisée en un maillage prédéfini qui permettra de calculer pour chaque cellule une valeur de l'indice global « Ig » de vulnérabilité. Mais il nécessite de connaître les cartes R, I, S, K et E.

Enfin, le résultat obtenu au sein de chaque maille est l'indice global de vulnérabilité « Ig » (Pranville J. et al, 2007) qui est calculé selon la formule suivante :

$$I_g = rR_{0-4} + iI_{0-4} + pP_{0-4} + kK_{0-4}$$

Ce calcul est soumis à deux premières conditions:

$$i \geq r > p \geq k \geq 0.1 \quad \text{et} \quad \sum (\text{indices de pondération}) = 1$$

Le tableau 2.4 représente les cinq classes de vulnérabilité. Chaque classe est d'une couleur différente et identifiante.

Tableau 2.4 : Reclassification des valeurs d'Ig en classes de vulnérabilité (Pranville J. et al, 2007).

Ig	Indices de vulnérabilité
0 - 0,79	0
0,8 - 1,59	1
1,6 - 2,39	2
2,4 - 3,19	3
3,2 - 4	4

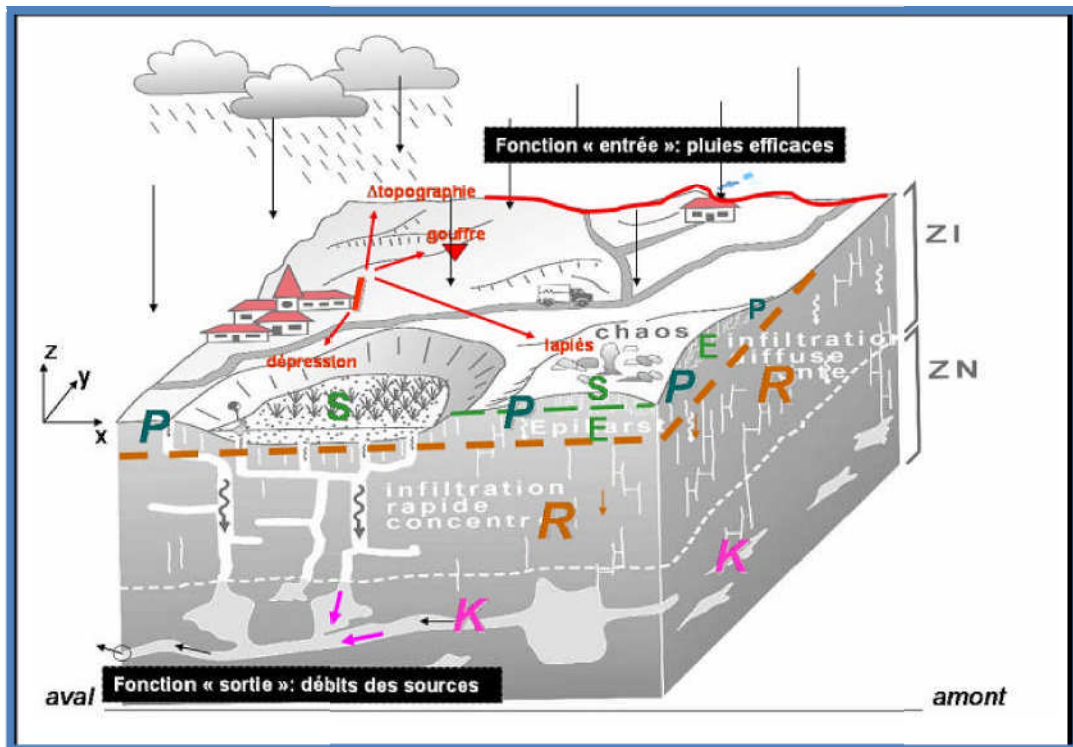


Figure 2.3 : Modèle conceptuel des secteurs d'application des critères de RISKE 2 (Pranville J. et al, 2007).

2.4.5. La méthode G.O.D.

Ce système a été développé par Foster en 1987 au Pays-bas et a été appliqué en milieu poreux. Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée. Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères (Belzelgues et al, 2002) (Figure 2.4):

- Type de nappe (Groundwater occurrence) ;
- Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (Overallaquifer class) ;
- Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table).

Le but de cette méthode est de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère.

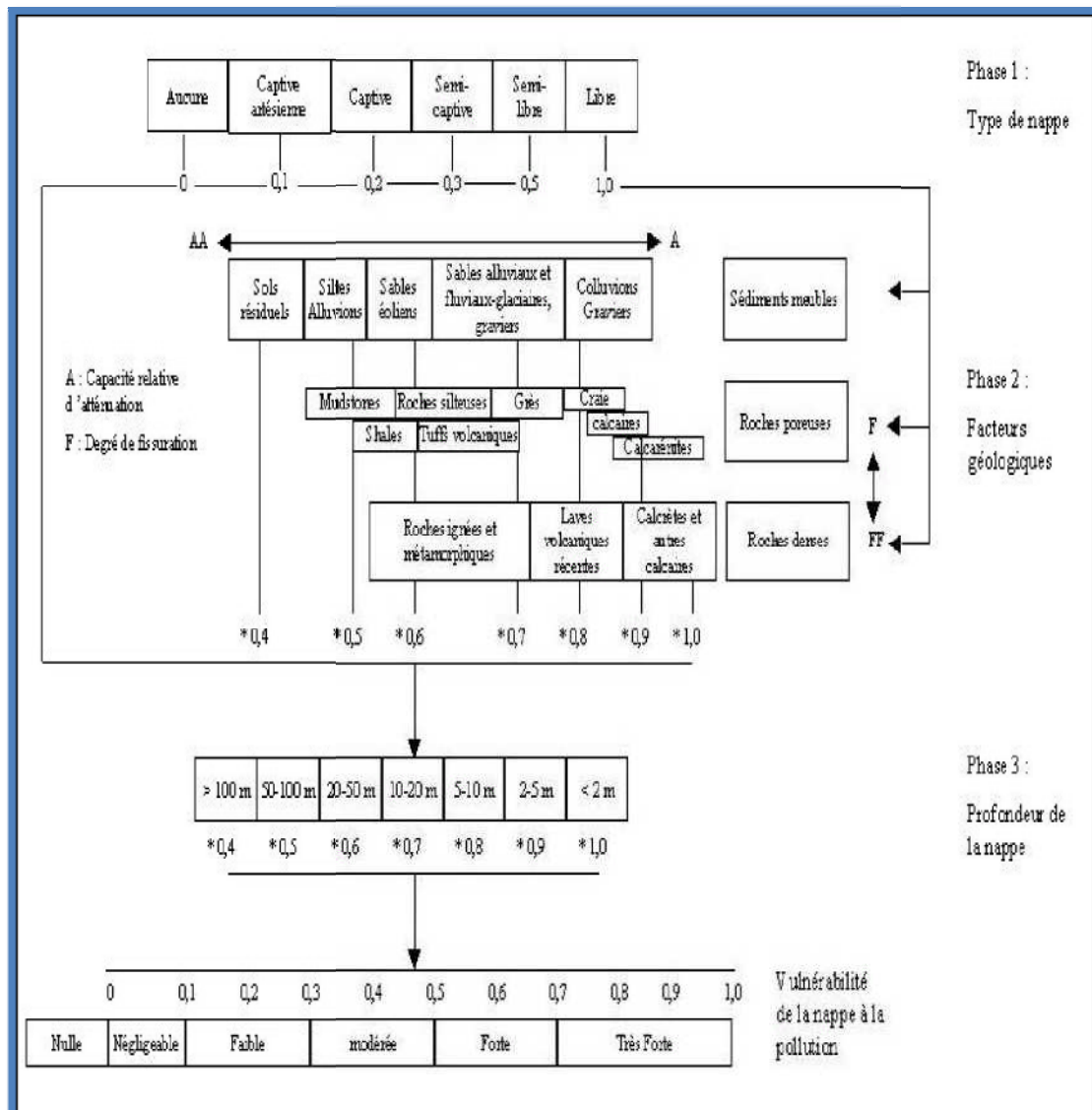


Figure 2.4 : Système empirique G.O.D; pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (Foster, 1987).

L'indice de vulnérabilité (IGOD) (tableau 2.5) est obtenu par la multiplication des indices de chacun de ces trois paramètres selon la formule suivante (Muratv.V. et al 2003):

$$I_{GOD} = C_i * C_p * C_a$$

Avec : C_i : critère G, C_p : critère O, C_a : critère D.

Tableau 2.5 : Intervalles des valeurs l'indice GOD et classes correspondantes (Murat V. et al, 2003).

Intervalle	Classe GOD
0	Aucune vulnérabilité
0 à 0,1	Vulnérabilité très faible
0,1 à 0,3	Vulnérabilité faible
0,3 à 0,5	Vulnérabilité modérée
0,5 à 0,7	Vulnérabilité forte
0,7 à 1	Vulnérabilité très forte

2.4.6. La méthode S.I.N.T.A.C.S.

La méthode SINTACS représente une adaptation de la méthode DRASTIC aux conditions méditerranéennes. C'est la version italienne de la méthode DRASTIC qui a été développée au début des années 1990, de manière à s'adapter à la cartographie à plus grande échelle ; cartographie à moyenne et grande échelle ; compte tenu de la grande diversité hydrogéologique de l'Italie (Petelet et al, 2000 in Mardhel V. et al, 2005 ; Mimoun D. et Graillet D., 2010).

Cette approche prend en considération les mêmes paramètres que la méthode DRASTIC avec des poids et des cotes différentes. L'acronyme SINTACS correspond aux initiales des sept facteurs soit en italien :

- **S** : Soggiacenza (profondeur de la nappe) ;
- **I** : Infiltrazione (infiltration) ;
- **N** : Azionedel Non Saturo (fonction de la zone non saturée) ;
- **T** : TipologiadellaCopertura (sol) ;
- **A** : CarratteriIdrogeologici dell' Acquifero (caractéristique hydrogéologiques de l'aquifère) ;
- **C** : ConducibilitaIdraulica (conductivité hydraulique) ;
- **S** : Acclivitàdella Superficie Topographica (pente moyenne de la surface topographique) (Hamza M.H. et al, 2008).

La spécificité de cette méthode consiste au fait qu'elle propose cinq scénarios différents de vulnérabilité:

- *Scénario « Impact Normal »* : scénario relatif aux aquifères. Les zones relatives à ce scénario correspondent aux régions stables, de point de vue occupation des sols, avec existence ou non de terres cultivées, une utilisation faible de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, et des périmètres urbains très dispersés;
- *Scénario « Impact Sévère »* : correspond aux mêmes types d'aquifères soumis à une occupation des sols intensive, avec des terres cultivées à forte utilisation de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, des implantations industrielles et urbaines denses, et des dépôts liquides et solides de déchets;
- *Scénario « Drainage important à partir d'un réseau superficiel »* : scénario relatif aux aires où il y a une forte infiltration vers l'aquifère à partir d'un réseau superficiel d'eau;
- *Scénario « Terrain très karstifié »*;
- *Scénario « Terrain fissuré »* (Hamza M.H. et al, 2008 ; Mimoun D. et Graillot D., 2010).

La méthode SINTACS permet d'utiliser des facteurs de pondération variables selon les situations pour le calcul d'Iv (Schnebelen et al, 2002 in Mardhel V. et al, 2005). Après le calcul de ce dernier, on trouve quatre classes de vulnérabilité qui peuvent être identifiées selon les valeurs des indices de vulnérabilité (voir Tableau 2.6). Donc, l'index de vulnérabilité Iv est calculé selon la formule:

$$I_v = \sum P_{(1,7)} * W_{(1,n)}$$

Avec:

$P_{(1,7)}$: index des critères 1 à 7

$W_{(1,n)}$: poids de chaque classe (varie de 1 à n)

Tableau 2.6 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS (Hamza M.H. et al, 2008).

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	< 106
Moyen	106 – 186
Elevé	186 – 210
Très élevé	> 210

L'évolution de cette méthode au milieu karstique préconise d'intégrer les morphologies karstiques de surface et données hydrogéologiques ainsi que l'adaptation du critère C pour le karst (Mimoun D. et Graillot D., 2010).

2.4.7. La méthode DISCO :

La méthode "DISCO" (discontinuités - couverture protectrice) a pour but de définir les zones de protection et de caractériser la vulnérabilité d'un aquifère discontinu fissuré très hétérogènes qui prend en considération les facteurs géologiques et hydrogéologiques conditionnant le fonctionnement de l'aquifère fissuré (Pochon A. et Zwahlen F., 2003 ; Mardhel V. et al, 2005).

Autant, elle est une méthode de cartographie multicritère de la vulnérabilité des bassins d'alimentation et évalue sur la base des trois paramètres qui sont nécessaires et suffisants pour évaluer le transport d'un polluant d'un point quel conque du bassin d'alimentation jusqu'à son arrivée au captage :

- **le paramètre "discontinuités"** : distribution et géométrie des discontinuités au sein des aquifères, Il caractérise le transit de l'eau à l'intérieur de l'aquifères fissurés entre le point d'infiltration de l'eau jusqu'à l'ouvrage de captage. Ce paramètre est défini par cinq classes en fonction du degré de fracturation de la roche.
- **le paramètre "couverture protectrice"** : distribution et efficacité des sols et des couches de couverture (sol, alluvions... etc.).
- **le paramètre "ruissellement"** : (écoulement superficiel) englobe les phénomènes d'écoulement de l'eau en surface avant son infiltration (ruissellement de pente, cours d'eau permanents ou temporaires) (Mardhel V. et al, 2005, Vernoux J.F., 2007 ; Müller S. et Kozel R., 2004).

Le report sur cartes, la combinaison et la pondération de ces paramètres permettent de déterminer un facteur de protection final F pour chaque partie du bassin d'alimentation. Les zones de protection des eaux souterraines sont alors déterminées en attribuant une valeur du facteur de protection à chacune des zones S1, S2 et S3 en délimitant les zones S (Vernoux J.F., 2007).

Le facteur de protection final F de vulnérabilité est évalué selon la formule suivante:

$$\text{Vulnérabilité} = 0,5D + 0,3R + 0,2S$$

Avec: D : Discontinuités,

P : couche protectrice,

R : ruissellement (Figure 2.5).

La délimitation des zones de protection est effectuée sur la base d'une relation d'équivalence entre la valeur du facteur de protection final F et les zones S (Pochon A. et Zwahlen F., 2003).

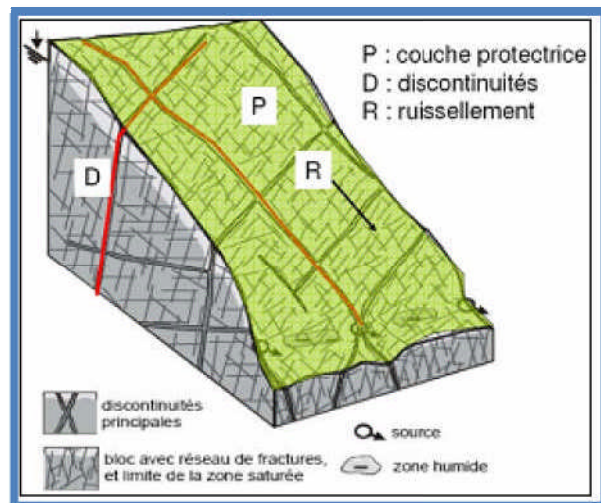


Figure 2.5 : Paramètres de la vulnérabilité d'un aquifère discontinu fissuré adaptée par la méthode DISCO (Vernoux J.F., 2007).

2.4.8. La méthode C.O.P.

La méthode C.O.P. (Concentration of flow, Overlyinglayers, Precipitation Regime), est une méthode détaillée, décrivant les deux principaux facteurs internes du système définis par l'approche européenne et le facteur externe P est également utilisé ici dans l'aquifère karstique. Elle est similaire à la méthode PI, intégrant la recharge comme paramètre à part entière. Les paramètres utilisés sont relativement simples à obtenir et la méthode est applicable de manière aisée (Dörfliger N. et al, 2004).

En revanche, elle a été développée dans le cadre de l'action COST 620 par le groupe d'hydrogéologie de l'université de Malaga, avec le soutien financier du ministère espagnol de la recherche et de la science, ainsi que des groupes de recherche d'Andalousie. La méthode développée a été testée sur deux sites dans le sud de l'Espagne dans la région de Torremolinos. Cette méthode, avec ces trois facteurs, C, O et P, est une méthode de caractérisation de la ressource et non d'une source ou d'un captage

Les facteurs O, C et P de l'approche européenne de cartographie de la vulnérabilité ont été caractérisés par un système d'indexation de chacun des critères et pas de calcul pondéré particulier. Pour les trois critères, les classes de valeurs peuvent être interprétées en indices de protection vis-à-vis de l'aquifère karstique.

Les trois facteurs de la méthode « COP » sont :

- **Le critère O** : formations superficielles de couverture résultant du croisement entre l'épaisseur et la nature de la couverture ; sol et formations lithologiques de la zone non-saturée qui protègent l'aquifère sous-jacent.
- **Le critère C**:cherche à distinguer les zones qui concentrent les écoulements d'eaux météoriques vers des points d'infiltration directe et concentrée des zones où l'infiltration est très diffuse.
- **Le critère P** : (précipitation) rend compte de l'hétérogénéité des intensités et de quantité de pluies sur une zone donnée (Daly et al, 2002 in Pranville J. et al, 2007)

Le calcul de l'indice final C.O.P. revient à tamponner la valeur de O (comprises entre 1 et 15) par les valeurs de C et P (comprise entre 0 et 1) (Daly et al, 2002 in Pranville J. et al, 2007).Cet indice est obtenu à partir de la relation suivante :

$$\text{Indice final COP} = \text{Score C} * \text{Score O} * \text{Score P}$$

Après le calcul de I_{COP} , on trouve cinq classes de vulnérabilité ; Très Faible, Faible, Modérées, Elevé, Très élevé ; qui peuvent être identifiées selon les valeurs des indices de vulnérabilité (Tableau 2.7). Ainsi, la carte COP est le résultat d'une combinaison simple entre les trois cartes C, O et P. Elle montre l'influence prédominante des très faibles protections (très fortes vulnérabilité) de la carte O aux quelles viennent s'associer les fortes vulnérabilités liées à la carte C (Pranville J. et al, 2007). Par contre, le nombre important de calcul de valeurs d'indice, nécessite d'effectuer les compilations des cartes à l'aide d'un système géographique traitant des images « Raster » (Dörfliger N. et al, 2004).

Tableau 2.7 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode COP (Dörfliger N. et al, 2004).

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité COP
Très élevé	0 – 0,5
Elevé	0,5 – 1
Modérées	1 – 2
Faible	2 – 4
Très Faible	4 – 15

2.4.9. La méthode P.I. :

La méthode P.I. (Protective cover, Infiltration conditions) a été développée dans le cadre de l'action 620 et cofinancées par le BGR, à l'université de Karlsruhe (Allemagne), récemment appliquée dans une zone du Sud-ouest de l'Allemagne. Cette méthode est l'évolution de la méthode « GLA-method » (Hölting B. et al, 1995), qui n'était pas suffisamment complète pour être appliquée aux aquifères karstiques (Pranvile et al, 2007 ; Dörfliger N. et al, 2004). Elle a été mise au point par Goldscheider en 2002 bien avant l'approche européenne (Zwahlen F., 2004 in Dorni S., 2011). Celle-ci est caractérisée de la vulnérabilité de la ressource et non d'une source ou d'un captage.

Le concept général est le suivant ; c'est une méthode orientée Système d'Information Géographique, qui est basée sur le concept « origine-écoulement-cible ». Cette approche prenait en considération le facteur O de l'approche européenne. « PI- méthode » reprend dans le critère P la définition des critères O et P, et introduit avec le critère I les notions définies dans le facteur C de l'approche européenne (Pranvile J. et al, 2007 ; Dörfliger N. et al, 2004) (Figure 2.6). Elle repose essentiellement sur la caractérisation spatiale de deux critères :

- **Le critère P** caractérise la couverture Protectrice. Il englobe l'ensemble des couches de la zone non-saturée par un processus d'additivité des effets protecteurs.

Il est subdivisé en 5 classes différentes, de 1 faible degré de protection à 5 forts degrés de protection. La détermination des classes de ce critère repose sur une méthode développée par Hölting en Allemagne. Cette dernière détermine une valeur d'indice pour 5 classes, en considérant d'une part l'épaisseur des formations, la nature du sol sensu stricto, le recharge, la lithologie et l'intensité de fracturation. Le calcul du critère P est obtenu comme suivant (Pranvile J. et al, 2007 ; Dörfliger N. et al, 2004):

$$Pts = [T + (\sum Si * Mi + \sum Bi * Mi)] * R + A$$

Avec :

T : (topsoil/couverture pédologique) Pour une épaisseur donnée, est attribuée une valeur de T.

M : épaisseurs

S : soil/sol

R : recharge (mm/an)

B : Bedrock/substrat rocheux

A : pressions artésiennes.

- **Le critère I** caractérise les conditions d'infiltration prise en compte de concepts hydrologiques. Il propose toujours d'établir des zones distinctes de vulnérabilité chacune associée à des modalités différentes d'infiltration à la surface. La valeur de I est comprise entre 1 et 0, avec I=0 correspond à une infiltration diffuse, $0 < I < 1$ pour des écoulements latéraux de surface et subsurface, et I = 1 correspond à une infiltration ponctuelle.
- Le calcul pour obtenir la carte finale de vulnérabilité intrinsèque est $JI = P * I$, l'indice final JI varie de 1 à 5 et les classes de vulnérabilité correspondantes sont données dans le tableau 2.10. Le facteur de protection JI: $JI > \text{ou} = 1$ signifie un degré de protection très faible, une vulnérabilité extrême à la pollution ; $JI = 5$ signifie un fort degré de protection et une très faible vulnérabilité (Pranville J. et al, 2007 ; Dörfliger N. et al, 2004) (Tableau 2.8).

Tableau 2.8 : Légende de la carte de vulnérabilité de la méthode PI (COST 620) (Dörfliger N. et al, 2004).

	Carte de vulnérabilité		Carte P		Carte I	
	Description	π - facteur	Description	P- facteur	Description	I-facteur
Rouge	Extrême	0-1	Très faible	1	Très élevée	0.0-0.02
Orange	Haute	> 1-2	Faible	2	Élevée	0.4
Jaune	Modérée	> 2-3	Modérée	3	Modérée	0.6
Vert	Faible	> 3-4	Élevée	4	Faible	0.8
Bleu	Très faible	> 4-5	Très élevée	5	Très faible	1.0

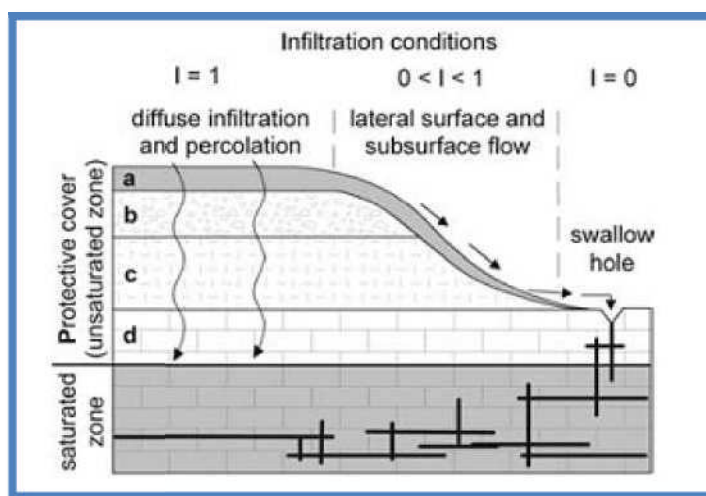


Figure 2.6 : Illustration de la méthode PI (Goldscheider N., 2005).

2.4.10. La méthode A.V.I. :

La méthode de l'index de vulnérabilité des couches aquifères (Aquifer Vulnerability Index - AVI) détermine un critère de protection des eaux souterraines dans les milieux poreux et cherche à évaluer le temps de transport d'éventuels contaminants en fonction de l'épaisseur de la Z.N.S. Elle est développée par l'institut de recherche national d'hydrologie (National Hydrology Research Institute - NHRI) à Saskatoon, Saskatchewan (Canada). Cette technique a été appliquée à une partie de la région frontalière entre le Saskatchewan et l'Alberta (Van Stempvoort, et d'Al, 1992) (Pranville J. et al, 2007 ; Allier D. et al, 2008).

AVI mesure la vulnérabilité selon la résistance hydraulique (c) à l'écoulement vertical de l'eau opposée par les formations géologiques situées au-dessus de la couche aquifère. La résistance hydraulique est calculée à partir de l'épaisseur (d) de chaque couche sédimentaire et de la conductivité hydraulique (k) de chacune de ces couches suivant la relation suivante :

$$\text{Résistance hydraulique, } c = \sum \text{Di} / \text{Ki}$$

, pour les couches de 1 à i.

Donc, une résistance hydraulique (c) faible, suppose une vulnérabilité importante, d'autre part, (c) élevée suppose une vulnérabilité faible. Une carte de vulnérabilité peut être déduite en calculant le logarithme 10 de la résistance hydraulique (notation c) pour chacun des points inventoriés. Les surfaces résultantes (par interpolation des points, à fortiori pour un milieu supposé homogène) représentent les secteurs de résistance différente (Allier D. et al, 2008) (Tableau 2.9).

Tableau 2.9 : Les catégories de vulnérabilité (Allier D. et al, 2008).

Résistance hydraulique, c (années)	Notation (c)	Catégorie de vulnérabilité
< 10 ans	< 1	vulnérabilité extrêmement élevée
10 -100 ans	1 à 2	vulnérabilité élevée
100 -1000 ans	2 à 3	vulnérabilité modérée
1000 -10000 ans	3 à 4	basse vulnérabilité
> 10.000 ans	> 4	vulnérabilité extrêmement basse

2.4.11. L'approche européenne (O.C.P.K.):

L'approche européenne pour la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque proposée par COST 620, DALY et al. 2001, est un modèle très flexible qui peut être adapté à différents milieux aquifères (Zwahlen F., 2004 in Bensaoula F., 2006). L'approche COST 620 est basée sur une démarche itérative afin d'évaluer le risque de contamination d'un aquifère en tenant compte des caractéristique particulières d'un milieu karstique.

L'objectif de COST 620 était de développer de nouveaux outils qui puissent assister les décisions en termes d'aménagement des zones karstiques européennes et protéger sur le long terme ces ressources face aux dangers de pollutions potentielles générées par les activités anthropiques (Pranville J. et al, 2007). Elle définit des concepts et des principes qui sont considérés comme universels et applicables à toute la gamme de karst en Europe (Sineich et al, 2005 in Bensaoula F., 2006).

L'approche européenne utilise quatre critères pour déterminer la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère karstique. Dans ce modèle conceptuel quatre facteurs, O, C, P et K sont mis en jeu:

- **O (overlayinglayers)** correspondent à la couche couvertures de sol pouvant être définies comme protectrices ou vulnérables vis-à-vis de l'infiltration.
- **C (concentration of flow)** ou concentration de l'écoulement. Ce facteur représente le degré de concentration des précipitations vers les endroits qui permettent une infiltration rapide. Si cette infiltration est diffuse ce facteur n'est pas déterminant. Le degré de concentration dépend des paramètres qui contrôlent le ruissellement tel que la pente, les propriétés de surface (telle que la perméabilité), la végétation, la présence d'éléments qui concentrent l'écoulement (telles que les pertes et les zone à forte perméabilité).
- **K (Karst network development)** rend compte du degré de développement du système karstique, notamment de son réseau de drainage de la zone saturée.
- **P (Precipitation régime)**, qui fait intervenir un facteur externe au système. Il considère lerégime des précipitations (quantité annuelle, intensité, fréquence et durée). Ce facteur influe sur l'infiltration et la recharge de l'aquifère et par conséquent le transport du polluant et sa dilution au sein de l'aquifère.

Les paramètres C, O et K demeurent des critères internes au système, tandis que P est un critère externe. Pour la vulnérabilité de la ressource, les critères C, O et P peuvent être pris en considération. Ils sont relativement faciles à identifier et à cartographier. En revanche le critère K n'interviendra que pour la vulnérabilité de la source et est plus délicat à identifier et cartographier (Pranville J. et al, 2007 ; Jeannin P.Y., 1996 in Bensaoula F., 2006).

La cartographie de vulnérabilité de cette méthode est obtenue par la superposition des cartes de divers critères indexés O, C, P, K afin d'obtenir une représentation cartographique.

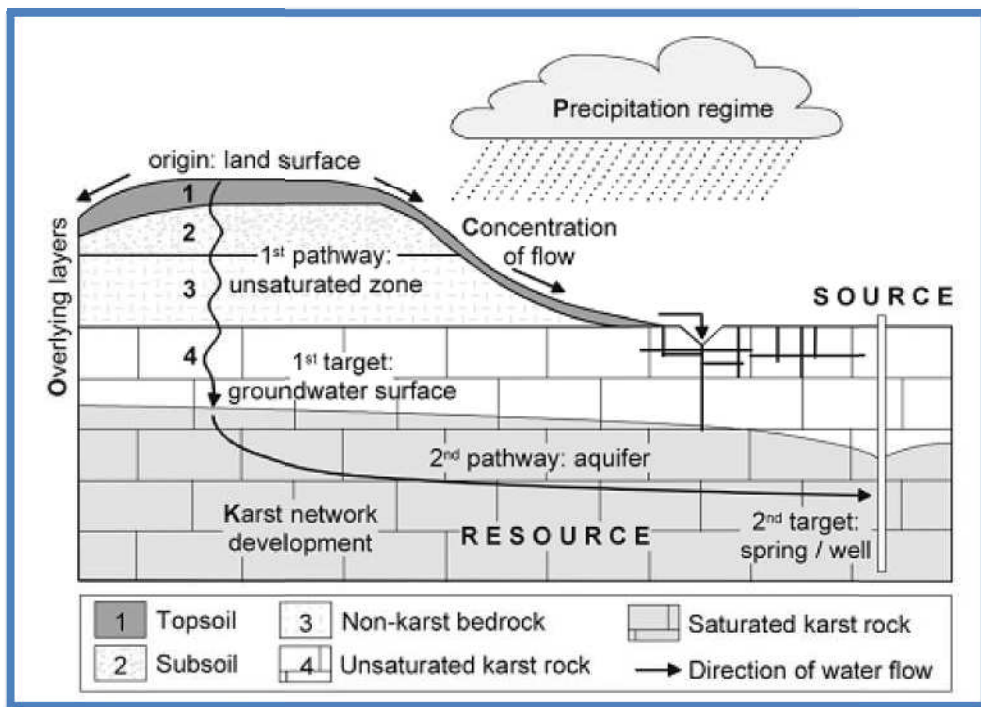


Figure 2.7: Eléments pris en considération dans la méthode de cartographie de la vulnérabilité: approche européenne (Goldscheider N. et Popescu I.C., 2004 in Nguyen V.T.M. et al, 2004).

II.3. LA PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES :

La protection des eaux souterraines a une priorité dans le cadre de la politique environnementale ; car une fois contaminées, les eaux souterraines sont plus difficiles à nettoyer que les eaux superficielles et les conséquences peuvent se prolonger pendant des décennies. Puisque les eaux souterraines sont très utilisées pour le captage d'eau potable, pour l'industrie et pour l'agriculture, sa pollution peut être dangereuse pour la santé humaine et pour le bon déroulement de ces activités. Donc, on doit protéger tout ouvrage de mobilisation des eaux contre la pollution par un

périmètre de protection tel qu'il est recommandé par la réglementation. Alors, la mise en place des périmètres de protection autour des captages est une obligation ; elle permet d'assurer la sécurité générale des équipements et la préservation de la qualité qui sera fournie aux abonnés.

La législation sur la protection des eaux vise à protéger les eaux souterraines contre toute atteinte nuisible et à permettre leur exploitation durable dans le respect des équilibres écologiques. Comme les eaux souterraines sont menacées de tous côtés et qu'elles sont omniprésentes, il faut autant que possible, respecter les objectifs écologiques qui s'y rapportent de manière générale. Il apparaît en outre nécessaire d'assurer leur protection en tenant compte de leur utilisation pour la production d'eau potable (Müller S. et Kozel R., 2004 ; Bensaoula F. et al, 2003).

II.3.1. Les périmètres de protection de captage d'eau :

Les périmètres de protection des eaux souterraines servent à protéger les eaux souterraines sur une certaine surface, en vue d'une utilisation future (exploitation ou Alimentation artificielle). Ils correspondent à un zonage établi autour des captages d'eau potable en vue d'assurer la préservation de sa qualité. En complément aux indispensables actions générales de préservation du milieu, les périmètres de protection s'affirment comme l'outil privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution susceptible d'altérer la qualité des eaux prélevées. Ils sont définis sur la base de critères hydrogéologiques.

Les périmètres de protection permettent également de réduire le risque de survenue de pollutions accidentelles de la ressource, situations dont les conséquences peuvent être importantes pour les collectivités. Ils prescrits par une déclaration d'utilité publique et prennent la forme de trois zones dans lesquelles des contraintes plus ou moins fortes sont instituées pour éviter la dégradation de la ressource [31 et 6] (voir figure 2.8).

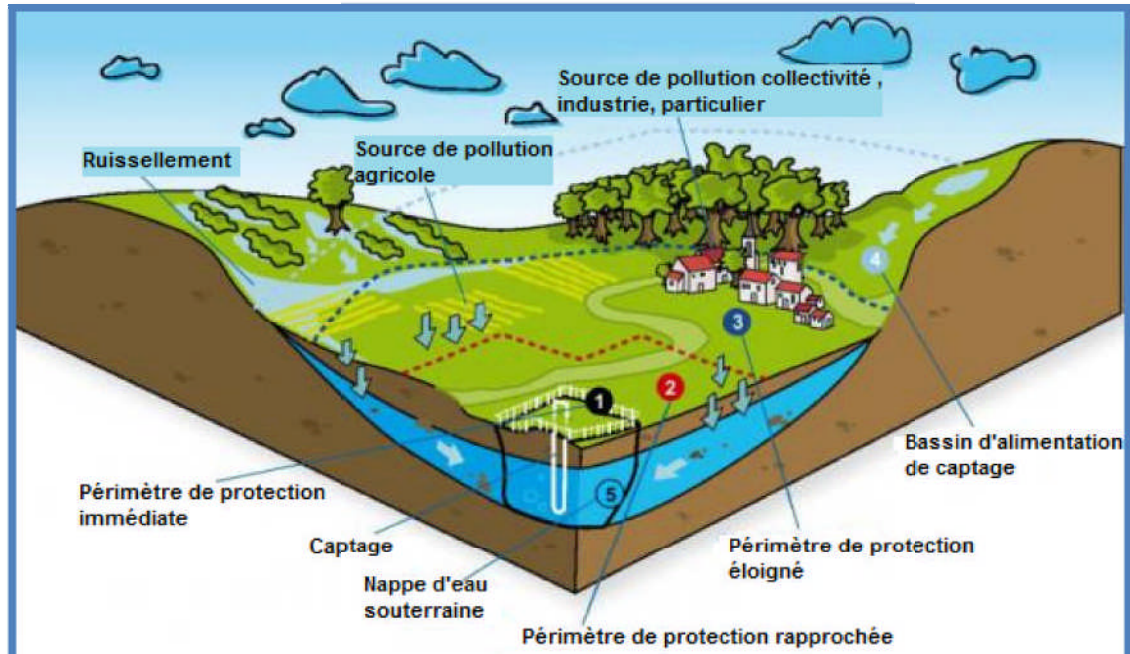


Figure 2.8 : Périmètres de protection et Bassin d'Alimentation de Captage [33].

II.3.2. Les types de périmètre de protection :

Tout ouvrage de mobilisation des eaux doit être protégé contre la pollution. Cette protection est matérialisée par des périmètres qui contiennent trois niveaux de périmètres définis comme suit :

3.2.1. Le périmètre de protection immédiate :

Premier niveau de protection, obligatoire, comprend le terrain directement adjacent au point de captage. Leur objectif est d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et d'éviter les injections directes des substances polluantes qui se produisent à l'intérieur ou à proximité de captage. Alors, il vise à éliminer tout risque de contamination directe de l'eau captée.

Ce terrain doit être acheté par le propriétaire du captage et doit être entièrement clôturé pour éviter toute intrusion. Toute activité à risque y est interdite. Aucune activité n'est tolérée à l'intérieur, à l'exception de celles qui sont liées à la maintenance des ouvrages [30, 31].

3.2.2. Le périmètre de protection rapprochée :

Le périmètre de protection rapprochée est une zone intermédiaire qui peut comporter généralement une surface plus vaste, disjointes ou non délimitées selon la vulnérabilité de l'aquifère, et la distance au point de captage. Sa surface dépend des

caractéristiques physiques de l'aquifère, de l'écoulement souterrain, des débits de pompage et de la vulnérabilité de la nappe.

Son objectif est de protéger efficacement le captage vis-à-vis de la migration souterraine de substances polluantes. Toutes les activités, installations et dépôts susceptibles de provoquer une pollution et de nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux sont interdites [31 et 32].

Les activités sont généralement interdites dans ce périmètre

- l'exploitation des carrières à ciel ouvert;
- le dépôt d'ordures ménagères, détritiques et produits radioactifs et de tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux ;
- l'épandage de fumier, d'engrais et de pesticides.
- l'installation d'équipements servant le stockage et le transport des hydrocarbures.
- l'installation de canalisations d'eaux usées ou autres (Bensaoula F. et al, 2003).

3.2.3. Le périmètre de protection éloignée :

Troisième niveau de protection, non obligatoire, permet de renforcer la protection, notamment vis-à-vis des pollutions ponctuelles et diffuses. Sa superficie très variable et correspond à la zone d'alimentation du captage, voire à l'ensemble du bassin versant s'il est vulnérable. Les activités, dépôts ou installations présentent un danger de pollution pour les eaux prélevées, par la nature et la quantité de produits polluants mis en jeu ou par l'étendue des surfaces qu'ils affectent. Ainsi, ils peuvent être réglementés les activités, dépôts ou installations compte tenu de la nature des terrains et de l'éloignement du point de prélèvement. De plus, ils présentent un danger de pollution pour les eaux prélevées, par la nature et la quantité de produits polluants mis en jeu ou par l'étendue des surfaces qu'ils affectent [30 ; 31 et 32].

A noter que les périmètres éloignés sont les plus efficaces vis à vis de la réduction de la pollution diffuse (Nitrates, phytosanitaires) [30].

Ces périmètres sont indiqués sur plan parcellaire. Ils sont matérialisés sur le terrain par des panneaux placés sur les accès principaux.

II.3.3. Les critères de délimitation des zones de protection :

L'analyse des réglementations existantes met en évidence certains critères qui sont utilisés pour délimiter les zones de protection. Les valeurs attribuées aux critères

représentent des limites au-dessus ou au-dessous desquelles le critère considéré cesse de fournir le degré de protection souhaité. Cinq critères peuvent être pris en compte :

- pouvoir épurateur du sol
- rabattements
- temps de transfert
- distances
- limites d'écoulement (Lallemand Barres A. et Roux J.C, 1999).

3.3.1. Le pouvoir épurateur du sol :

Les constituants du sol se présentent sous trois phases : les éléments minéraux et organiques constituant une phase solide, une phase liquide et une phase gazeuse. La reconnaissance d'un sol est basée sur une bonne description du profil pédologie :

- Situation, exposition, distinction entre horizons organique, minéraux, texture, structure de chaque horizon, épaisseur, porosité, type de roches mère, présence ou non d'hydromorphie. A partir de ce profil détaillé, on peut apprécier les capacités dispersives et épuratrices du sol, vis-à-vis d'un effluent.

Divers mécanismes étroitement liés sont impliqués. Ce sont les processus physiques ou mécaniques, qui agissent sur le transport des particules solides, biologique (phase aérobie et anaérobie).

Le pouvoir épurateur du sol, puis celui de la zone non saturée, sont importants pour éviter la propagation d'une pollution vers les nappes. Ils jouent un rôle particulièrement déterminant vis-à-vis des problèmes d'assainissement individuel, de pollution par les décharges, d'épandage. La concentration du polluant peut avoir considérablement diminué à son entrée dans la nappe, si le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée est efficace (Lallemand Barres A. et Roux J.C, 1999).

3.3.2. Le rabattement :

Ce critère propre aux puits et forages est lié concepts de zone d'influence et zone d'appel définis précédemment. Il est très important de délimiter la zone d'appel du captage car toute pollution intervenant dans cette zone aboutira au captage. Le rabattement dépend du débit de pompage moyen journalier, ou débit fictif (Lallemand Barres A. et Roux J.C, 1999).

3.3.3. Le temps de transfert :

Le temps de transfert est un critère basé le temps qu'il faut à un polluant pour se déplacer du point d'entrée dans la nappe jusqu'à l'arrivée au captage. En fait, comme dit précédemment, il faut également tenir compte du transfert en zone non saturée. Ce critère inclut plus de processus physiques que les autres critères ; il comprend en effet la convection, la dispersion et l'interaction solide-soluté.

La convection est le facteur prédominant pour les champs captant ou les vitesses d'écoulement sont élevées. Dans les nappes à vitesses faibles, la dispersion est importante et les particules de traceur ou de substances polluantes n'arrivent pas simultanément au point d'eau.

Le temps convectif est utilisé le plus souvent car il peut être calculé sans avoir à effectuer d'expériences de traçage (Lallemand Barres A. et Roux J.C, 1999).

3.3.4. La distance :

La délimitation du périmètre de protection repose dans sur la détermination d'un rayon ou d'une distance mesurée entre le puits de pompage et un point concerné. Ce critère a l'inconvénient de ne pas tenir compte des processus d'écoulement et de transfert du polluant.

C'est un critère arbitraire qu'il est difficile de justifier scientifiquement. Ce critère ne doit être en compte que lorsqu'il s'avère impossible de calculer les temps de transfert (Lallemand Barres A. et Roux J.C, 1999).

3.3.5. Les limites d'écoulement :

Une délimitation des périmètres de protection basée sur ce critère consiste à utiliser les caractéristiques physiques, topographiques ou hydrogéologiques qui contrôlent l'écoulement : les limites peuvent être par exemple une rivière, un canal, une ligne de partage des eaux souterraines, les limites d'alimentation, une limite étanche (limite d'aquifère) (Lallemand Barres A. et Roux J.C, 1999).

II.4. LE RISQUE DE POLLUTION :

L'évaluation du risque est une étape dans le processus de protection des ressources en eau souterraine et plus particulièrement de l'établissement des périmètres de protection. Le risque, terme utilisé pour mettre en évidence la probabilité d'une contamination possible résultant d'un événement aléatoire, constitue l'origine possible d'une contamination liée à une activité donnée. Il dépend non seulement de la vulnérabilité mais aussi de l'existence de charges de pollution dans les sols avoisinants. Il résulte du croisement d'un ou plusieurs aléas

et d'un ou de plusieurs enjeux :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Enjeux} \quad (\text{voir la figure 2.9}).$$

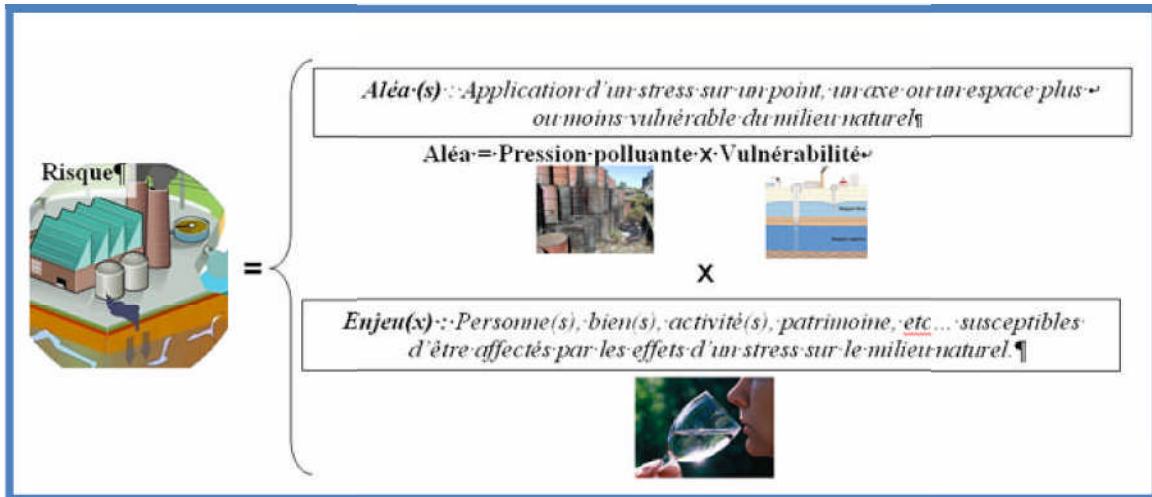


Figure 2.9 : Facteurs du risque de pollution de la nappe (Allier D. et al, 2008).

Ainsi, l'évaluation du risque est un processus d'évaluation de l'impact potentiel d'un agent chimique, biologique ou physique sur l'eau souterraine. Elle identifie les risques potentiels ou existants ainsi que les voies d'écoulement exposées. Par exemple, un aquifère peut être vulnérable mais en l'absence de pressions industrielles ou agricoles ne peut être atteint par un risque de pollution. Alors, lorsque la présence de charge polluante tel que une fuite d'hydrocarbures provenant de cuves pose le problème de pollution mais le fait que cette pollution soit mobilisable, donc, on constate un risque de pollution pour le captage d'alimentation en eau potable.

Tandis que le risque est la conjonction d'un aléa et d'un milieu vulnérable ; par conséquent, un aléa ne présente un risque que lorsqu'il est susceptible d'affecter quelque chose de valeur (la cible), en l'occurrence, les eaux souterraines (eau rendue impropre à la consommation par l'arrivée d'un polluant au sein de l'aquifère) (Allier D. et al, 2008, Bordet J., 2007 ; Dörfliger N. et al, 2004). Cette assemblage permet d'élaborer des cartes à risque de pollution et de localiser et d'identifier très facilement les zones vulnérables et à risques. La cartographie d'un risque, pour un polluant ou une famille de polluants, nécessite une corrélation de :

- la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque
- la carte des enjeux (la ressource souterraine),

- la localisation des charges polluantes (une carte de charges de polluantes).

Donc, la cartographie des risques de pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines. Elle servira donc comme un outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau et permettra également d'orienter l'aménagement du territoire (Amharref M. et al, 2006).

II.5. CONCLUSION :

La cartographie de vulnérabilité et de risque de pollution sont des documents fondamentaux pour l'aménagement du territoire. Elles permettent essentiellement d'orienter le choix de sites quand les projets de développement peuvent avoir des conséquences négatives sur la qualité des ressources en eaux souterraines. L'évaluation de la vulnérabilité se fait à partir de différentes méthodes citer brièvement dans ce chapitre. Par contre, la cartographie des risques est une combinaison des trois facteurs des aléas, des enjeux et des vulnérabilités.

À partir de ces cartes, on permet de déterminer les zones particulièrement vulnérables et à risque indiquant les différents degrés de risque de pollution des nappes d'eau souterraine, et son intérêt réside dans la nécessité de protéger la ressource contre toute éventuelle source de pollution pour éviter d'avoir à se lancer dans des travaux coûteux et difficilement réalisables de restauration d'aquifères contaminés (Savard M. et al, 2008 ; Smida H. et al, 2009).

En plus, les périmètres de protection ont été rendus obligatoires pour tous les ouvrages de prélèvement d'eau d'alimentation tel qu'il est recommandé par la réglementation (Bensaoula F. et al, 2003).

Enfin, les autorités compétentes Algérienne ont institué des textes législatifs (Journal officiel de la république algérienne) pour préserver les ressources en eau tel que la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau qui traite la protection et la préservation des eaux souterraines. Ces textes législatifs existent mais sont encore loin d'être appliqués correctement en Algérie.

Depuis longtemps, l'eau est le problème de notre planète non pas uniquement au point de vue quantité mais aussi au point de vue qualité. Les eaux souterraines sont considérées très sensibles au phénomène de pollution. Ce dernier est dû aux activités humaines qui nuisent gravement l'environnement et la santé humaine.

Généralement en Algérie, on trouve beaucoup de cas de pollution des eaux souterraines. Parmi ces cas ; le Groupement Urbain de Tlemcen qui est notre site d'étude où certains foyers de pollution dégradent de plus en plus notre environnement et menace sérieusement la qualité de l'eau destiné à la consommation humaine.

Ainsi, le groupement des communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Beni Mester est caractérisé par l'absence d'unité géographique et géologique. Cette diversité des espaces physiques s'inscrit dans une zone de transition entre le massif jurassique des monts de Tlemcen qui est caractérisé par la présence des formations géologiques hétérogènes assez tendres au Sud et au Nord (Bouayed M., 2008).

Pour atteindre notre objectif, nous avons donc fait tout d'abord un inventaire des données existantes nécessaires à l'élaboration de cartographie de vulnérabilité et de risque de pollution des eaux souterraines dans le Grand Tlemcen. En effet, nous avons utilisé les différentes thèses et les études effectuées par l'O.N.A, la D.H.W.T et l'A.S.P.E.W.I.T ...etc. dans la zone d'étude.

On introduit pour commencer, les caractéristiques générales de la zone d'étude (géographie, climatologie, démographie, géologie, hydrogéologie ...etc). On portera un intérêt particulier à l'étude géologique et hydrogéologique. En effet la région d'étude comporte différents aquifères. Le seul aquifère intéressant dans ce travail est l'aquifère karstique qui correspondant au deux séries de formations calcaréo-dolomitiques de Tlemcen laquelle représente la principale ressource en eau souterraine de la région.

Ensuite, on fait une description de la production en eau potable (les eaux superficielles mobilisées par les barrages et les eaux souterraines par les sources, les forages et les puits) dans la région étudiée. En plus, on s'intéressera à l'état d'assainissement ou nous évoqueront les différents points de rejets d'eaux usées et leur milieu récepteur, le taux de raccordement de la population au réseau d'assainissement et la S.T.E.P existante au niveau de GUT. Enfin, on présente les données relatives à l'occupation de sol par activité (activité industrielle, activité agricole et infrastructure de développement).

III.1. LA PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA ZONE D'ETUDE :

Le groupement urbain de Tlemcen- Mansourah- Chetouane et Beni-Mester, hérite dans le fonctionnement de son espace d'un passé prestigieux, en raison du rôle culturel de l'ancienne capitale du Maghreb central, la qualité de son patrimoine historique a fortement marqué les différents espaces qui le composent.

Le groupement a bénéficié d'un investissement important eu égard à la création d'une zone industrielle à Chetouane et une zone semi industrielle à Abou Techfine (U.R.B.A.T, 2010).

III.1.1. La situation géographique :

Le Groupement de Urbain de Tlemcen (GUT) est localisé au centre de la wilaya de Tlemcen, il comprend quatre communes : Tlemcen, Chetouane, Mansourah, Béni Mester, constituant un seul territoire indispensable ou certains problèmes ne peuvent être résolus que dans un cadre intercommunal, notamment pour les infrastructures hydraulique urbaines (Guentaoui S., 2002). Il occupe environ 19837 hectares constituant le bassin intérieur de Tlemcen (Abdelbaki C. et Boukli Hacène F., 2007). Il concentre 1.2 % de la superficie totale de la wilaya (A.N.A.T., 2005).

Le groupement de Tlemcen est composé de quatre agglomérations principales : Le chef-lieu de la wilaya (Tlemcen), Le chef-lieu de la daïra (Mansourah, Chetouane), Le chef-lieu de la commune (Béni Mester) et des agglomérations secondaires tel que : Ain el houtz, Koudia, Béni boublène, Saf-Saf, M'dig, Sidi aissa, Ain defla, Haouche ouaer, Hamri, Ouzidane, Attar et Ain Douz ...etc. (Deguig D., 2009).

Le GUT est implanté sur les piémonts nord des monts de Tlemcen qui correspondent à une vaste superficie de 300 km² où affleurent des roches carbonatées très karstifiées (80 %) (Abdelbaki C. et Boukli Hacène F., 2007). Il est défini par les limites de les communes de Hennaya au nord et Amieur au Nord Est, d'Ain Fezza à l'est et de sabra à l'ouest et par Béni Hediél, Terny au Sud (Guentaoui S., 2002 et Deguig D., 2009) (Figure 3.1).

1.1.1. La commune de Tlemcen :

Commune urbaine, chef-lieu de la wilaya, sa position centrale sur les piémonts Nord de Tlemcen lui confère un rayonnement sur l'ensemble des communes de la wilaya (Zerg A. et Bouchentouf S., 2008). La commune s'étend du plateau de Lalla

Setti (1200 m d'altitude) au sud à Koudia (760 m) au Nord. Entre ces deux extrémités de formation rocheuse se trouve une zone des piémonts et de plaines totalement urbanisées, les extrémités Sud et Ouest se confondent avec l'urbanisation des communes de Mansourah et Chetouane (Berrahma B., 2009). Sa superficie est de l'ordre 44,11 km².

La ville de Tlemcen se caractérise par la très forte concentration des activités tertiaires et industrielles dans un espace réduit. Elle se présente sous la forme d'un tissu compact et hétérogène, permettant de distinguer les quartiers traditionnels, le noyau colonial et les quartiers récents. Au Nord de ville, entouré de jardins et de terres agricoles, ce localise le quartier d'Abou Tachefine-Oujlida, qui est marqué par la présence d'activité secondaire de stockage et de dépôt (Deguig D., 2009).

1.1.2.La commune de Chetouane :

Elle se situe à 3 km au Nord-est de la ville de Tlemcen couvrant une superficie de 4611 hectares et partageant la même zone industrielle avec Tlemcen. Son relief est assez diversifié, composé de monticules boisés au sud-est, des terres agricoles au sud et sud-ouest, et la couronne rocheuse au nord Oudjelila, El Horra et Sidi Yahia (Berrahma B., 2009).

1.1.3.La commune de Mansourah :

Elle est limitée à l'est et au nord par la commune de Tlemcen, à l'Ouest par la commune de Beni Mester et au sud par la commune de Terny, elle connaît une forte concentration de sa population et une extension spatiale de son tissu urbain en raison de sa qualité de commune résidentielle de groupement de Tlemcen (Berrahma Bekhta). Il est marqué par la présence de deux tissus ; l'un ancien tel que celui du village de Mansourah ou celui de l'ancien Imama et l'autre récent comme les oliviers, Kiffane et champ de tir. Ainsi les quartiers présentent une grande hétérogénéité sur le plan morphologique ; qu'il soit spontanés ou planifiés ; ils sont sous équipés et dépendent du centre-ville de Tlemcen.

L'articulation entre Tlemcen et chetouane est marquée par la zone industrielle, et la liaison est assurée par le chemin de wilaya n°1 (Deguig D., 2009).

1.1.4.La commune de Beni Mester :

Beni Mester est une commune de la wilaya de Tlemcen en Algérie. Le territoire de la commune est situé au centre de la wilaya de Tlemcen, à environ 9 km à l'ouest de Tlemcen [20]. Il occupe d'environ 86,17 km². Ainsi, le relief de la commune de Beni Mester est accidenté (A.N.A.T, 2005).

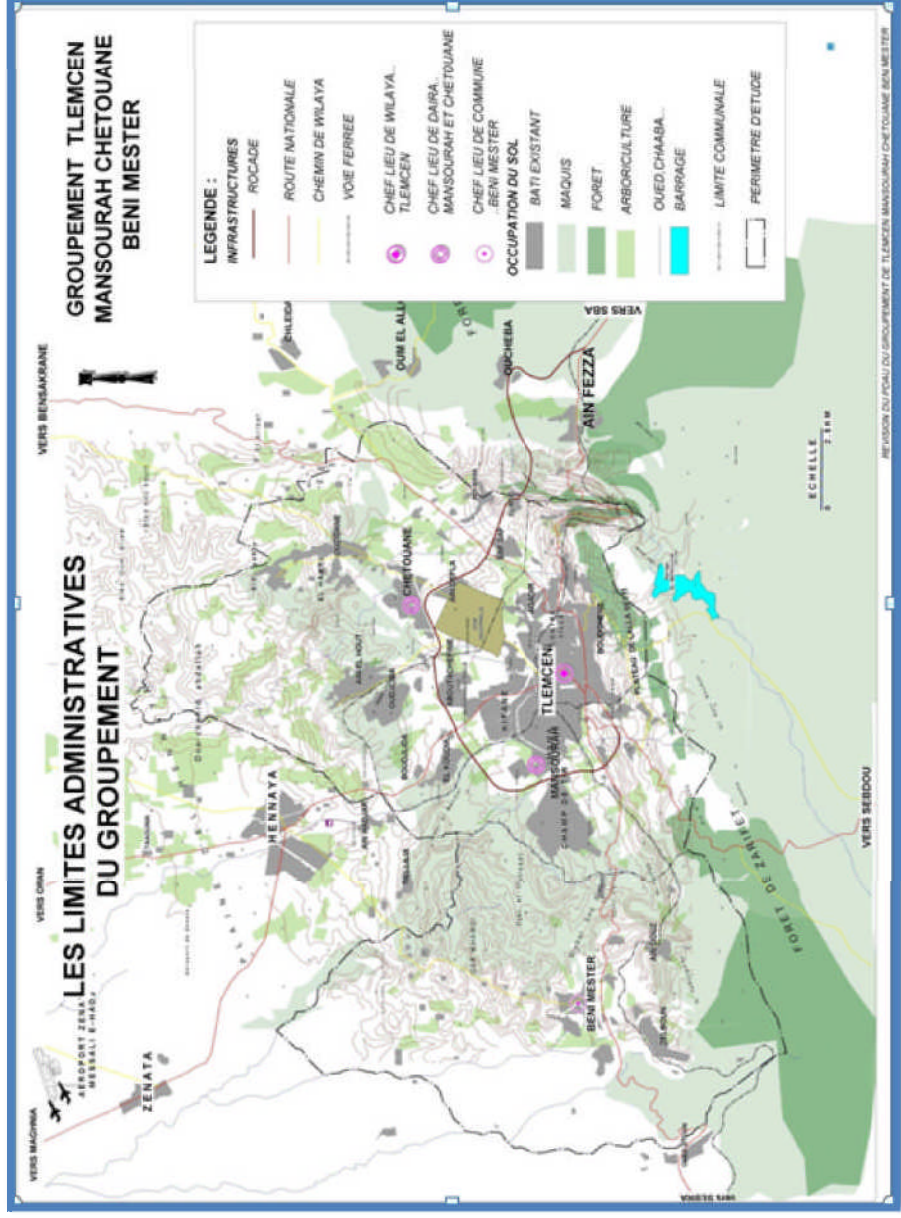


Figure 3.1 : Limite administrative de GUT (A.N.A.T., 2005).

III.1.2. La population et son évolution:

Le groupement des communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Béni Mester est la zone la plus peuplée de la wilaya de Tlemcen (U.R.B.A.T., 2010). Il concentre 24 % de la population sur 1.2 % de la superficie totale de la wilaya. La densité atteinte dans la zone de Tlemcen est de 520 habitants /Km² comparativement à la moyenne de wilaya 93 habitants/Km² (A.N.A.T., 2005). Cette forte concentration de population, tient surtout au poids de la ville de Tlemcen qui constitue le principal pôle démographique et économique de la wilaya puisqu'elle concentre 14 % de la population totale et 26 % des emplois assurés dans l'industrie (U.R.B.A.T., 2010).

Le groupement des communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Béni Mester, regroupait en 1966 une population de l'ordre de 93435 habitants pour devenir 125546 habitants en 1977, soit un rythme d'accroissement moyen global annuel relativement modéré de l'ordre de 2,76 %. Entre 1977 et 1987, la population s'est accrue de plus de 41533 habitants, elle a été multipliée par 1,3 en 10 ans ce qui représente un taux d'accroissement moyen global annuel de 2,65 %. La dernière décennie (1987/1998) a été marquée par un taux d'accroissement relativement fort enregistré par le groupement de l'ordre de 2,34 % et ce comparativement à celui observé au niveau de la wilaya durant la même période de l'ordre de 1,48 % et national de 2,28 %. Ce fort croît démographique a été le fait des agglomérations chefs-lieux de Mansourah (5,25 %), Chetouane (7,20 %) et les agglomérations secondaires (5,95 %) (U.R.B.A.T., 2010) (Figure 3.2).

Quant aux agglomérations secondaires, elles ont connu des taux d'accroissement différenciés variant entre 10,4 % pour l'agglomération d'El koudia et 0,6 % pour les agglomérations de M'Dig – Saf Saf et El Hamri Ouzidane. Par contre, les zones éparses, ont enregistrées en général des taux d'accroissement négatifs (Mansourah – 11,98 %, Chetouane - 5,83 % et Tlemcen - 1,47 %).

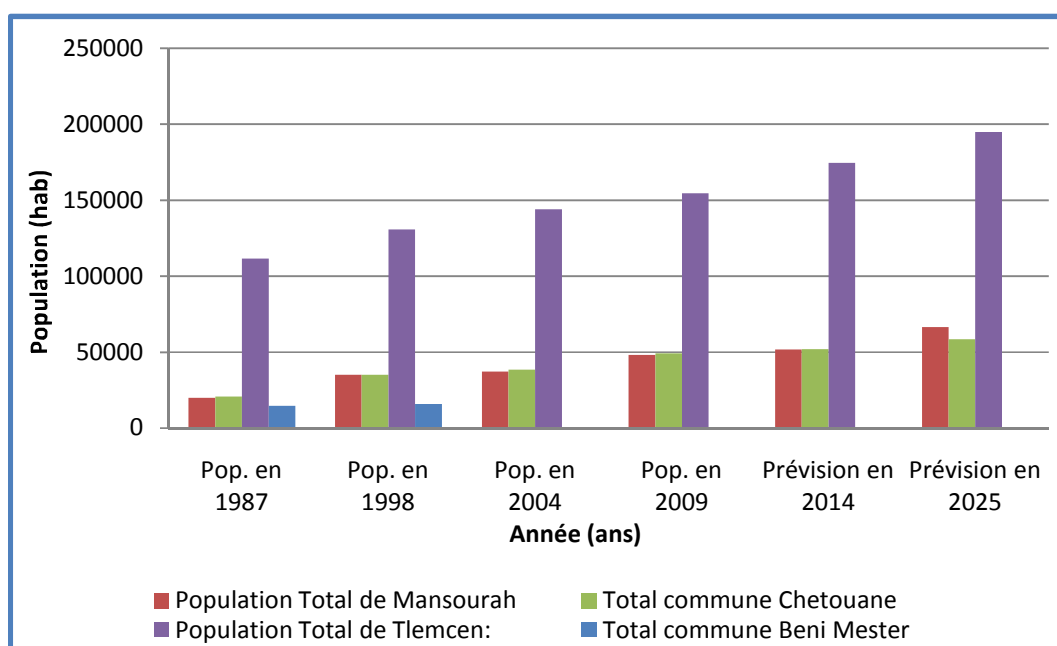


Figure 3.2 : Evolution de la population du GUT (U.R.B.A.T, 2010).

L'examen de l'évolution de la population par commune et par dispersion, révèle des taux d'accroissement différenciés.

1.2.1. La commune de Tlemcen :

Elle a enregistré le taux d'accroissement le plus faible au niveau du groupement de l'ordre de 1,21 % entre 1977 et 1987 (U.R.B.A.T., 2010). Tlemcen, au rythme actuel de croissance, risque fort d'être incapable de relever les défis de l'urbanisation à long terme (A.N.A.T., 2005). Ainsi, l'évolution de la population par dispersion de la commune du Tlemcen est présenté dans le tableau B.1 de l'annexe B.

1.2.2. La commune de Chetouane :

Localisée au Nord de la ville de Tlemcen, et constituant l'une de ses périphériques en lui servant en partie de réceptacle à sa croissance (Deguig D., 2009). Elle est enregistré un taux d'accroissement de 18,8 % entre 1977 et 1987 (U.R.B.A.T, 2010). En plus, la commune de Chetouane a connu, durant la dernière décennie une forte croissance démographique de 35098 habitants et un taux de croissance de 4.85 % / an entre 1987-1998 (Deguig D., 2009). Ainsi, l'évolution de la population par dispersion de la commune du Chetouane est présenté dans le tableau B.2 de l'annexe B.

1.2.3. La commune de Mansourah :

L'évolution démographique exceptionnelle enregistrée au niveau de la commune de Mansourah qui comptait moins de 3000 habitants en 1977, a vu sa population atteindre environ 20000 habitants en 1987. Elle est enregistrée un taux d'accroissement de 3,79 % entre 1977 et 1987 (U.R.B.A.T., 2010). Ainsi, l'évolution de la population par dispersion de la commune du Mansourah est présentée dans le tableau B.3 de l'annexe B.

1.2.4. La commune de Béni Mester :

Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008, la population de la commune de Béni Mester est évaluée à 18 651 habitants contre 8 788 en 1977. Elle est enregistrée un taux d'accroissement de 1,8 % [20]. Ainsi, l'évolution de la population par dispersion de la commune du Beni Mester est présentée dans le tableau B.4 de l'annexe B.

III.1.3. Aperçue sur le climat de la zone:

Les indices du climat sont directes et indirectes sur la qualité et la quantité de l'eau consommation et sa gestion. En effet, le climat peut agir directement sur l'approvisionnement en eau potable puisqu'il modifie le régime des cours d'eau et le volume des nappes phénotypes. Ses effets indirects sont liés aux méthodes d'approvisionnement et de stockage, mais aussi à la recrudescence des maladies hydriques en été (Guenauoui S., 2002). Donc, le climat est la moyenne, sur un certain nombre d'années, des variations quotidiennes de la température, des précipitations, des vents et d'autres conditions atmosphériques qui caractérisent un point quelconque de la surface de la Terre (Adjim H., 2004).

Alors, selon Seltzer (1946), le climat de l'Algérie est de type méditerranéen sub-humide caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été (allant du mois de Mai au mois de Septembre) sec et ensoleillé (Bouanani A., 2004). Ainsi, le groupement urbain de Tlemcen appartient à cette zone de climat semi-aride (ANAT, 1994 in Deguig D., 2009).

Enfin, notre étude climatologique est effectuée selon les principaux paramètres climatiques : La température et la précipitation.

1.3.1.La température :

La température moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station de Tlemcen sur 62 ans (1924-1985) est de 16.5 C°. Le mois le plus chaud est celui d'Aout avec une moyenne de 25.0 C°, et le mois le plus froid est celui de Janvier avec une moyenne de 9.4 C° (A.N.A.T., 1994 in Deguig D., 2009). De plus, le tableau 3.1 représente les températures moyennes mensuelles enregistrées durant la période 1998 jusqu'à 2000.

Tableau 3.1: Valeurs moyennes mensuelles de la température (C°) de l'année (1998, 2000) enregistrées à la station météorologique de Meffrouche (Zerg A. et Bouchentouf S., 2008).

Mois :	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Température 1998 en C°	10	11,45	11,45	15,55	18,75	21,18	25,95	27,6	22,95	19,3	14,75	10,55
Température 2000 en C°	9	13	13	16	20	22	25	26	23	20	14	11

L'analyse du tableau 3.1 met en évidence que la période la plus froide s'étend de décembre jusqu'à mars (10,55C°, 10C°, 11,45C°, 11,45C°) respectivement et la période la plus chaude s'étend du mois de juin jusqu'à octobre (21,18C°, 25,95C°, 27,60C°, 22,95C°, 19,30C°). La température moyenne annuelle est de 18C°.

Les contrastes de température sont très exagérés à cause des terrains rocheux qui favorisent l'échauffement diurne et le rayonnement nocturne et aussi le climat est humide et très froid, en hiver.

1.3.2.Les précipitations :

Les précipitations varient fortement d'une année à une autre et compliquent par la suite la gestion de cette ressource (Abdelbaki C. et Boukli Hacène F., 2007).

Le groupement de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Béni Mester, jouit d'un régime pluviométrique complexe influencé par le climat méditerranéen caractérisé par une saison pluvieuse (Septembre à Mai) et par un été sec. La pluviométrie est en fonction de l'altitude, elle est relativement abondante avec une variation inter annuelle importante. L'évapotranspiration potentielle est très importante. La quantité d'eau qui reste disponible pour le ruissellement et l'infiltration profonde atteinte 100 m/an. Les hivers sont donc assez rigoureux avec vent, neige et gel et aussi les précipitations sous

forme de neige sont fréquentes au niveau des altitudes (A.N.A.T., 2005 et A.N.A.T., 2010).

Les monts de Tlemcen reçoivent chaque année les plus importantes précipitations dans l'Ouest algérien, ce qui leur permet d'assurer l'alimentation en eau potable d'un certain nombre de villes de la région. Par contre les précipitations diminuent quand on se dirige vers le Sud (Berrahma B., 2009).

Les valeurs moyennes annuelles de la pluviométrie en (mm) de l'année (1979, 2009) enregistrées à la station météorologique Meffrouche sont représentées dans la figure 3.3 suivante:

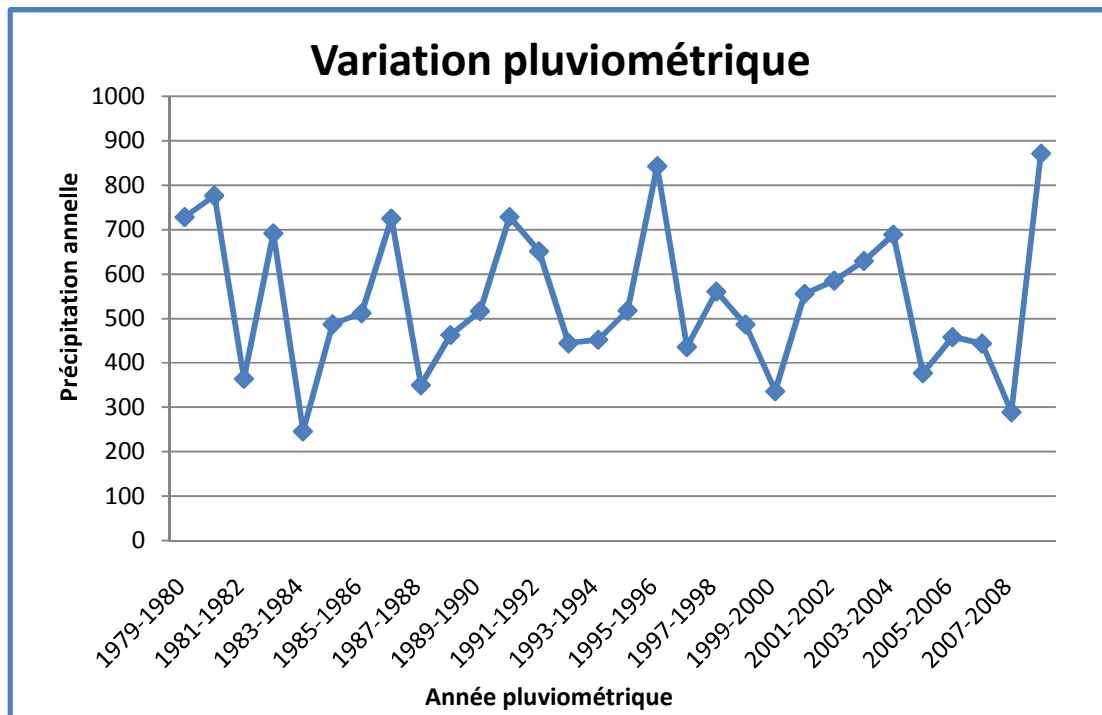


Figure 3.3: Variations annuelle de la pluviométrie de l'année (1979, 2009) enregistrées à la station météorologique de Meffrouche.

Cette courbe représente une variation annuelle de la pluviométrie en fonction des années (1979 jusqu'à 2009). On constate qu'il y a une irrégularité dans la répartition des précipitations à cause de la situation géographique, les formes du relief et leurs orientations, les pluies torrentiels et le changement climatique qui influencent négativement sur la pluviométrie. Ainsi, la moyenne enregistrée en 30 ans (1979 – 2009) est de 546 mm/an. Alors, l'année la plus pluvieuse était 2009 avec un total de 871,1 mm. Par contre l'année la plus sèche a été observée en 1983 avec un total de 246 mm.

III.1.4. Contexte hydrographique :

La disposition du relief, ainsi que l'abondance des roches imperméables ont combiné leurs effets et ont permis la naissance d'un réseau hydrographique important (A.N.A.T., 2010). Ce dernier est lié en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du Jurassique et se modifie avec l'évolution de la tectonique (A.N.A.T., 2009 in Deguig D., 2009).

Le réseau hydraulique du groupement est représenté essentiellement par l'Oued El Ourit situé à l'Ouest de la commune de Tlemcen D'amont en aval, il rejoint par d'autres petits cours d'eau et prend alors le nom d'oued Saf Saf qui rejoint à son tour oued Sikkak au Nord de Chetouane (Berrahma B., 2009).

Les composantes naturelles du chevelu hydrographique du groupement urbain de Tlemcen sont constitués par une série de Oueds dont :

- L'oued el Horra, du centre drainant la totalité des eaux usées de la ville de Tlemcen.
- L'oued Sikkak au nord d'Ain El Houtz, son cours d'eau suit sensiblement l'axe Nord-Sud de Tlemcen qui draine un sous bassin de 442 km².
- L'oued Mitchekana, apparaît à l'Est de la ville de Tlemcen, il longe puis rejoint l'oued Saf, au niveau de la commune de Chetouane.
- L'Oued Nachef.
- Il existe un autre cours d'eau en caisse à la limite ouest de la ville de Tlemcen : oued Makhoukh, drainant les eaux de la commune de Mansourah (Berrahma B., 2009 ; Deguig D., 2009).

Enfin, un réseau régulier de ruisseaux constitue un éventail de petits talwegs vers le nord, le nord-ouest et le nord-est de la ville. Dans cet ensemble hydrographique, la médina est drainée par Chaabat-sidi El-Haloui (Guenauoui S., 2002).

III.1.5. L'étude géologique :

L'étude géologique est démarche indispensable pour la détermination des critères de base pour la cartographie de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines, ainsi la carte géologique est le support technique sur lequel on trace la carte de vulnérabilité (Derni S., 2011).

Au point de vue géologique, le groupement des communes : Tlemcen, Mansourah, Beni Mester et Chetouane est caractérisé par deux formations géologiques distincts :

- **Les terrains carbonatés du Jurassiques**, constituant essentiellement les monts de Tlemcen. Le Jurassique est une formation beaucoup plus résistante au sud avec de puissantes assises de grés friables à ciment calcaires suivi de formations dolomique, calcaire et marneuses. Ils s'annoient sous les dépôts du Mio-Plio-Quaternaire qui deviennent de plus en plus épais lorsqu'on se déplace vers le Nord (Guenaoui S., 2002, A.N.A.T, 2005 et Bensaouala F., 2008). Cette structure a été révélée par des prospections géophysiques et confirmée par les résultats de forages (Bensaouala F., 2007).
Le massif jurassique Karstique est le principal réservoir aquifère de l'Ouest Algérien, rendant la région de Tlemcen riche en eau (Guenaoui S., 2002 ; Abdelbaki C. et Boukli Hacène F., 2007).
- **Le domaine miocène** est une formation géologique assez tendre au Nord de Tlemcen dans la plaine, constitué de marnes avec des passages gréseuses (les grés et marnes du Miocène) (Guenaoui S., 2002 et A.N.A.T, 2005). Cette région est surtout caractérisée par une tectonique cassante affectant notamment les terrains rigides du jurassique (Guenaoui S., 2002).

Le contact entre ces formations se situe justement au niveau du groupement ce qui explique notamment la complexité de sa géologie et ses implications sur l'urbanisation d'une manière générale (A.N.A.T, 2005).

Dans ce cadre, nous présentons les différentes formations géologiques hétérogènes du GUT qui sont (Figure3.4):

1.5.1. Les tufs calcaires :

Ils sont développés auprès des grandes sources qui émergent des dolomies et calcaires du Kimméridgien notamment au niveau d'El Kalâa et plateau Lalla Setti (A.N.A.T., 2005).

1.5.2. Eboulis et dépôts :

Ils sont constitués le plus souvent par les éléments de désagrégation des dolomies et calcaires du Kimméridgien et de grès du saquanins. Ils sont le plus souvent ré pondus aux piémonts immédiats des monts de Tlemcen (A.N.A.T., 2005).

1.5.3.Alluvions :

Ce sont des matériaux grossiers, caillouteux, limoneux, on les rencontre dans les fonds de vallées du groupement et des dépôts de ruissellement (A.N.A.T., 2005).

1.5.4.Les travertins :

Ils constituent des puissants dépôts disposés en terrasse et s'avancent en hautes falaises notamment au niveau du plateau de Lalla Setti. Leur épaisseur peut dépasser les 60 m. Ces dépôts proviennent de la dissolution interne des massifs calcaires dolomitiques, témoignent de l'importance des résurgences (A.N.A.T., 2005).

1.5.5.Les grès tortoniens :

Ce sont des grès fissurés jaunes avec par endroits de minces passées marneuses. Les grès sont assez durs, mal limités. Localement ce tortonien peut avoir des faciès différents représentés par des argiles plus ou moins sableuses, ce qui explique la complexité géologique de la ville de Tlemcen. Et c'est justement au niveau de ces argiles gonflantes par excellence, qu'un grand nombre de désordres géotechniques de la ville sont enregistrés, dus aux tassements et aux retraits. Gonflement surtout pendant les dernières décennies de sécheresse. L'épaisseur de cette formation varie de 20 à 30 mètres (A.N.A.T., 2005). Les grès constituent la formation sur laquelle est construite une grande partie de la ville de Tlemcen (Bahous W. et Rahim Z., 2006).

1.5.6.Les marnes et les grès helvétiques :

Ils sont assez répandus au niveau du groupement puisqu'ils occupent une grande partie de la plaine de Chetouane et Saf Saf, la zone Nord de la ZHUN champ de tir et la zone Nord-Ouest limitant la ZHUN d'El Kiffane jusqu'à la rocade. Cette formation est constituée d'une épaisse série de marnes à texture très fine et coulante en surface au sein de laquelle de nombreux bancs décimétriques de grès friables jaunes. Leur puissance peut atteindre les 100 m (A.N.A.T., 2005).

1.5.7.Les marno-calcaires de « Raourai » (Kimméridgien) :

Ce sont des marnes grises verdâtre, blanchâtres en surface, intercalées de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs (Bouanani A., 2004). En fait, c'est une formation plutôt calcaire que marneuse. Son épaisseur est en moyenne de 40 m. Cette formation est particulièrement bien développée sur le Djebel Tefatisset (l'épaisseur 75 m in Bensaoula F., 2006) à la limite Ouest du Groupement au niveau de la ZHUN champ Tir, Djebel Ain el Houtz et El Hadid au Nord de Chetouane (A.N.A.T., 2005).

1.5.8. Les dolomies de Tlemcen (Kimméridgien) :

D'âge Kimméridgien moyen-Kimméridgien supérieur, il s'agit de dolomies cristallines grises, avec de nombreuses cavités remplies de calcite (Bouanani.A, 2004). Elles sont assez largement répandues dans le groupement puisqu'elles affleurent au Djebel Tefatisset, Ain El Houtz et Boudjlida. Ce sont des cavités remplies de calcites très dures. L'épaisseur de cette formation est impressionnante puisqu'elle peut atteindre les 300 m (A.N.A.T., 2005).

1.5.9. Calcaires bleus (Kimméridgien) :

Il s'agit de calcaire bleu à grandes géodes de calcite en bancs épais (1 m à 1,40 m) séparés par des minces intercalations de calcaires marneux. Leur épaisseur atteint les 25 m (A.N.A.T., 2005).

1.5.10. Les grés de Boumediene Séquaniens :

Ils sont surtout développés dans la zone du village du Sidi Boumediene (Bahous W. et Rhim Z., 2006). Ils se présentent en bancs variables intercalés de lits peu épais de marnes (Deguig D., 2009). Ce sont des grés blancs parfois bruns ferrugineux à la surface, durs avec des intercalations de bancs marneux multicolores, dont les épaisseurs sont variables pouvant atteindre 500 m (Bouanani A., 2004 ; Bensaoula F., 2006). Ces grés sont à éléments fins à moyens à ciment presque toujours calcaire, ce qui diminue leur caractéristique hydrogéologique (Deguig D., 2009). Cette formation a été replacée dans l'Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur par Benest M. (Bensaoula F., 2006).

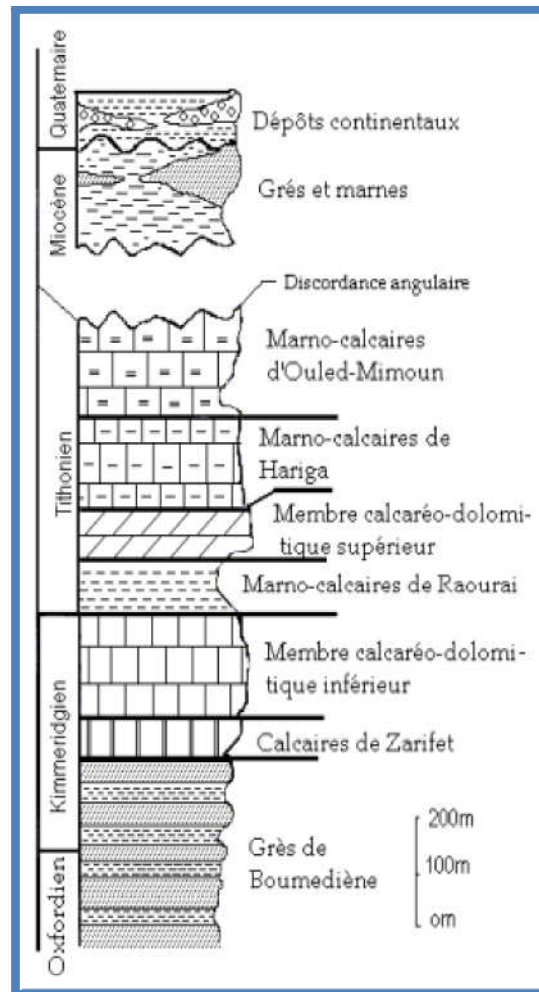


Figure 3.4: Log lithostratigraphique synthétique des monts de Tlemcen (Benest et al. 1999 in Bensaoula F. et al, 2007).

Ainsi le groupement s’inscrit, du point de vue tectonique, dans au moins deux unités structurales :

- **La zone effondrée de Tlemcen :** D’âge Mio-Plio-Quaternaire constituées par des marnes, des grés et des alluvions, elle fait partie du même ensemble que la plaine de Maghnia dont elle est séparée par le Djebel Tefatisset. Elle est limitée au Sud par une grande faille Nord-Est, Nord-Ouest et au Nord par une faille de direction WSO et ENE passant par Abou Tachfine et Chetouane et qui relie les ensembles des Djebels Tefatisset de Ain El Houtz (A.N.A.T., 2005 ; Bensaouala F. et Houmadi Y., 2008) (Figure 3.5 et Figure 3.6).

L’épaisseur de cette zone effondrée varie de quelques mètres à 320m. Tout autour de ce fossé d’effondrement, affleurent les calcaires et dolomies, largement karstifiées du Jurassique supérieur, tel que les djebels Ain El Hout, djebels Oudjlida, djebels Tefatisset, djebels El Hadid etc... (Bensaouala F. et Houmadi Y., 2008).

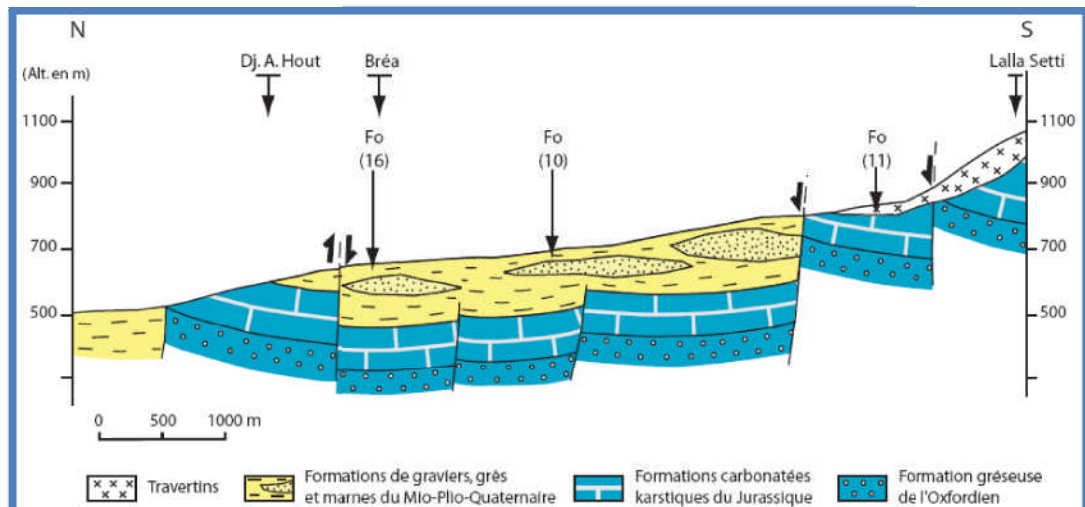


Figure 3. 5: Coupe géologique simplifiée de la région de Tlemcen (Bensaoula F., 2007).

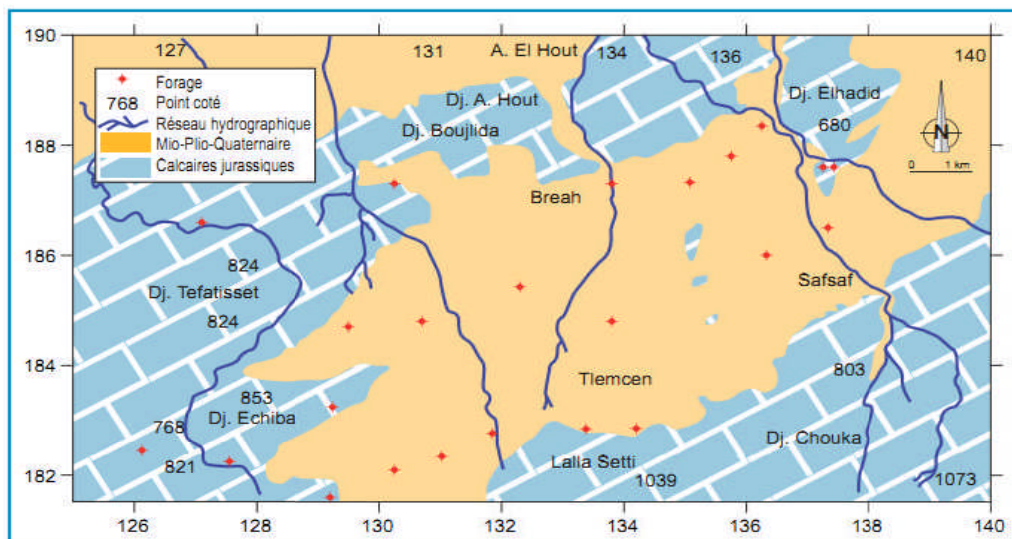


Figure 3. 6: Carte géologique simplifiée de la région de Tlemcen (Bensaoula F., 2007).

- **La zone haute des Djebels Tefatisset et Ain El Houtz** : Elle est limitée au Sud par une grande faille et au Nord par une série de failles en relais de même direction. La plupart de ces failles ont deux directions principales (WSW – ENE et ESE – WNW) (A.N.A.T., 2005).

III.1.6. Contexte hydrogéologique :

Les monts de Tlemcen constituent le principal relief montagneux dans l'ouest Algérien. Assez bien exposé aux influences maritimes, leurs surfaces sont constituées en grande partie par des affleurements de calcaires et surtout de dolomies du jurassique supérieur. Ceux-ci bien karstifiés (80 %) et les volumes d'eau s'y infiltrent (200 à 400 mm/an) sont donc assez considérables, constituent la principale ressource en eau souterraine de l'ouest Algérien (Guentaoui S., 2002 ; Abdelbaki C. et Boukli Hacène F., 2007) (Tableau 3.2).

Ainsi, la tectonique joue un grand rôle dans l'hydrogéologie du GUT puisque les nombreuses failles et diaclases existantes dans la zone ont haché les massifs calcaire dolomitiques et ont permis le développement de la Karstification en profondeur qui favorise l'emmagasinement de la ressource en eau (A.N.A.T., 2005).

Parmi toutes les formations géologiques caractérisant le groupement, les seules formations suivantes sont considérées comme perméables :

- **Les dolomies de Tlemcen** : ces roches sont diaclassées et fortement karstique (Kimméridgien supérieur). Les nombreuses sources qui émergent de ce niveau témoignent de son intérêt hydro géologique (Guentaoui S., 2002). Les propriétés transmissives des dolomies de Tlemcen sont excellentes. Les écoulements des eaux souterraines empruntent les directions des zones de drainage principales des points hauts vers les points bas, donc dans la plupart des cas vers les chaabet (Derni S., 2011). Alors, ils constituent l'un de principaux réservoirs d'eau souterraine dans les monts de Tlemcen.
- **Grés tortoniens** poreux et assez perméables (une perméabilité de fissure et d'interstices) constituent un aquifère superficiel important exploité par la majorité des puits de la ville de Tlemcen. Ils ont été testés au cours de pompages d'essais dans les forages TL8 et TRA1 qui ont permis de mesurer une transmissivité de $6.5 \cdot 10^{-2}$ et $1.2 \cdot 10^{-2}$ à $3.0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Bensaoula F., 1992 ; Collignon B., 1986 in Bensaoula F. ; Bensalah M., 2007).
- **Grés de Boumediene** : D'âge de l'Oxfordien supérieur et Kimméridgien inférieur, ils sont relativement non poreux mais dotés d'une perméabilité de fissures assez faible. Ils ont été testés par des essais de pompage. Leur transmissivité varie de $1.4 \cdot 10^{-3}$ à $1.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Bensaoula F., 1992 ; Collignon B., 1986 in Bensaoula F. et Bensalah M., 2007). Grâce aussi à des jeux de failles, ils peuvent apparemment donner naissance à de grandes sources qui sont en réalité

Chapitre III: Présentation de Groupement Urbain de Tlemcen-Mansourah-Chetouane et Beni Mester (GUT)

alimentées par des impluviums calcaires dolomitiques (A.N.A.T., 2005).

- **Les marno calcaires de « Raourai »** sont relativement imperméables. Si les niveaux admettent une certaine perméabilité, l'ensemble imperméable dans le sens vertical (A.N.A.T., 2005).

Il est ainsi constaté que la plupart des sources du groupement émergent à la faveur de la multitude de failles qui peuvent jouer le rôle d'écran imperméable par les niveaux marneux des marno calcaires de Raourai ou des grés de Boumediene. Parfois ces failles elles-mêmes constituent des drains actifs (A.N.A.T., 2005).

A l'issue de cette étude, on s'intéresse à l'aquifère de type karstique contenu dans les formations carbonatées dont les deux membres calcaréo-dolomitique du Kimméridgien supérieur et du Tithonien inférieur lesquels sont les réservoirs les plus importants des monts de Tlemcen. Ainsi, il est caractérisé par une circulation de fissures au niveau des dolomies de Tlemcen. Ce type d'aquifère contient des zones à risque de contamination et aussi vulnérable à la pollution. La cartographie de vulnérabilité et de risque de pollution des eaux souterraines provenant des aquifères karstiques de groupement urbain de Tlemcen est le but principal de ce travail. Ceci, pour protéger et préserver les ressources souterraines qui sont menacées de pollution. Dans le tableau 3.2 qui suit, nous donnons les principales sources des formations géologiques du GUT:

Tableau 3.2: Différentes sources des formations géologiques (A.N.A.T, 2005).

Sources	Coordonnées		Débit L/S	Description Géologique
	X (km)	Y (km)		
A.Fouara Sup.	133,525	181,575	20	Dolomies de Tlemcen, Calcaires de Zarifet et grés de Boumediene.
A.Fouara Inférieur.	133,525	181,575	05	Calcaire et dolomies bruns, grossièrement cristallisés et grés fins mal cimentés.
A.Boudjelida	131,200	188,900	04	Dolomies de Tlemcen et Calcaire
Ain Ek Koudia	130,800	186,150	A sec	Marnes et grés helvétiens.
Ain El Houtz	132,750	189,050	-	Dolomies de Tlemcen et marnes helvétiens
A.Deheb	130,300	182,200	02	Marnes et grés helvétiens dolomies et calcaires
A.Témou	129,050	183,750	02	Dolomies et calcaires, marnes et grés helvétiens.
A.Bendou	136,600	186,700	04	Marnes et grés helvétiens
A.Sefra	135,750	188,050	02	Dolomies de Tlemcen au contact helvétiens
A.Attar	131.900	80.550	03	Travertins anciens et tufs calcaires

III.2. LA DESCRIPTION DE LA PRODUCTION EN EAU :

Le GUT est alimenté principalement par le barrage de Mefrouche à partir des stations de traitement de Lalla Setti (1 et 2), barrage Beni Bahdel et barrage Sikkak. Mais aussi par des eaux souterraines captées par forages ainsi que des sources.

Dans le G.U.T, l'eau destinée à l'approvisionnement de la population provient des ressources superficielles et souterraines avec des caractéristiques physico-chimiques différents compte tenu de la formation géologique des traversées.

- Sur le plan physico-chimique, les eaux de surface représentées par les barrages sont bicarbonatées calciques à magnésiennes avec des duretés moyennes et des constituants organiques en quantité normales.
- En ce qui concerne les eaux souterraines, elles ont une composition plus stable et sont généralement plus riches en sels minéraux. Leurs qualités physico-chimiques sont tributaires des caractéristiques des champs captant. Ces nappes sont localisées dans les dolomies et les calcaires. Ces formations géologiques donnent des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes avec des duretés un peu plus élevées (Berrahma B., 2009).

III.2.1. La production en eaux superficielles :

Les ressources en eaux superficielles sont essentiellement, représentées par les apports de l'oued Tafna qui constitue le cours d'eau principal de la région.

Les eaux de surface actuelles qui alimentent le G.U.T sont mobilisées par trois (03) barrages. Par contre, l'irrégularité des pluies et la sécheresse prolongée durant ces dernières années a limité les réserves de stockage de ces barrages (Tableau 3.3).

Tableau 3.3 : Données comparatives des ressources en en eaux superficielles mobilisables des barrages de Tlemcen (A.N.A.T, 2010).

Barrages	Mobilisation 2004 hm³/an	Mobilisation réelle 2008 hm³/an	Volume prélevé et usage wilaya 2008	Mobilisation mars 2009 hm³/an	Prévisions Mobilisation 2010 hm³/an
Béni Bahdel	48	14,249	10,955	55,061	48
Meffrouche	17	0,788	1,548	15,012	17
Sikkak	11	7,703	5,277	25,508	11

Chapitre III: Présentation de Groupement Urbain de Tlemcen-Mansourah- Chetouane et Beni Mester (GUT)

L'approvisionnement en eau potable a nécessité la réalisation de plusieurs adductions locales dans le GUT et les plus importantes alimentant le chef lieu de wilaya de Tlemcen (Tableau 3.4). Donc, il contient un réseau étagé, dont chaque étage alimente un secteur déterminé par une maille principale. Enfin, il se caractérise par un taux de satisfaction moyen de 94,02 % et un taux de raccordement moyen aux réseaux d'AEP de 95% (Tableau 3.5) (A.N.A.T, 2010).

Les adductions locales sont raccordées aux divers barrages comme représenté dans le tableau 3.4 :

Tableau 3.4 : Adductions dans le GUT (A.N.A.T, 2010).

Adductions	Capacité d'acheminement m ³ /j	Volume actuel m ³ /j	Usage	Centre bénéficiaire	Linéaire Km
Beni Bahdel Oran-BC1-GU Tlemcen	20 000	9000	AEP	Tlemcen	7
Meffrouche-GU Tlemcen	27 000	-	AEP	Tlemcen	2,4
Sikkak-GU Tlemcen	20 000	15 000	AEP	Ain Youcef Hennaya GUTlemcen	26

Tableau 3.5 : Situation de l'alimentation en eau potable par commune (A.N.A.T., 2010).

Communes	Pop 2008	Besoins (m3/j)	Production (m3/j)	Balance (m ³ /j)	Dotation l/j/hab	Taux Satisfaction (%)
<i>Beni Mester</i>	19382	2907	13287	+ 12997	685,53	100
<i>Tlemcen</i>	163674	32735	24905	- 7830	152,16	76,08
<i>Chetouane</i>	43431	6515	10082	+ 3567	232,14	100 %
<i>Mansourah</i>	44148	6622	12789	+ 6167	289,68	100 %

2.1.1. Le Barrage Meffrouche :

Le barrage de Meffrouch est situé au sud du chef lieu de la commune de Tlemcen (Figure 3.7). Il se trouve à 1240 m d'altitude, à 8 km de Tlemcen au sud de la commune de Terny. Les eaux du barrage sont situées au sud du GUT. Ce dernier régularise les eaux du bassin versant d'Oued Nacheff. Il est aussi alimenté un petit périmètre d'irrigation autour de Tlemcen. Il est raccordé au transfert de Beni Bahdel vers Oran. Le barrage Meffrouch enregistré un apport d'eau insuffisant qui ne peut pas satisfaire les besoins en eau du GUT actuellement (Yala M. et Larbi Chrif M., 2004 ; Berrahma B., 2009).

L'aménagement hydraulique de Meffrouch a été réalisé en deux étapes :

- nappe souterraine.

- barrage Meffrouch.

Les caractéristiques générales du barrage sont présentées dans la fiche technique de ce barrage de l'annexe C.



Figure 3.7 : Barrage Meffrouch (Photo Fellah H.S., 2009).

L'eau mobilisée par le barrage Meffrouch avant qu'elle soit desservie à la consommation, subit un traitement au niveau de deux stations juxtaposées, localisées au plateau de Lalla-Setti (Lalla-Setti N° 01 et Lalla-Setti N° 02) (Tableau 3.6).

Tableau 3.6 : Caractéristique de la station de Lalla Setti (1 et 2)
(Berrahma B., 2009).

	Station de Lalla Setti 01	Station de Lalla Setti 02
Mise en service	1962	1952-1954
Capacité optimale de traitement	4501/s soit 38880 m ³ /j	180 1/s soit 15 552 m ³ /j
Procédé de filtration	rapide	lente

A la sortie de deux stations, les volumes produits par le barrage sont mesurés par un débitmètre. Annuellement, les deux stations traitent en moyenne 3731537 m³/an.

2.1.2. Le barrage Beni- Bahdel:

C'est le plus ancien barrage de la région, le premier ouvrage réalisé dans le bassin de la Tafna pendant la période coloniale de 1934 à 1940. Il est localisé à l'endroit de la confluence des Oueds Tafna et oued Khemis, situés à 28 Km au sud ouest de Tlemcen avec un bassin versant de 1016 km². La partie la plus importante du débit de ce barrage est transférée vers la ville d'Oron et les villes situées le long du

couloir de transfert par l'intermédiaire de la station de traitement de Bouhallou et d'une adduction de 180 km de long (Yala M. et Larbi Chrif M., 2004).

Le groupement urbain de Tlemcen est desservi par le barrage Béni Bahdel à travers quatre piquages réalisés au niveau du conduit du transfert (BC1, BC2, piquage d'Ain El Houtz et le piquage d'Oudjlida), en raison de la faiblesse des précipitations et du manque d'eau général (Berrahma B., 2009).

A l'origine, il a été destiné à l'irrigation de la plaine de Maghnia et la mise en valeur d'autres potentialités agricoles mais, la situation difficile qui a engendré des tensions vives au niveau de l'approvisionnement en eau potable, de la population d'Oran, a amené à choisir comme variante satisfaisante le transfert affecté des eaux de ce Barrage, à cette région déficitaire. Au fil du temps, le débit affecté à l'irrigation du périmètre de Maghnia a été fortement réduit et même devenu nul en raison de la sécheresse prolongée (Bechir Hisseine O., 2006). Ces caractéristiques générales sont présentées dans la fiche technique de ce barrage de l'annexe C.

2.1.3. Le barrage Sekkak :

Le barrage Sekkak se trouve près du village d'Ain Ouahab, à 1 km à l'Est chef lieu de la commune d'Ain Youssef, près de 20 Km au la ville de Tlemcen. La construction du barrage a duré quatre ans (de 1999 à 2003) ; il été en service en 2004. Sa capacité théorique est 27Hm^3 , permet de régulariser annuellement 22Hm^3 d'eau.

Ce barrage au départ a été prévu pour la mise en valeur agricole des plaines d'Hennaya et d'El Fehoul avec un volume d'eau de 15Hm^3 . Mais les besoins en eau potable pour le GUT et les villes situées sur le couloir Ain Youssef- Tlemcen demandent de transférer une partie du volume régularisé pour renforcer l'AEP de ces dernières. La production se fait à partir d'une station de traitement installée à l'aval immédiat d barrage Sekkak à 475 m avec un débit d'eau traitée de l'ordre de $800\text{m}^3/\text{h}$ avec un temps de fonctionnement de la station de 24 h/j (ADE, 2008 in Berrahma B., 2009) (Tableau 3.7).

Tableau 3.7: Les volumes produits année par le barrage Sekkak (ADE, 2008 in Berrahma B., 2009).

Année	2007	2008
Volume (m^3)	3785783	3575156

III.2.2. La production en eaux souterraine :

La wilaya de Tlemcen a eu recours depuis plus deux décennies à la mobilisation de ses ressources souterraines pour la satisfaction de ses besoins en raison de la sécheresse prolongée et des déficits pluviométriques.

Les autorités locales ont été amenées à lancer des prospections des eaux souterraines à travers les monts de Tlemcen car, les ressources en eaux souterraines provenant de la nappe des Monts de Tlemcen. Cette dernière a été longtemps appelée le château d'eau naturel de l'ouest algérien. Elle est très arrosée entre 500 à 800 mm par an (Derni S., 2011 ; A.N.A.T., 2000 in Deguig D., 2009).

Les eaux souterraines du groupement sont mobilisées par les captages de sources, les puits et les forages des piémonts nord de Tlemcen. Elles sont destinées à l'alimentation en eau potable des populations, aux unités industrielles du GUT et les services publics (Mokhtari A. et Dir B., 2006) (Tableau 3.8).

Tableau 3. 8: Volume produit par pompages des eaux souterraines (E.P.E.O.R., 2002 in Guenaoui S., 2002) :

Eaux souterraines :	Volume (m³) 2001 :
ST.Ain-Bendou	578126
Source Fouara Sup	801472
Source Fouara Inf	156384
Forage Mansourah 2	481256
Forage Mansourah 3	A l'arrêt
Forage Minaret	409607
Forage Saf-Saf 2	543278
Forage Saf-Saf 3	473782
Forage Imama	105103
Forage Hopital	A sec
Forage Boudjemil	A sec
Forage péninière	A sec
Forage Benzedjeb	172639
Forage K'sar Echara	64832
Forage les oliviers	379812
Forage Birouana	494249
Forage Ain-El- Houtz	484833
Forage Ouzidane	434833
Forage Ain- Defla	493331
Forage Chetouane	142603
Total	6213465

2.2.1. Les forages :

Les nombreux forages effectués à travers le grand Tlemcen, pratiquement tous destinés à l'alimentation en eau de la population (Bensaoula F., 2006). Les forages les plus profonds ont atteint 497 m dans le groupement de Tlemcen (Bensaoula F. et al, 2005). Des forages sont réalisés chaque année pour mobiliser les eaux souterraines. On compte actuellement plus de 35 forages alimentant le GUT, au début de l'année 2009 (Berrahma B., 2009).

Les forages réalisés dans le grand Tlemcen fournissent un débit d'environ 179 l/s soit 15490 (m³/j) (Tableau 3.10). Les forages ont été réalisés dans le cadre d'un plan d'urgence. Ils sont peu profonds tel que TL5, TL7, TL7.... Qui mobilisent des eaux karstiques de bonne qualité physico-chimique (Tableau 3.9). La profondeur de ces forages varie de 150 m à 400 m un exemple :

Tableau 3.9 : Résultats des forages réalisés à Tlemcen (Collignon B., 1986 in Bahous W. et Rahim Z., 2006).

Ouvrage situation	Epaisseur des grés séquanien (m)	Epaisseur calcaire Kimméridgien (m)	Transmissivité (m ² /s)	K (m/s)	Débit exploitation (l/s)	Coordonnée		
						X (km)	Y (km)	Z (m)
Tlemcen TL4	67	30	1,5. 10 ⁻⁴	2. 10 ⁻⁶	3	655.1	3680.5	805
Tlemcen TL2	68	12	1,5. 10 ⁻²	2. 10 ⁻⁶	6	129.2	181.6	825

Tableau 3.10 : Quelques forages réalisés dans le grand Tlemcen (ADE 2000, in Bahous W. et Rahim Z., 2006).

Forage	Débit exploitable (l/s)	Débit exploité (l/s)
Ain El Houtz	20	17
Saf-saf	40	36.06
Benzerdjeb	15	6.01
Ouzidène	30	21.27
chetouane	15	7.07
Mansourah II	15	3.11
Hôpital	10	7.95
Minaret	45	42.07
Birouana	20	9.27
Ain Defla	10	10.5
Ksar chaara	10	5.45
imama	10	2.67
Hai Zitoune	20	10.85
Total	270	179.28

2.2.2. Les sources :

Les nombreux massifs dolomiques de la région de Tlemcen donnent naissance à plusieurs émergences karstiques. Les sources naissent à la faveur des failles. Elles se localisent aux points bas des affleurements des karsts perchés à la limite Nord des affleurements jurassique au contact des terrains Miocène.

On trouve des sources importantes à travers le groupement urbain de Tlemcen qui sont captées et destinées pour l'alimentation en eau potable ainsi que l'alimentation en eau industrielle exemple : La source de Mansourah. Comme on trouve la majorité des sources dans la nature inexploitées ni pour l'alimentation en eau potable ni pour l'alimentation d'industrielle sont destinées seulement pour l'irrigation des champs agricoles. Généralement, la majorité des sources présente un régime très irrégulier (Bahous W. et Rahim Z., 2006 ; Bensaoula F., 2006).

Les principales sources exploitables dans le grand Tlemcen sont :

- **Ain Fouara supérieure**, située au Nord-est du plateau de Lalla Setti à environ 2 Km au sud de l'agglomération de Tlemcen supérieure à une altitude de 997 m.
- **Ain Fouara inférieure**, située au niveau du quartier kalaa à environ 1.5Km au Nord-est Ain Fouara supérieure à une altitude.
- **Ain Bendou**, située à 1.3 Km au Nord-est de Saf Saf à altitude de 850m, avec une capacité optimale de pompage de 12960 m³/j (Berrahma B., 2009 ; Bahous W. et Rahim Z., 2006). Ainsi, une étude effectuée par A.B.H. a montré qu'il y'avait déjà une contamination de A. Bendou par les eaux résiduaires rejeté (R.25 et R.24) dans la zone environnante, Ceci a été confirmé par des analyses physico-chimiques qui montrent clairement la présence de nitrates NO₃ et de matières organique (MO) avec un taux élevé en chlore Cl (Hamza chérif C.S.I, 2011).

2.2.3. Les puits :

Les puits sont réalisés pour l'alimentation en eau potable pour les populations de GUT. Suite d'une analyse des eaux souterraines de certaines puits captant l'aquifère des grés Torthonien effectuées par Abi Ayad L. et Belkacem F., Bouchenak K. pour étudier leur qualité physico-chimique et bactériologique. Les résultats des analyses montrent que:

- Certains puits ont une mauvaise qualité bactériologiques à cause de présence les Escherichia coli et les Coliformes due à l'existence à proximité des sources de pollution (terrain irrigué par les eaux usées, point de rejet d'eau usée...etc.). Alors ils rendent impropre à la consommation humaine comme les puits d'Ain defla, Ouzidane, Bab Djiad.
- La majorité des puits sont de bonne qualité physico-chimique sauf certain puits qui contient un taux élevé de nitrates à cause des activités agricoles par exemple le puits d'Ain defla AD. Ainsi, la teneur de phosphate est plus au moins élevés pour certain puits ; le puits de Kiffane KH, le puits d'Imama BM ; qui est due à une pollution d'origine ménagère.

III.3. L'ETAT DE L'ASSAINISSEMENT DANS LA ZONE D'ETUDE :

L'assainissement des eaux usées est devenu un impératif pour nos sociétés modernes. En effet, la dégradation des ressources en eaux et sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peut non seulement détériorer gravement l'environnement, mais aussi entraîner des risques de pénurie et des nombreuses maladies liées à un milieu malsain.

Donc, il faut une amélioration des dimensions environnementales, sanitaires et économiques de la vie en collectivité, ce qui en fait un élément clé d'une politique de développement durable (Hamza Cherif C. S, 2011).

On a deux types d'assainissement :

- d'assainissement collectif lorsque les eaux usées d'une maison ou d'un immeuble sont collectées par le réseau public d'assainissement, puis acheminées vers une station d'épuration où elles sont traitées.
- L'assainissement non collectif, aussi appelé assainissement autonome ou individuel, constitue la solution technique et économique la mieux adaptée en milieu rural. Ce type d'assainissement concerne les maisons d'habitations individuelles non raccordées à un réseau public de collecte des eaux usées. Généralement, il réalise des fosses septiques pour recevoir l'ensemble des eaux usées ménagère et de vanne des maisons [21].

Les directions locales de l'eau (DHW, ANAT, ONA...) font différents études du P.O.S et P.D.A.U sur le GUT. Ils donnent les informations sur le type et le diamètre de réseau d'assainissement, les points de rejets et leurs milieux récepteurs.

Enfin, Ils ont signalé que le taux de raccordement moyen aux réseaux d'assainissement est de 94,25 % et un volume d'eaux usées brutes rejetés de 10,20 hm³/an soit 27981 m³/j (A.N.A.T., 2010) (Tableau 3.11).

Tableau 3.11 : Indicateurs de l'assainissement par commune (A.N.A.T., 2010).

Communes	Besoins (m ³ /j) Hm ³ /an	Production (m ³ /j) Hm ³ /an	Taux de Raccord. Assainissement (%)	Superficie Irriguée (ha)
Beni Mester	2907	13287	92 %	46
Tlemcen	32735	24905	98 %	155
Chetouane	6515	10082	92 %	821
Mansourah	6622	12789	95 %	340

III.3.1. Les rejets d'eaux usées :

L'accélération du développement urbain des principales agglomérations a induit automatiquement la multiplication des points de rejets vers les Oueds (A.N.A.T, 2010). La quasi-totalité du groupement urbain assainis continuent de rejeter leurs eaux usées dans la nature sans traitement préalable. Ces eaux polluées se déversent directement vers les oueds« Chaabat el Horaa, Oued Saf saf, Matchekana ». Sans aucune forme d'épuration causant des risques de contamination réelle des nappes (Deguig D., 2009). La pollution affecte la plupart des agglomérations qui sont mal assainies.

Il faut souligner que toutes les agglomérations dont la population avoisine les 5000 habitants et plus sont dotées d'un réseau d'assainissement. Les centres semi-ruraux et la zone rurale dépourvus de système d'assainissement font recours, aux fosses septiques, aux puits perdus, ou alors tout simplement aux rejets dans la nature (Derni S., 2011).

A lumière d'étude du système d'épuration de la partie Ouest du GUT (Mansourah, Tlemcen et Chetouane) qui est effectué par la NEE pour le compte de DHWT, on estime les débits d'eaux usées domestiques théoriquement qui sont évacués quotidiennement à partir de la consommation en eau potable de 100 l/j/hab correspondant aux plus fortes consommations quotidiennes selon les centres urbains étudié. Ainsi, on prend les 80 % de la consommation d'eau potable pour l'estimation de débit d'eau usée. La plupart des débits d'eaux usées présentés dans l'annexe E sont évalués à partir de l'étude de NEE.

Mais pour la commune de Beni Mester et après notre rencontre avec le délégué des fellahs au niveau de l'APC, nous avons calculé les débits d'eaux usées

domestique théoriquement pour une dotation de 80 l/j/hab et toujours 80% de la consommation d'eau potable.

3.1.1. La commune de Tlemcen :

Les conditions topographiques du groupement ont toujours constitué un élément favorable dans la conception et la réalisation progressive du réseau d'assainissement. Les réseaux sont de type unitaire et permettent de drainer aussi bien les eaux usées que les eaux pluviales. Le taux de raccordement en matière d'assainissement est estimé à 98% soit une linéaire de 150114 m en 2009 (A.N.A.T., 2005).

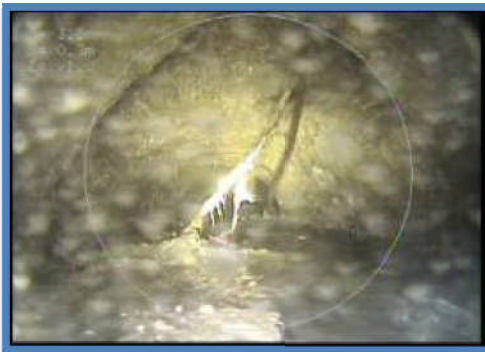
En effet, ces eaux sont collectées par trois principaux collecteurs dont les terrains ont une tendance gravitaire, ce qui facilite l'évacuation des eaux usées et se rejoignent à l'aval de Fedden Sebaa. Ce dernier rejet représente le rejet principal de la ville de Tlemcen qui pose le problème de contamination des nappes phréatiques. Ces trois collecteurs sont :

- **Système Principal :** Le collecteur de Chaabat El Horra, prend en charge les effluents du sous bassin central (la partie centrale de la ville de Tlemcen, Cité des cerisiers, Cité bel horizon, Agglomération de boudghène). Il débute à partir de la rue des frères Bouafia, ouest du tombeau du Rab vers Fedden Sebaa.
- **Système Est :** Le collecteur de Metchkana drainant les eaux du sous bassin Est la minoterie d'El Kalaa et de la pépinière vers Fedden Sebaa.
- **Système Ouest :** Le collecteur ouest, collecte les rejets du sous bassin ouest (boulevard longeant la protection civile de Boudghène, Imama Est et Kiffane Nord- Ouest (A.N.A.T., 2005).

L'ONA a fait une étude en 2012 dans le cadre de la réhabilitation du réseau d'assainissement de la ville de Tlemcen. Il a mentionné des points noirs qui existent dans la commune de Tlemcen et utilise une caméra d'inspection pour évaluation l'état de réseau d'assainissement (Figure 3.8). On constate que le réseau d'assainissement de l'ancienne Médina est dans un état vétuste et lamentable, sans ignorer le rejet d'eau usée à ciel ouvert en plein tissu urbain (Sid Lakhdar M.A., 2012).

Selon l'étude de l'ONA, les points noirs de la commune de Tlemcen sont :

- Koudia (habitats précaires);
- Rejet Koudia à ciel ouvert recueille les eaux des égouts de koudia et même de la cité Imama qu'il devient une retenue d'eaux usées, nauséabonde et un milieu de prolifération des moustiques et toutes bestioles;
- Derb Naija (ancienne Médina);
- Agadir (Ancienne Médina);
- Kessarine (piquage pirate par irrigants clandestins);
- Derb el Qadi, Derb Messoufa (Ancienne Médina);
- Bd Kazi Aouel (sous dimensionnement de la conduite);
- Rue Ibn Khamis (à côté Mosquée Sidi Brahim);



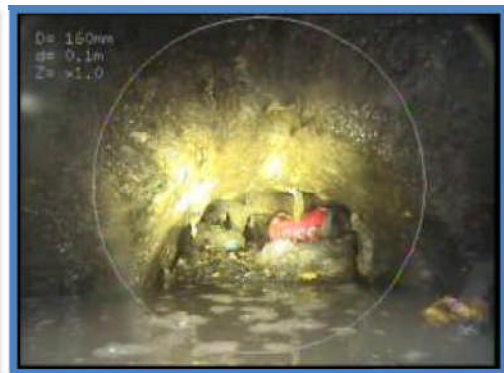
Conduite partiellement envasé



présence de corps physiques



Conduite à l'intérieur d'une conduite



déchets prévenants d'avaloirs

Figure 3. 8 : Les images de la caméra d'inspection de l'ONA (état de réseau d'assainissement de la commune de Tlemcen) (Sid Lakhdar M.A., 2012).

Ainsi, les différents points de rejets d'eaux usées de la commune de Tlemcen sont regroupés dans le tableau E.4 de l'annexe E. On constate qu'il y a vingt-quatre points de rejets d'eaux usées à travers la commune (Voir les figures 3.11 ; 3.10; 3.9).

Chapitre III: Présentation de Groupement Urbain de Tlemcen-Mansourah-Chetouane et Beni Mester (GUT)

Ils se déversent sans traitement dans les chaabats : El horra, Metchkana et Makhokh qui posent le problème de pollution des eaux et superficielles. On tire l'attention sur le type de réseau d'assainissement est unitaire et permet la collecte de ces eaux usées provenant des différents endroits de pollution de grande toxicité telle que la clinique dentaire Ferraj, les unités industriels (ex : l'unité MENTAL jette 10 m³/j d'eaux usées et 100 l/an d'huiles usées) et l'hôpital de Tlemcen CHU (rejet du laboratoire d'épidémiologie, rejet d'anatomie et de scintigraphie qui utilise la radioactivité).



Figure 3.9 : Rejet koudia à ciel ouvert (Photo Fellah H.S., 2012).



Figure 3.10: Le rejet de nouveau pôle universitaire (Photo Fellah H.S., 2012).



Figure 3.11 : Les rejets de la communes de Mansourah (1 : Rejet Dar el ihssane, 2 : Rejet Nord-ouest de Kouidia) (Sid Lakhdar M.A., 2012).

Par contre, les rejets d'eaux usées domestiques de Tlemcen et de l'agglomération d'Abou-Tachfine sont acheminés vers la station d'épuration d'Ain El Houtz avec une surface de 13 ha. Ce dernier ne prend en charge que 35% des effluents domestiques des régions indiquées. Elle a été réalisée par l'Entreprise Hydrotraitement, mise ne service le 05 Novembre 2005, gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement (Figure 3.12).



Figure 3.12: Station d'épuration d'Ain el houtz (Anonyme, 2010).

À l'entrée de la station d'épuration de la ville de Tlemcen, on trouve un déversoir d'orage qui est dimensionné pour prendre en charge un maximum de 3300 m³/h. Par contre, les caractéristiques principales de cette station sont présentées dans le tableau D.1 de l'annexe D. Ainsi, la station a été dimensionnée sur la base des données suivante :

- Type de réseau : unitaire
- Nature des eaux brutes : domestiques

- Débit journalier : 30 000 m³/j
- Débit de pointe horaire admis au traitement : 3 800 m³/h
- DBO₅ journalière : 9 300 kg/j
- Matière en suspension : 13 950 kg/j
- Azote à nitrifier : 1 980 kg
- L'équivalence calculée sur la DBO : 172 000 eq/hab. (Anonyme (a), 2010).

Il faut savoir qu'il y a beaucoup d'études sur les rejets domestiques du GUT qui sont toujours en augmentation. Dans le cadre de la préservation de l'environnement, les autorités locales annoncent des projets des stations d'épurations nouvelles dont le projet de la station d'épuration d'Hennaya qui est au cours de réalisation (voir tableau D.2 de l'annexe D).

3.1.2. La commune de Mansourah :

Le réseau d'assainissement est de type unitaire avec un taux de raccordement de l'ordre 95% (en 2009) soit une linéaire de 40245 m. La configuration topographique de la zone, a induit l'existence de trois principaux rejets d'assainissement qui se font dans un même milieu récepteur, l'Oued Boumessaoud qui constitue l'exécutoire de ces rejets (A.N.A.T., 2005).

Les différents points de rejets de la commune de Mansourah sont représentés dans le tableau E.2 de l'annexe E. Il existe huit points de rejets d'eaux usées. On cite quelques points noirs de la commune de Mansourah (Figure 3.13):

- Le rejet final de 500 logts à ciel ouvert ;
- A Bouhanak réseau d'assainissement anarchique et présence de fosses septiques au terrain Zouad;
- Le rejet final de Attar et de Beni boublène sont à l'air libre;
- Le réseau à Hai wali mustapha est anarchique ;
- A Mansourah vieux village, présence des fosses septiques et absence de réseau d'assainissement.

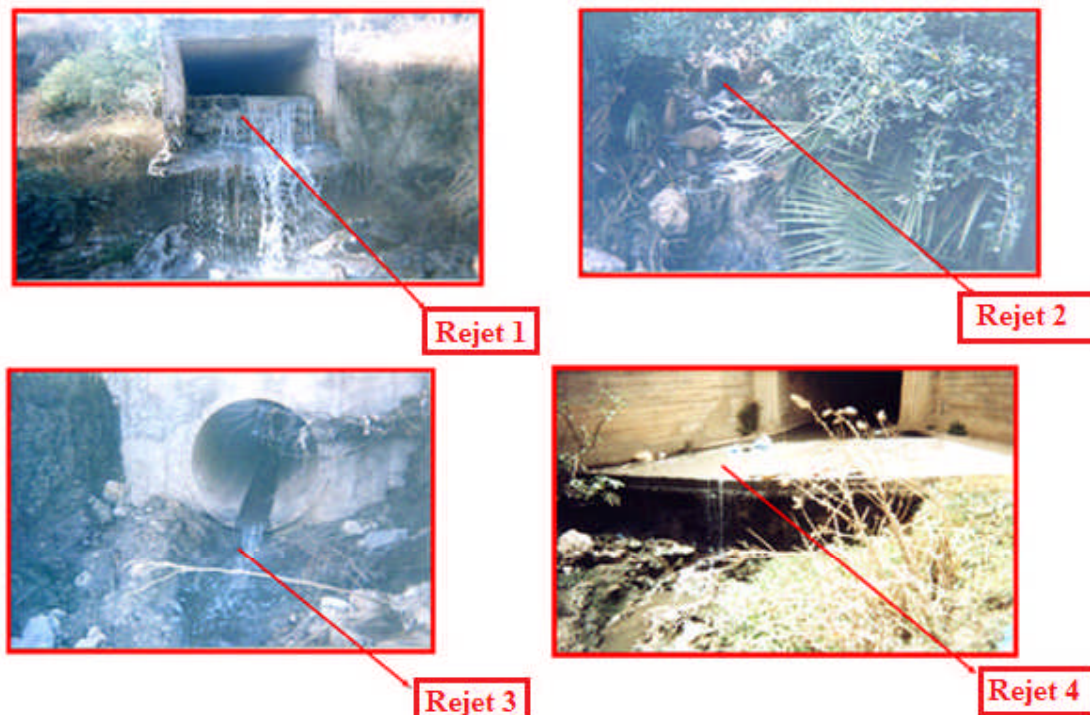


Figure 3. 13 : Rejet de la commune de Mansourah (1 : rejet Dalot champ tir, 2 : rejet cité 17 octobre, 3 : rejet Oued Abesse, 4 : rejet Makhokh) (Sid Lakhdar .M.A, 2012).

3.1.3.La commune de Chetouane :

Les différents points de rejets de la commune de chetouane sont représentés dans le tableau E.1 de l'annexe E. On remarque qu'il y a 26 points de rejets d'eaux usées à ciel ouvert qui ne subissent aucun traitement. Ils menacent la ressource en eau et en plus la dégradation de la nature (Figure 3.15). Parmi les points de rejets de la commune les plus importants : les rejets de la zone industrielle évacués vers le réseau urbain qui sont très chargés des métaux lourds comme l'unité de SOITEX (255 m³/j d'eaux usées), des produits chimiques comme les unités des savonneries et des huiles usées comme les stations de lavage, l'unité de SOITEX (Figure 3.27) (un fluide caloporteur d'une quantité de 120 m³/20 ans et 6 T/an d'huiles et graisses) (Figure 3.14) et les mécaniciens... etc.



Figure 3.14 : Oued Saf saf pollué (Photo Fellah H.S., 2012).



Figure 3. 15 : Rejet de la commune de chetouane (1 : Rejet ver le pont, 2 : Rejet M'sela et Sidi yahia) (Sid Lakhdar M.A., 2012).

Ainsi, la commune de chetouane contient deux centres urbains qui sont :

- **Chetouane :**

L'ensemble des agglomérations et centres de cette commune, disposent d'un réseau d'assainissement : Chetouane, Ouzidane, Ain EL Houtz, M'dig, Sidi Aissa, Ain Defla, Ouaar, Saf Saf, Haouch El Ouaar Néanmoins, l'ensemble des réseaux d'assainissement de ces centres sont autonomes avec des collecteurs principaux d'un diamètre de 200 à 600mm. Les rejets sont dirigés vers l'oued Sikkak (A.N.A.T., 2005 et N.E.E., 2006).

- **M'Sala :**

Le réseau d'assainissement de cette agglomération est de type unitaire,

constitué de collecteurs en béton comprimé de diamètre 300m-400mm. L'évacuation des eaux usées se fait en deux points. Le problème majeur en matière d'assainissement dans ce centre, est l'existence de plusieurs fosses septique non réglementaire. Le taux de raccordement en matière d'assainissement est estimé à 85% soit un linéaire de 44035 m en 2009 (U.R.B.A.T., in Hamza Cherif C.S., 2011).

3.1.4.La commune de Beni Mester :

Les différents points de rejets de la commune de chetouane sont représentés dans le tableau E.3 de l'annexe E. Il existe 8 points de rejets d'eaux usées important. On résume les rejets comme suivant :

Le rejet final de Beni Mester, Tizghanit et Oueld Benhaddi sont à ciel ouvert. Ainsi à Ain douz, la zone dite Ouled Meziane n'existe pas de réseaux d'assainissement et aussi dans la partie sud de Boudjmil absence de réseau d'assainissement, leurs rejets sont à l'air libre. Mais la partie nord de Boudjmil déverse leur rejet à l'oued qui est en plein tissu urbain et sert à la prolifération des moustiques (Figure 3.16). Par contre, Ounadjella contient certaine ruelles non assainies et aussi l'APC fait leur effort pour prévoir des réseaux d'assainissement dans ce quartier (communication verbale avec le chef de service de DHWT). Néanmoins, ils existent des rejets de très faibles débits et ils ne sont pas incluse dans l'étude comme le rejet de Ouled Ben hamou (inexistant de réseau), le rejet d'Ain Ramla (1000 habitants et une dotation de 80 l/j/hab donne un débit de l'ordre 0,92 l/s), le rejet d'Ouled Ben zian (120 habitants et avec une dotation de 80 l/j/hab donne un débit égale 0,088 l/s).



Figure 3.16 : Le rejet nord de Boudjmil qui déverse dans l'Oued en plein tissus urbain (Photo Fellah H.S., 2012).

La commune de Beni Mester contient quatre centres urbains qui sont :

- **Beni Mester :**

L'agglomération est assainie, son réseau est de type unitaire avec un taux de raccordement de 90%. Les rejets qui se font à l'air libre sont à l'origine des grandes nuisances et source de pollution des points d'eau et puits (A.N.A.T., 2005). Il existe deux points de rejets, le premier de diamètre 1000 mm situé au Nord et déverse dans chaabat El Sloukia qui traverse le chef-lieu d'où les odeurs nauséabondes sont fréquentes en été. Le deuxième se trouve à l'Ouest et déverse au lieu-dit 'Mechraa'. Les deux rejets rejoignent Oued El Ançor (A.N.A.T., 2007 in Hamza Cherif C.S., 2011).

- **Zelboune :**

L'agglomération est partiellement assainie, son réseau est de type pseudo-séparatif. Le taux de raccordement est de 75%. Elle possède deux points de rejet dont le principal (diamètre 400 mm) rejette sur Oued El Rharbi (E.N.H.Y.D., 1993 in Hamza Cherif C.S., 2011).

- **Ain Douz :**

Ain Douz est assaini partiellement. Le collecteur principal à un diamètre de 500 mm et son point de rejet est situé au Nord de l'agglomération (E.N.H.Y.D., 1993 in Hamza Cherif C.S., 2011).

- **Tizighanit :**

Le réseau d'assainissement de cette agglomération est de type pseudo-séparatif avec un taux de raccordement de l'ordre 90% soit une linéaire de 28705 m (2009). Le collecteur principal de diamètre 600 mm débouchant sur un déversoir d'orage, puis sur Oued Tizghan et un autre collecteur de diamètre 300 mm drainant les eaux de la partie Ouest de la ville sur une chaabat menant à Oued zitoun (E.N.H.Y.D., 1993 in Hamza Cherif C.S., 2011).

III.3.2. Impact sur les eaux souterraines :

Les rejets d'eaux usées dans le GUT sont non contrôlés et se déversent directement en milieu récepteur constitué par le chevelu hydrographique existant à proximité des différents tissus urbains sans aucune réglementation ou protection du cadre de vie des habitants. Ainsi, une grande majorité des talwegs et d'oueds sont devenus des chenaux à ciel ouvert d'écoulement d'eaux usées. En plus, on constate

que la qualité des eaux de ruissèlement s'est fortement dégradée par une augmentation de la concentration en matière organique et le prolongement de la sécheresse. Même en période hivernale la capacité d'auto épuration des principaux oueds est considérablement réduite. Alors, ces eaux usées constituent un véritable danger pour la nappe phréatique et les ressources souterraines parce qu'elles sont trop chargées en matières organiques, des germes pathogènes et des métaux lourds provenant des zones industriels qui s'infiltrent dans les couches de sol et contaminent largement les forages et les sources alimentant les populations. L'existence d'une connexion entre le réseau d'AEP et le réseau d'assainissement provoque une contamination des eaux potables ainsi que les eaux souterraines. Ces problèmes causent les maladies à transmission hydrique.

En effet, plusieurs cas de maladies à transmission hydrique ont été constatés dans le GUT par exemple : en 2000 à Ain Bendou (Commune de Chetouane) 20 cas hospitalisés suite à une contamination à Salmonella, Typhoïde et E. Coli, aussi à Ain douz (Commune de Beni Mester) un cas suite à une fièvre typhoïde ayant été contaminé par l'eau consommée au niveau de Hammam Ain douz (Bouayed M., 2008).

III.4. L'OCCUPATION DU SOL DANS LE GUT :

III.4.1. Infrastructure de développement :

4.1.1. Les déchets ménagers :

Les déchets solides urbains constituent un problème majeur pour la santé humaine et surtout sur le plan environnemental. Ils sont liés en grande partie, à la forte concentration des populations, aux activités industrielles et à une urbanisation rapide et incontrôlée (Errahoui F. et Souiki M.I., 2004). A cause de ce dernier, on aura généré une multiplication des déchets dites « décharges sauvages ». En Algérie, la plupart des décharges actuelles peuvent être classées comme décharges sauvages à ciel ouvert avec la quasi-inexistence des décharges contrôlées (Bouchikhi T.Z. et Hassaine K., 2006).

Dans le GUT, les déchets ménagers domestiques réduits mais très denses, sont évalués à près de 54700 tonnes/an (A.N.A.T., 2010). La quantité d'ordure ménagère générée par les habitants du groupement pour une norme de 0,5 Kg/hab/j (A.N.A.T., 2005). Selon l'étude du plan directeur de gestion des déchets solides urbains élaborée par l'Agence TAD, les moyens matériels affectés pour la collecte des ordures ménagères, sont de l'ordre de 38 engins (A.N.A.T., 2005). À l'horizon

2025, il estime que le volume serait de l'ordre de 76 700 tonnes/an de déchets solides dans ce même groupement (A.N.A.T., 2010).

La décharge publique de Saf Saf, reçoit à elle seule 22000 tonnes de déchets/an, soit seulement 25% de l'ensemble des déchets ; en provenance du chef-lieu de wilaya et de ses environs (de G.U.T). Certaines communes pour prolonger la durée d'exploitation de leurs décharges sauvage compactent les déchets, d'autres les brûlent. En l'absence de suivi, ces décharges deviennent une source de pollutions et de nuisances. (A.N.A.T., 2010).

Enfin, il est nécessaire d'engager une étude de collecte et de gestion des déchets au niveau de toute la wilaya non seulement dans le G.U.T (A.N.A.T., 2005).

4.1.1.1. Décharge contrôlée :

L'accroissement démographique particulièrement fort et un exode rural massif ont entraîné un processus de développement accéléré des villes moyennes comme Tlemcen, caractérisé par une urbanisation intense souvent peu ou pas contrôlée. Suite à l'insuffisance des moyens de collecte et nettoyage et la prolifération de l'habitat spontanée aurait généré une multiplication des déchets ménagers dans le milieu naturel qui constitue des décharges sauvages (A.N.A.T., 2010). En outre, ces déchets ne sont pas triés, ni valorisés, ni recyclés. Ils sont incinérés de façons anarchiques sans application de norme établies. Ceux-ci représentent des sources de pollution dangereux et de nuisance importantes sur l'environnement et donc sur la santé humaines (Bouayed M., 2008).

L'agence T.A.D a effectué une enquête à la fin du mois de Mai 2002 avec la contribution des différentes communes et de la population des divers quartiers a permis de mettre en évidence l'existence de treize décharges sauvages sur l'ensemble des sites recensés dans le groupement (Errahoui F. et Souiki M.I., 2004). Cependant, la décharge sauvage de Saf Saf était dans un état lamentable. Les déchets atteignaient la route nationale RN. 2 menant vers Bensekrane et ceci avant le début des travaux d'éradication (Voir la figure 3.17) (Zaoui A., 2007).

Alors, le groupement du grand Tlemcen projette de réaliser une décharge publique contrôlée pour le stockage et le traitement des résidus provenant de cinq communes (Tlemcen, Chetouane, Mansourah, Ain Fezza, Amieur). Il s'agit d'un centre d'enfouissement technique (CET) de la classe II (déchets ménagers avec des risques moyens) réalisé sur des bases scientifiques et selon les aptitudes physiques du site récepteur (Errahoui F. et Souiki M.I., 2004). La CET de Saf Saf est réalisée dans le cadre de l'éradication de la décharge sauvage communale.



Figure 3.17 : Décharge sauvage de Saf Saf (Zaoui A., 2007).

4.1.1.1.1. Présentation de C.E.T :

Le centre d'enfouissement technique du groupement grand Tlemcen est situé à Djebel El Hadid, commune de Chetouane, à 7 km de la ville de Tlemcen. Il représente une nécessité pour les collectivités locales du GUT et correspond à une prise en charge des cinq communes pour l'élimination des déchets urbains de 321 927 habitants (2011). Il occupe une superficie d'environ 25 hectares, avec des possibilités d'extension si cela s'avérait nécessaire. Sa durée de vie est de 40 ans.

Pour estimer la quantité de déchets générés par le groupement, on doit connaître le nombre d'habitants et la quantité moyenne générée par habitant (0,5 Kg/hab/j). Alors, la quantité des déchets générés est l'ordre de 214,3 t/j soit environ 631855 t/an de déchets ménagers (Tableau 3.12).

Les Travaux de réalisation du CET était lancés le 03 novembre 2003 avec l'entreprise de ETPH Hasnaoui et le bureau expert en études géologiques et minières. Le CET est mis en service le 05 Juin 2005.

La décharge publique Saf Saf contient les rejets de 13 unités industrielles tel que : Minoterie Sidi Boumediene, Minoterie la Tafna, SARL LIT MAG et l'Exquise etc... Les rejets d'abattoirs et les tueries (ovins, bovins, caprins et volailles) au niveau de Tlemcen, Chetouane et Mansourah sont enterrés dans des fosses spécialement aménagées dans le CET.

Enfin, le projet de CET consiste à la création de décharge contrôlée dans ces 5 communes, capable de répondre aux préoccupations à la fois environnementales et économiques et gestion rationnelle de l'espace (Errahoui F. et Souiki M.I., 2004 et Anonyme (a), 2011).

Tableau 3.12: La décharge publique de la wilaya de Tlemcen (ABAK, 2007).

Commune	Procédé de traitement de déchet	Type de décharge	Nature de déchet
Tlemcen	Enfouissement de déchets	Contrôlé	ménagères
Chetouane			
Mansourah			
Amieur			
Ain fezza			

4.1.1.1.2. Composition et fonctionnement du CET :

Le Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T.) des déchets est un espace clôturé et Gardienné (Zaoui A., 2007). Il est un ensemble composé de casiers, indépendants sur le plan hydraulique. Les casiers sont entourés de digues étanches. L'étanchéité est assurée par superposition d'une "géomembrane" en mélange de fibres textiles en PEHD et de matériaux drainant. Les lixiviats sont récupérés, traités par lagunage. La hauteur et la pente des digues, la distance des casiers par rapport à la limite de l'exploitation, les contrôles sont réglementés. La durée d'exploitation est en général de vingt ans.

Le centre d'enfouissement technique est constitué des ouvrages suivants :

- Un premier casier d'enfouissement des déchets : Le casier est constitué d'une membrane étanche d'une superficie de 3 ha, le tout posé sur un sol d'argile. Il a une capacité de 400 000 m³, conçu pour une durée de vie 9 ans. Mais, les eaux qui traversent le casier et les «lixiviats», sont récupérées et orientées vers les bassins de lagunage (Zaoui A., 2007 et Anonyme (a) ; 2011).
- Une station de lagunage pour la récupération des lixiviats (volume : 3 120 m³) (Figure 3.18).

- Des bâtiments techniques : Abri pour engins, bloc administratif, bureaux, sanitaires, atelier d'entretien, magasin, poste de contrôle... (Anonyme (a), 2011).
- Une unité de récupération (plastique et carton). Le directeur de CET compte mettre en place d'autres unités à l'avenir, notamment, celles du fer et du verre [25].



Figure 3.18 : La station de lagunage de CET (Zaoui A., 2007).

Equipements d'exploitation du centre d'enfouissement technique :

- Un pont bascule (12 x 3 m)
- Un compteur à pied de mouton
- Une pelle chargeur sur pneus
- Un bull dozer
- Un camion à benne basculante 15 T
- Véhicule 4x4
- Une citerne tractable (Anonyme (a), 2011).

On enregistre de 2006 à 2007, une progression croissante du tonnage enfouis en décharge Saf Saf (en cours d'éradication) de la classe II (déchets ménagers), et ceci toutes catégories de déchets confondues, qui s'explique par la future fermeture de la décharge de Hénaya et l'augmentation de la production de déchets (Zaoui A., 2007).

4.1.1.1.3. Impact sur les eaux souterraines :

Un dépôt d'ordures ménagères, constituées sans précaution, présentes un risque majeur de contamination des eaux de surface et des nappes souterraines autant qu'il dégrade beaucoup l'environnement et perturbe l'écosystème et aussi menace gravement la santé humaine.

Dans le GUT, Les ressources souterraines sont la principale source d'alimentation en eau potable c'est pour cela qu'il faut la protéger et la préserver contre toute source de pollution qui peut atteindre l'aquifère. Ainsi, L'étude hydrologique a pour objet de s'assurer que les eaux de ruissellement et les eaux d'infiltration, percolant à travers le site de projet de CET de Saf Saf, ne pourraient pas accéder au nappe d'eau selon un trajet depuis la surface de sol jusqu'à l'aquifère de nature à effectuer une filtration adéquat. En prend en considération l'étude géologique et hydrogéologique qui montre que cette zone est un milieu karstique fortement hétérogène dans lequel la circulation et la vitesse de l'eau est plus rapide.

Cependant, cette décharge publique présente le risque de pollution de sol par le lixiviats et leur danger d'infiltration à travers les fissures des bancs calcaires (communication verbale avec le chef de service de la direction de l'environnement) laquelle est trop chargée par les polluants inorganiques comme les métaux lourds sont de nature très toxique et les polluants organiques qui sont exprimés par le paramètre globaux DCO_5 , DBO_5 et COT. Ainsi quand les conditions minimales d'enfouissement de déchets ne sont pas respectées, ces lixiviats peuvent être entraînés dans son parcours de pénétration les micros organismes pathogène qui se développent sur les éléments nutritifs qu'ils trouvent dans la décharge. Tout cela provoque la contamination des eaux souterraines.

Donc, il faut imposer des règles très strictes de captage des lixiviats dès la conception du centre d'enfouissement technique pour éviter la contamination des eaux souterraines et ainsi les risques d'exposition des populations à des eaux contaminées. Il est nécessaire d'empêcher tout transfert de lixiviats vers les eaux souterraines par la réalisation d'une barrière de sécurité étanche dans notre site. Le confinement des lixiviats est assuré par l'étanchéité du site [24].

Il faut protéger CET de Saf Saf contre toute forme éventuelle des fuites dans les membranes d'étanchéité qui peuvent occasionner la contamination de la nappe.

4.1.1.2. Décharge sauvage :

4.1.1.2.1. Présentation :

Face à la croissance démographique et l'urbanisation anarchique de la

commune de Beni Mester, le problème de la gestion des déchets solides est l'un des problèmes cruciaux de cette commune. La décharge sauvage est un dépôt des ordures ménagères dans le milieu naturel autrement elle est définie comme toute accumulation d'ordures par des habitants ou des entreprises, leur intérêt est de se débarrasser de ces déchets dans le milieu naturel. Elle est généralement implantée et exploitée sur des terrains communaux et sur des sites choisis au hasard sans aucune mesure de protection de l'environnement, sans règles élémentaires d'hygiène publique et ainsi aucune étude d'impact sur l'environnement et particulièrement sur l'eau soit superficielle ou souterraine (Aina M.P., 2006).

Dans notre zone d'étude, il existe une seule décharge non contrôlée. C'est la décharge sauvage de Sidi Abderrahmane qui se trouve à Beni Mester. Elle occupe une superficie de 2 ha avec la possibilité d'extension (Tableau 3.13). Elle prend en charge tous les déchets domestiques ou urbains et les déchets spéciaux tel que : les rejets des abattoirs des volailles, les déchets et les détritiques d'élevages ; ovins, bovins et volailles ; les rejets des huiliers et les rejets sanitaires ...etc.

Tableau 3.13 : Liste de décharge sauvage à travers le GUT (Anonyme (b), 2012).

Daïra	Commune	Localisation
Mansourah	Beni Mester	Sidi Abderrahmane
	Terny	Tasmranet (Environ 1,5 Km du centre du centre du chef lieu)

4.1.1.2.2. Impact de la décharge sauvage sur les eaux souterraines:

La décharge sauvage est devenue une des principales causes d'altération de l'environnement et de la pollution des sols, des eaux et de l'air. Nous sommes intéressés à l'impact sur les ressources souterraines.

En effet elles polluent les cours d'eau et les nappes souterraines (notamment en raison du ruissellement de la pluie sur les déchets) par des produits de dégradation liquide [26]. C'est le lixiviat qui provient de l'eau de ruissellement qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement en substances minérales et organiques dissoutes ou en suspension. Sa formation dépend de l'hauteur de déchets, la nature et la qualité des déchets, la surface exploitée et l'âge des déchets ...etc. (Aina M.P., 2006).

Pour l'estimation du degré d'impact sur les eaux souterraine, il faut connaître :

- le type et la nature d'aquifère de la zone

- Estimation de la profondeur de la nappe (le niveau piézométrique, le rabattement).
- Distance du captage le plus proche
- Existence potentielle de circulations préférentielles vers la nappe (failles, fractures, puits anciens)
- L'existence de cours d'eau, d'oued ou de chaabat à proximité de site de décharge sauvage.
- La série lithologique de site (les couches géologiques).
- La perméabilité de terrain.

A l'issue de ces derniers, on constate que la décharge de Sidi Abderrahmane influence négativement sur les ressources souterraines existence dans Béni Mester parce que :

- Elle pollue le sol et à long terme devient nuisible a la qualité de l'eau souterraines.
- elle était implantée proche des cours d'eau et particulièrement chaabet Lahcen,
- elle est proche d'un captage (un forage) ; on peut voir le risque de capté des eaux souterraines contaminé par le lixiviat (les germes pathogène et les métaux lourds ...etc.). Alors elle menace la santé de la population de Beni Mester.

Enfin, Ces déchets pourraient être recyclés, valorisés ou détruits par les services de collecte des ordures ménagères.

4.1.1.3. Les déchets encombrants (les poubelles) :

Les habitants de groupement souffrent de problèmes des déchets encombrants qui deviennent généralement un dépotoir (Figure 3.19). Après, une recherche profonde est complété, on a observe que le comportement des habitants face aux déchets qui se trouvent dans leur rue ou dans leur quartier se résume comme suit :

Chaque ménage jette ses ordures à sa convenance, et sans aucune disposition de tri sélectif par exemple : le pain, le verre, le papier et du linge usagé. Les déchets sont déposés à l'extérieur soit dans des bacs ou des bennes placés par la commune ou à l'entrée de la rue ou déposés à proximité de la maison. Enfin, les contenants débordent, les déchets sont abandonnés à même le sol qui cause la prolifération des mouches, des rongeurs, des chats et des chiens.

Chapitre III: Présentation de Groupement Urbain de Tlemcen-Mansourah-Chetouane et Beni Mester (GUT)

En effet, la collecte des ordures au niveau des ménages est assurée par l'APC. Toutefois, plusieurs problèmes restent d'actualité :

- Le non respect d'un horaire strict pour le ramassage des ordures ménagères ;
- Les bacs et bennes mis en place pour la récolte des déchets sont insalubres (pas de nettoyage) ;
- Le périmètre de la zone d'entreposage des déchets à évacuer au niveau des rues et des quartiers est rarement délimité ;
- La zone d'entreposage représente une zone de grande insalubrité à cause d'un mauvais ramassage des ordures ;
- Le manque de la sensibilisation et l'éducation environnementale de la gestion des déchets.





Figure 3.19 : Exemple de l'encombrement des poubelles dans les cités de GUT (Photo Fellah H.S., 2012).

4.1.2. Les stations de service :

4.1.2.1. Présentation :

Les stations-service sont l'un des foyers de pollution dans le milieu urbain. L'exploitation de ce type d'activité représente une source potentielle de nuisances (trafic, bruit, pollution atmosphérique, pollution du sol et des eaux) pour le voisinage direct, mais aussi pour l'environnement en général. Mais la contamination des sols ainsi que les eaux souterraines par les carburants constitue un des risques majeurs pour l'environnement. Donc, il faut faire une approche basée sur l'évaluation des risques.

La caractérisation des pollutions est la première question abordée lors de l'évaluation des risques d'un site pollué. Les principaux liquides qui peuvent se trouver dans une station-service et susceptibles de provoquer une pollution du sol et/ou des eaux souterraines sont les carburants (essence, gazoil) et les lubrifiants provenant des véhicules routiers (huiles usées, graisses, liquides de freins). De petites quantités de carburant diesel ou d'essence peuvent entraîner des conséquences négatives pour l'homme et l'environnement [29].

Notre zone d'étude contient ce type de foyers de pollution telle que les différentes stations de service sont représentés dans le tableau 4.3 (Voir chapitre IV).

Finalement, il est important d'analyser l'impact sur la santé et l'environnement.

4.1.2.2. Impact sur les eaux souterraines :

Tous d'abord, les polluants des stations-service sont à la base des liquides. Ainsi, l'impact des carburants des stations-service sur la santé publique et l'environnement va être déterminé par la quantité de chaque composant dans les carburants, par les propriétés physico-chimiques.

Le phénomène de pollution des sols et sous-sols provenant des stations-service se décline en deux catégories. Ceux-ci sont les causes principales de contamination de la nappe phréatique et dégradation de leur qualité. Ces deux types sont :

- une pollution chronique se produisant sur une longue période et étant due le plus souvent à la corrosion des cuves de stockage et des canalisations enterrées et aussi les fuites provenant de citernes enterrées.
- une pollution accidentelle due au déversement d'hydrocarbure lors du remplissage des stockages de la station ou de la distribution de carburant. le type de liquides contaminants : les carburants (essence et diesel : des substances toxiques) et leurs composants (des mélanges complexes d'hydrocarbures pétroliers ex. HAPs) et les lubrifiants peut qui contenir des métaux lourds et des composants de HPAs (huile de moteur usagée, huile pour boîtes de vitesses et ponts, graisses et liquide de freins) (Piedrafita Carnicer M.V., 2007) (Figure 3.20).

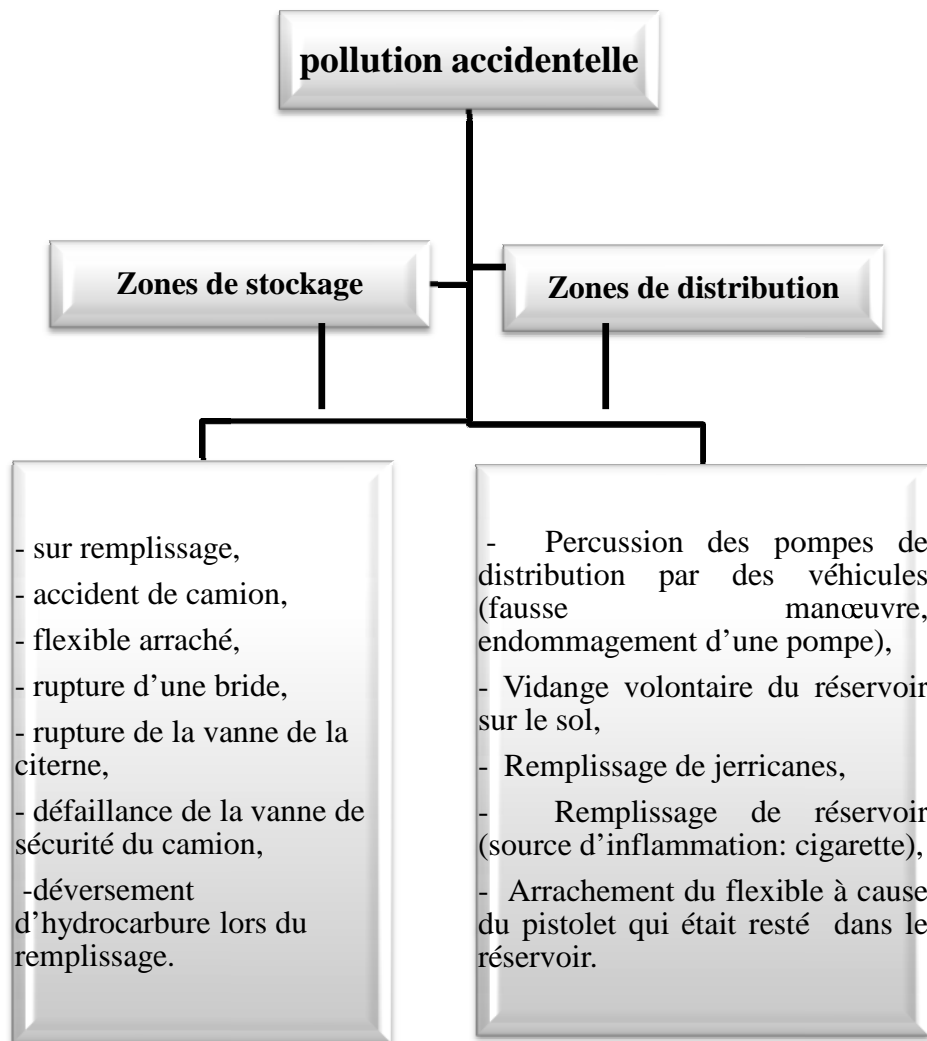


Figure 3.20 : Schéma représentant les différentes causes de pollution accidentelle dans les stations de service (INERIS, 2002).

Ensuite lors de ces accidents, des explosions et des incendies peuvent causer souvent le déversement d'une très grande quantité de carburant sur le sol qui est très dangereux s'il devient mobile et atteint sa cible (eaux souterraines ou superficielles). Donc, on a une pollution de sol après une contamination des eaux souterraines.

Alors, l'impact des polluants sur notre site d'étude s'explique comme suivant : les ruissellements vont provoquer le déplacement des polluants, qui peuvent contaminer ainsi la couche supérieure ou inférieure du sol et atteindre dans certains cas les nappes souterraines, ou les entraîner dans les rivières. Sa propagation à travers les sols et sous-sol dépendra aux différents facteurs comme : le niveau de la nappe, la nature et type d'aquifère (l'aquifère carbonaté ou fissurées augmente le risque de pollution de la nappe, c'est le même cas de notre zone d'étude), la

perméabilité de sol, son potentiel de recharge naturelle et l'épaisseur de zone non saturée protégeant la nappe.

En outre, la migration des agents contaminants est effectuée sous l'influence du transport via l'écoulement des eaux souterraines et leurs vitesses de déplacement qui induit également une extension des zones polluées. Alors au fil des années, la propagation de la pollution prend également l'allure d'un panache (dans la zone non saturée la migration se fait verticalement avec une vitesse importante car la perméabilité de sol est grande à travers les fissures carbonatés et leur auto épuratoire est faible mais une fois atteint la zone saturée une dispersion de polluant dans l'aquifère) qui s'étend de plus en plus et peut malheureusement atteindre les eaux souterraines, par exemple, des captages d'eau.

Par contre dans le cas des fuites des carburants des cuves et canalisations, les polluants vont rejoindre plus facilement les nappes souterraines étant donné que ces installations se trouvent déjà enterrées dans les sols (Figure 3.21) (Piedrafita Carnicer M.V., 2007 et INERIS, 2002).

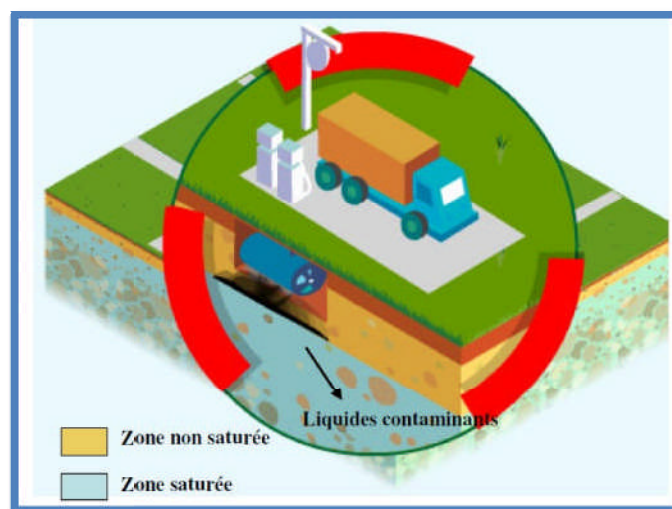


Figure 3.21 : Le trajet des polluants dans les stations-service (Piedrafita Carnicer M.V., 2007).

Les stations de services génèrent beaucoup des huiles usées des véhicules (vidanges et lavages). Ces huiles sont stockées soit dans des cuves soit dans des barils qui peuvent être récupéré par Naftal. Ce dernier a même récupéré les huiles usées stocké de quelque station de lavage qui peuvent se trouver dans des stations de service ou dans des stations privés (communication verbale avec le chef de service de la direction des énergies et des mines). La figure 3.22 représente la quantité d'huile usagée des moteurs dans les stations de lavages de GUT qui montre une divergence

dans la quantité de consommation d'huile à travers les communes indiqué. Cette distinction est due au grand nombre des véhicules dans le chef-lieu de la wilaya.

Par contre, les eaux de lessivage des véhicules sont déversées dans le réseau urbain d'eaux usées et comme nous avons dit dans l'état d'assainissement dans la zone d'étude (III.3), le type de réseau d'assainissement est unitaire. C'est-à-dire les eaux usées se mélange avec les eaux de lavage qui peuvent contenir des graisses, des huiles et des carburants. Ces derniers sont très nocifs et nuisible pour la santé humaine s'il va avoir un contact entre le réseau d'assainissement et le réseau d'AEP et pour l'environnement globalement et les eaux souterraines particulièrement.

Ainsi à cause de tous ces problèmes de pollution, on peut avoir des maladies à transmission hydrique qui menace la vie publique de GUT.

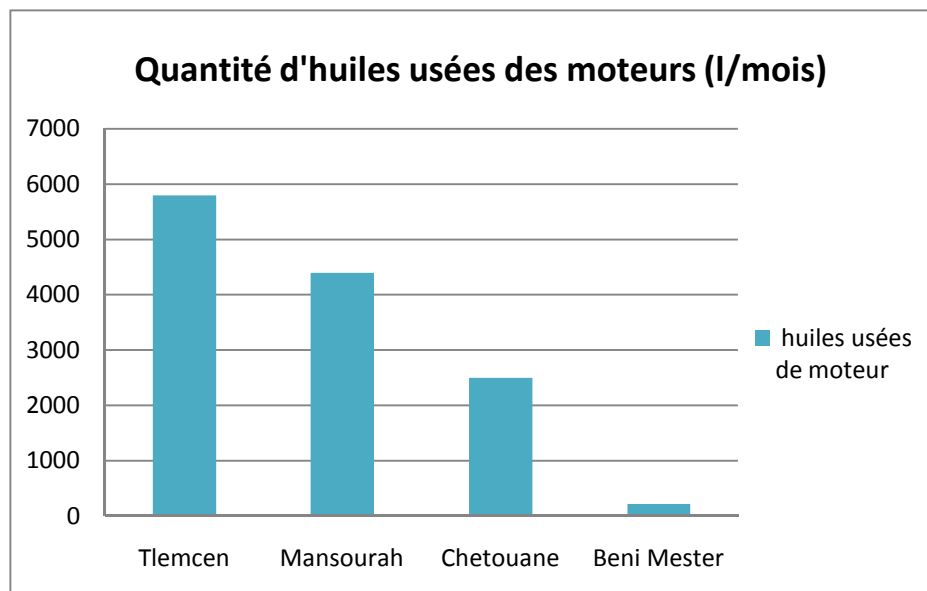


Figure 3.22 : Quantité d'huiles usées des moteurs des stations de lavages dans le GUT (ABAK, 2007).

4.1.3. Le transport :

Le transport est à la fois une unité économique produisant un service et un vecteur de l'activité économique et sociale. Un système de transport efficace est un facteur déterminant dans toute politique de planification et d'aménagement du territoire. Le groupement urbain de Tlemcen dispose d'un réseau routier assez dense et varié lequel contient la route nationale, le chemin de la wilaya et les chemins communaux (Tableau 3.15). En outre, ce groupement est traversé par les axes RN22, RN2 et RN7 qui le relie aux principales agglomérations de la wilaya de Tlemcen.

Chapitre III: Présentation de Groupement Urbain de Tlemcen-Mansourah-Chetouane et Beni Mester (GUT)

Par contre, le réseau ferroviaire comporte deux lignes, l'une ouverte uniquement au transport de marchandises (Tlemcen-Ghazaouet) et la deuxième pour les voyageurs entre Oran-Maghnia traverse les communes de Tlemcen et de Mansourah sur plus de 7 Km. Cependant, même pour le transport de marchandises par rail entre Tlemcen et Ghazaouet a connu un accroissement important durant ces dernières années avec 633699 tonnes transportées en 2008 (Tableau 3.14), la ligne reste sous exploitée et perd des parts de marchés au profit du transport routier qui s'adapte facilement à la demande. Les marchandises traitées sont des produits agricoles, des engrais, des produits chimiques, des minerais (minerais, ferraille, métaux ferreux, non ferreux, légumes sec et les carburants), des matériaux de construction ainsi que des marchandises générales. En 2003, les céréales ont représenté 55% du volume global des marchandises ayant transité par le port de Ghazaouet.

Ainsi, le réseau ferroviaire s'agit d'une voie normale et d'une gare de voyageurs et de marchandises localisées dans la zone Est de la ville de Tlemcen, aux abords de 2 voies de dégagement (RN.2 et RN.7). Ce réseau, présente néanmoins certains inconvénients qui influent sur sa capacité et son fonctionnement :

- Un tracé sinueux au profil accidenté,
- Un système de signalisation dépassé,

Il faudrait donc améliorer les performances de la ligne de chemin de fer pour la rendre compétitive (A.N.A.T., 2005 et A.N.A.T., 2010).

L'impact de réseau ferroviaire est dû aux types des marchandises transportées et de sa quantité par exemple : les pesticides ou les produits chimiques. Alors, on prend en considération le risque d'accident. Par contre, pour le réseau routier leur impact est plus au moins élevés que le chemin de fer car il transport tout type de marchandise même les hydrocarbures.

Tableau 3.14 : Volumes de marchandises transportées par chemin de fer (tonnes)
(A.N.A.T., 2010).

Année	2005	2006	2007	2008	accroissement 2005-2008
Quantités (T)	334582	373579	412372	633699	+89.4%

Tableau 3. 15: Données relatives au transport de voyageurs selon les modes
(A.N.A.T., 2010).

Chapitre III: Présentation de Groupement Urbain de Tlemcen-Mansourah- Chetouane et Beni Mester (GUT)

Mode		2005	2006	2007	2008	Accroissement 2007/2008
Terre	Opérateurs	---	---	1031	1064	+ 3.2%
	Parc	---	---	1133	1109	- 2.1%
	Capacité	---	---	29879	29347	- 1.8%
	Liaisons locales	---	---	185	189	+ 2.2%
	Liaisons nationales	---	---	10	10	Id.
	Total liaisons	---	---	195	199	+ 2.1%
	Licences Taxis	5066	5066	5066	5070	+ 0.08%
Rail	Total transporté	22257	21117	50445	85183	+ 68.9%

III.4.2. Les activités industrielles :

4.2.1. Les carrières :

4.2.1.1. Présentation :

L'implantation des carrières en milieu urbain (Tlemcen) ne permet pas toujours de prévoir des superficies visant à isoler le bruit ou la poussière générée par l'exploitation. L'absence d'audits environnementaux pour évaluer les charges sociales (population à déplacer, poussière, bruit, vibration) physique (principe causé à la nappe aquifère, mouvement du sol) (Bouayed M., 2008).

Notre site d'étude contient ces différentes carrières (Tableau 3.16) et à partir de ces impacts indiqués au-dessus sur l'environnement et le milieu naturel on signale que notre intérêt est l'impact sur les ressources souterraines.

Tableau 3.16 : Les carrières à travers les communes de GUT (Anonyme (a), 2012).

Commune	Nom	Date de mise en service	Carrière en activité	Sup déclaré	Nature de l'activité
Tlemcen	EURL Carrière Granulats	22/07/1985	Oui	11 Ha 33 Ar 30 Ca	Carrière D'agrégats
	EURL Casagral Otmani	10/04/1990	Oui	3 Ha 41 Ar 75 Ca	Carrière D'agrégats
Beni Mester	SPA SOTREMWIT	/	Oui	8 Ha	Carrière D'agrégats
	SNC EL ARRAR	/	Oui	9 Ha	Carrière D'agrégats
	EURL Carrière El Feth	/	Oui	4 Ha 44 Ar 73 Ca	Carrière D'agrégats
	EURL AL ARICHA travaux publics	/	Non	7 Ha	/
	SARL Khendek el kebir	/	/	/	Carrière D'agrégats

4.2.1.2. Impact sur le système hydrogéologique:

L'exploitation de carrière dépend de certain paramètre tel que : la surface de la carrière, le choix de site d'implantation, les années d'exploitations, l'existence d'aquifère et leur nature, la perméabilité du sol et la nature géologique de site lequel a des impacts véritable sur le système hydrogéologique.

Ces impacts sont dus aux différents travaux d'exploitation de carrière:

- la circulation des engins sur les pistes.
- les procédés de traitement comme le broyage-concassage (les appareils de broyage)
- Les tirs de mines sans réglementation et sans aucune mesure de protection de l'environnement.

Ces travaux d'exploitation et surtout la vibration provoquée par les tirs de mine ont une influence négative sur le sol (mouvement de sol) qui peuvent provoquer des fissures au niveau de la terre de carrière sans négliger la perméabilité de sol. Cependant, ils présentent le risque de pollution des eaux souterraines par les eaux de ruissellement de l'exploitation lesquels sont chargés des matières en suspension, les hydrocarbures des camions de transport ; les huiles d'engins (tableau 3.17), les fuites dans les réservoirs d'hydrocarbure des engins et les déversements accidentels des hydrocarbures; et tout éventuels polluant qui peuvent se trouver dans le trajet d'infiltration et pénétration des eaux à travers les fissures et les failles. De plus, il faut strictement interdire les extractions et exploitations dans :

- les périmètres de protection rapprochés. Une exploitation peut être autorisée dans les périmètres de protection éloignés avec l'absence de risque de pollution pour le captage,
- dans le lit mineur des cours d'eau parce qu'il a un risque de pollution des cours d'eau et aussi des eaux souterraines.

Tableau 3.17: La quantité des huiles usées des engins des carrières de Beni Mester (ABAK, 2007).

Commune	Nom	Localisation	Quantité d'huiles usées d'engins (l/an)
Béni Mester	SPA SOTREMWIT	Tizghanit	1600
	EURL Carrière El Feth	Beni mester	800
	SARL Khendek el kebir	El khendek	1600
Tlemcen	EURL Casagral Otmani	Koudia	800
	Ramdani Ali	Koudia	600

A l'issue de tableau 3.17, on constate que les carrières de la commune de Beni Mester produisent beaucoup de huiles usées d'engins par rapport aux carrières de la commune de Tlemcen.

Autrement, l'une des carrières qui présente un risque sur les eaux souterraines dans le GUT c'est la carrière de Koudia parce que ses engins traversent une retenue d'eaux usées, nauséabonde, à ciel ouvert qui recueille les eaux des égouts de Koudia et aussi de la cité Imama. C'est un véritable lac noirâtre à proximité des carrières d'agrégats. Il constitue un grand danger pour les populations avoisinantes et même pour la nappe phréatique et tout l'environnement. Suite aux vibrations causées par l'utilisation des brises roches, la circulation des engins d'exploitation et l'existence de ce lac d'eaux usées, on constate un vrai danger sur les eaux souterraines de Koudia par les germes pathogènes, MES et les hydrocarbures. Ceci peut être facilité par l'infiltration des eaux de ruissellement à travers les fissures des formations carbonatées (Figure 3.23).

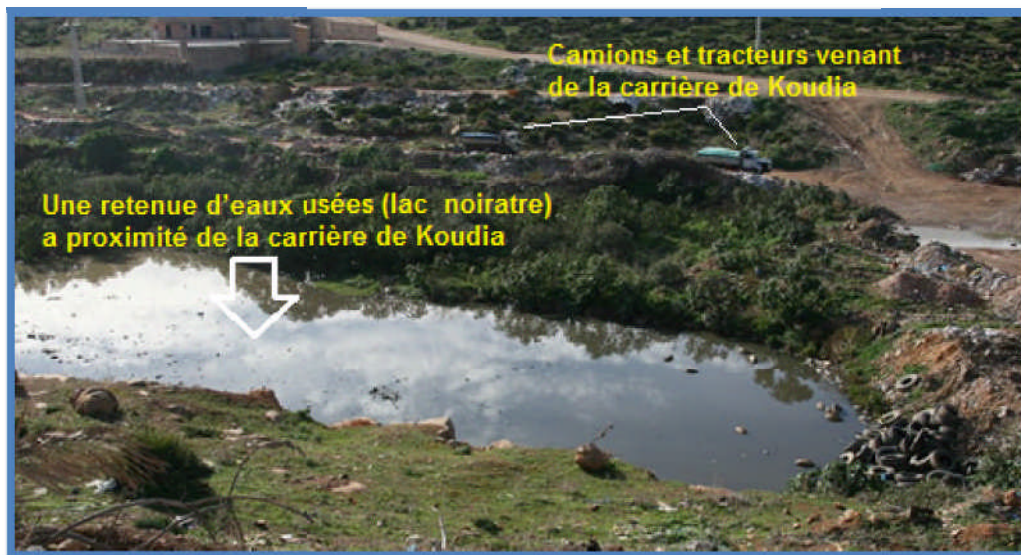


Figure 3.23: La carrière de koudia [27].

Aussi, il est à remarquer que la carrière désaffectée d'Oujlida devient un lac artificiel. Ce dernier peut entraîner une pollution qui dégrade la qualité des eaux souterraines par l'infiltration des eaux de lac (en prend en considération la perméabilité de sol) (Figure 3.24). Au même moment, l'ancienne carrière d'Ain el Houtz est devenue une décharge des déchets inertes qui engendre la dégradation de sol.



Figure 3.24 : La carrière désaffectée d'oujlida [28].

4.2.2. Les rejets des unités industrielles :

4.2.2.1. Présentation :

L'implantation des zones industrielles au niveau des grandes daïras est essentielle pour leur développement socio-économique (Hamza Cherif C.S. ; 2011). Cependant ces unités industrielles augmentent le volume des rejets liquides non traités qui sont rejetés directement dans les cours d'eau. Réglementairement, les effluents liquides d'un établissement industriel ne peuvent pas être rejetés dans le milieu naturel sans avoir subi préalablement un prétraitement ou un traitement. Les valeurs limites de rejet sont déterminées en fonction de valeurs limites fixées au niveau national et des capacités d'acceptation du milieu récepteur [23].

Cependant, le rejet des eaux résiduaires de certaines industries polluantes, sans prétraitement, au niveau des collecteurs des eaux usées domestiques, engendrent un problème majeur au niveau des milieux récepteurs. Une perturbation du système d'épuration de S.T.E.P. est observée lorsque les eaux du réseau sont épurées (Hamza Cherif C.S. ; 2011).

La mauvaise gestion des déchets solides et liquides générés par les unités industrielles est un caractère potentiel de pollution et de dégradation du cadre de vie. Les eaux résiduaires de la zone industrielle située dans les communes de Chetouane et de Tlemcen constituent de véritables sources de pollution. Ces eaux résiduaires sont généralement chargées en produits chimiques, métaux lourds et substances toxiques sont déversées directement dans les cours d'eau qui affluent vers Oued Sikkak puis vers Oued Tafna traversant les jardins du croissant fertile. Aussi, un débit

Chapitre III: Présentation de Groupement Urbain de Tlemcen-Mansourah-Chetouane et Beni Mester (GUT)

des eaux résiduaires industrielles estimé à 10217 m³/j est déversé directement dans Oued Saf Saf dont 15 % provient de l'ENTC et la SOITEX de Tlemcen (A.N.A.T. ; 2005).

D'une manière générale, 80 % des eaux usées industrielles continuent à être déversées directement dans le milieu naturel sans traitement préalable. Bien que, les dispositifs de traitement des eaux résiduaires industrielles ont été mis en place au niveau de certaines unités industrielles (BENTAL ex : l'ENTC-Tlemcen etc...).

Certaines rejets des unités industrielles également responsables de la pollution du GUT ne disposent toujours pas de dispositifs de traitement de leurs eaux résiduaires tels que MANTAL ex : Couvertex (Tlemcen), l'unité textile le rouet (Chetouane), et les unités de maintenance qui rejettent de grandes quantités de graisse et d'hydrocarbures (NAFTAL) (A.N.A.T. ; 2005).

Par contre, il existe d'autres unités industrielles qui disposent d'un système de traitement qui est toujours en panne ; comme c'est le cas de la SOITEX de Tlemcen pourtant classée « fortement polluante » (Tableau 3.18) (A.N.A.T. ; 2010).

Tableau 3.18 : Stations d'épuration des eaux résiduaires industrielles (A.N.A.T., 2010).

Unité industrielle	Unité principale	Volume consommé (m ³ /j)	Charge hydraulique industrielle (m ³ /j)	Station d'épuration	Milieu récepteur
<i>Zone industrielle de Tlemcen</i>	Soitex Entc	1152	10217	1	Oued Saf saf
<i>Zone semi industrielle d'Aboutechfine</i>	Orolait Districh	1184	947	Sans	Chaabet El Horra
Total		2336	11164		

4.2.2.1.1. L'huile d'Askarel :

Près de 300 appareils à huiles d'Askarels (transformateurs électriques, disjoncteurs et autres) sont recensés à travers la wilaya pour une quantité dépassant les 100.000 Kg et 40.000 L d'huiles d'Askarels, la majorité se trouve au niveau du groupement. Ces huiles, continuent à être stockées en attendant la solution de leur incinération qui n'existe pas encore en Algérie.

N'étant pas biodégradable, l'huile d'Askarel (Pyralène) s'accumule à froid dans les chaînes alimentaires en cas d'un déversement accidentel dans la nature. Porté à haute température (+ 200 °C). Le pyralène, serait responsable d'irritations respiratoires, oculaires et de plusieurs maladies (mélanodermie, polynévrite, hypothyroïdie, cancer) (A.N.A.T. ; 2005).

A travers le GUT, il existe différentes unités industrielles, des établissements scolaires et des cités qui produisent les huiles d'askarels ou de PCB tel que l'unité industrielle ENTC, GIPLAIT et SOITEX (Figure 3.26), ainsi, l'hôtel Zianide (850 Kg) et les cités universitaire (Cité 19 mai 56, Cité Bekhti el kiffane) (1230 Kg).

4.2.2.1.2. Huiles usées :

Ces huiles sont très dangereuses pour l'environnement et leur déversement est interdit même dans le réseau d'assainissement, une fosse (piège à graisse) doit être effectué et muni d'un dispositif de séparation ou de tout autre système capable de retenir la totalité des liquides inflammables, des huiles susceptible d'être accidentellement répandues.

Il sera disposé avant le raccordement au réseau un regard accessible pour assurer l'entretien de l'installation et l'évacuation des boues et des liquides inflammables retenues, qui ne devront en aucun cas être déversées ou jetées à l'égout mais remis à une entreprise spécialisée disposant d'installation de traitement autorisé.

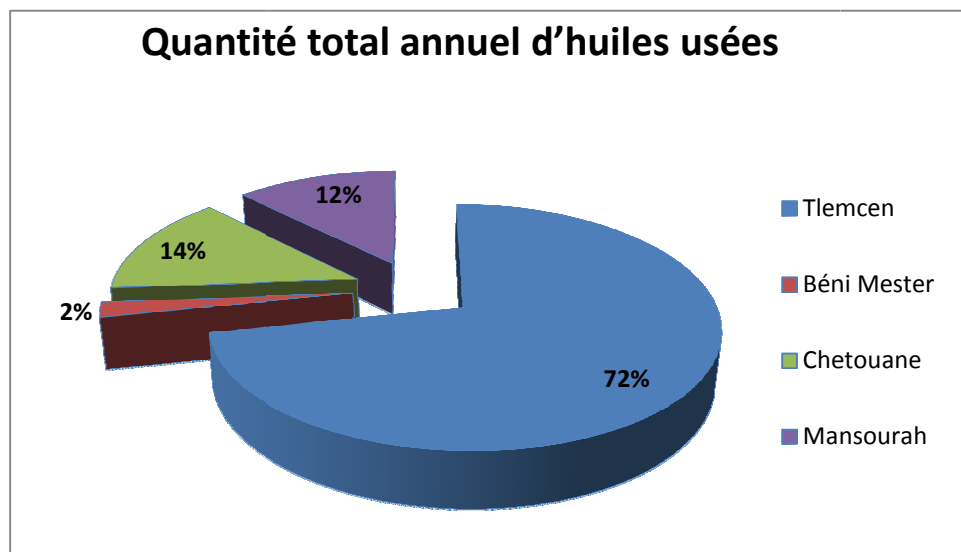


Figure 3.25: Quantité total annuel d'huiles (ABAK, 2007).

A partir de la figure 3.25, On remarque qu'il y a une diversité de quantité des huiles usées à travers les communes de GUT:

- C'est la commune de Tlemcen qui est classée la première en produisant la plus grande quantité d'huiles usagées (319630 l/an) à cause de l'existence de la zone semi industriel d'Abou techfine, les carrières, les stations de services avec les stations de vidanges et les parcs roulant et engins.

- Après la commune de Chetouane vient en deuxième position en usant (61615 l/an) (la zone industrielle, la station de service Belarbi et les stations de lavage) (voir le tableau 3.19).
- Ainsi la commune de Mansourah occupe la troisième place avec une production d'huile usée de l'ordre 54864 l/an (les stations de services, les stations de lavages et une petite activité industrielle).
- Par contre la commune de Béni Mester use moins d'huiles (8800 l/an) par rapport aux autres communes de GUT (les carrières et une station-service Hebri).

4.2.2.2. Impact sur les eaux souterraines :

La présence des nappes à l'échelle d'une grande partie du groupement rend la question de l'assainissement en milieu urbain et industriel délicat. L'installation de plusieurs unités industrielles dans le GUT augmente les rejets liquides non traités qui se jettent directement dans les cours d'eau ou les oueds comme : SOITEX, GIPLAIT, ENTC et EURL MANTAL jettent leurs rejets industriels dans Oued Sikkak sans traitement. Ces unités sont trop chargées des produits chimiques, substances toxiques, métaux lourds tel que SOITEX génère beaucoup des métaux lourds déversant dans l'oued en plein tissu urbain sans aucune réglementation ou mesure de protection de l'environnement et de la vie humaine (Figure 3.26). Ceci n'a fait qu'augmenter la vulnérabilité de ce groupement et dépasse les capacités d'auto-épuration des oueds. Cependant, Les nappes d'eau souterraines sont menacées de pollution suite d'infiltration d'eau de ruissèlement et de lessivage de sol pollué dans les milieux fissurés où le pouvoir auto épuratoire est faible.

Autrement, le dépôt Naftal est implanté en zone urbain près des surfaces agricoles sans aucun procédé de traitement. Ainsi, il présente un risque majeur sur la nappe phréatique qui se trouve au-dessous par les hydrocarbures stockés soit à court ou à long terme. En conséquence, ces situations seraient responsables du déséquilibre écologique et de la propagation de maladies à transmission hydrique dans le GUT.



Figure 3.26: Rejet d'unité industriel SOITEX (Photo Fellah H.S., 2012).

Enfin, dans le cadre de la protection permanente des milieux et des ressources en eaux de ce groupement, l'instauration et le respect des périmètres de protection du domaine littoral, des nappes deviennent une priorité (A.N.A.T., 2010). Bien que le traitement des eaux usés et industrielles reste la seule solution qui permettrait de réduire la contamination des ressources hydriques.

4.2.3. Les déchets hospitaliers :

4.2.3.1. Présentation :

Les déchets provenant des unités médicales contiennent différents déchets tel que : les déchets infectieux, les déchets toxiques et les déchets anatomiques qui doivent subir à un traitement (Figure 3.27). Dans le GUT, il y a un seul incinérateur au niveau d'hôpital CHU mais ne se conforme pas aux normes de l'OMS qui brûle les déchets d'une manière archaïque. Cet incinérateur contient les déchets des centres de soins, des cliniques et la clinique dentaire farradj...etc. Dans la plupart des cas, les virus ne sont pas tués, car la température des fours n'atteint pas les 1200 degrés exigés. Ainsi, les cendres et les réfectomes (résidus captés par les filtres) qui sont extrêmement toxiques doivent être traités. Ces déchets seront par la suite acheminés vers des centres d'enfouissement technique de catégorie I qui n'existent pas en Algérie.

4.2.3.1.1. Les déchets infectieux :

Ce sont des déchets potentiellement infectieux qui requièrent une gestion spéciale à l'intérieure comme à l'extérieur de l'hôpital. Ils peuvent contenir des éléments pathogènes ou éléments toxiques en concentration, ils proviennent des services d'isolement dans lesquels sont installés les patients atteints de maladies infectieuses contagieuses, telles que le choléra, la diphtérie, le typhus, le paratyphus, la tuberculose, les poliomyélites, ils incluent aussi :

- Les déchets des animaux utilisés dans les laboratoires pour les expériences portant sur les maladies infectieuses.
- Les déchets issus des laboratoires de bactériologie, virologie et parasitologie (pipettes, boîte de pétri, flacons de culture, lames et matériels à usage unique en verre ou en plastique, aiguilles et seringues montées).
- Les instruments piquants et coupants à usage unique comme les articles jetables généralement souillés de sang et de sécrétions humaines, présentant un risque réel d'infection lors de leur manipulation ou de leur conditionnement...etc.
- Déchets de patients : ces déchets nécessitent une gestion spéciale pour prévenir la propagation de germes pathogènes, ces déchets peuvent potentiellement infecter les personnes dont les capacités de résistance sont diminuées par le fait de leurs maladies, du stress, ces déchets proviennent généralement des chambres des patients internes, des services d'examen des patients externes et des services d'urgences (ABAK; 2007).

4.2.3.1.2. Les déchets anatomiques :

Ce type de déchets nécessite un traitement spécial, pour des raisons d'éthique ou pour l'exploitation de leur potentiel pharmaceutique. Ils proviennent des blocs opératoires, des laboratoires, d'anatomopathologie, des salles d'accouchement, des morgues, des autopsies, en raison de leurs nuisances visuelles et de leurs impacts psychologiques ainsi que des risques potentiels, ce groupe comprend les tissus organiques, les membres amputés et les placentas (ABAK, 2007).

4.2.3.1.3. Les déchets toxiques :

Les hôpitaux génèrent aussi des déchets qui en raison de leurs propriétés biologiques, physiques ou chimiques, sont classés comme dangereux et nécessitent une gestion spéciale et ne peuvent être manipulés que par un personnel qualifié comme exemple : les acides, les eaux usées, les solvants, ainsi que les matières radioactives solides issues des activités de radiologie et de scintigraphie, les déchets pharmaceutiques qui contiennent tous les produits pharmaceutiques généralement périmés (ABAK, 2007).

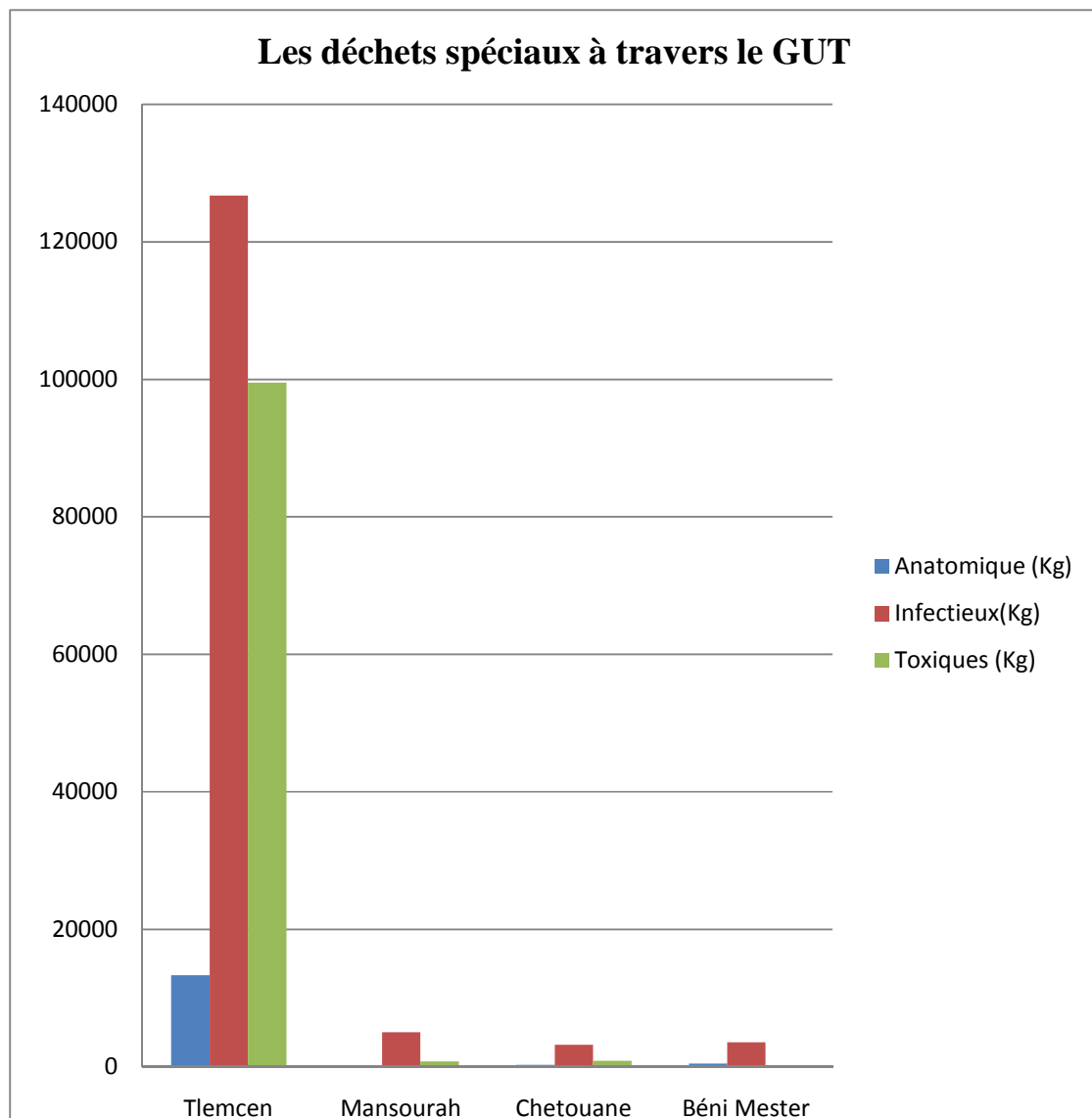


Figure 3.27 : Les quantités des déchets hospitaliers dans le GUT (ABAK, 2007).

A partir de la figure 3.27, nous avons remarqué que la commune de Tlemcen occupe la première place dans la quantité des déchets hospitaliers à cause de l'existence d'hôpital CHU et ces activités qui sont déjà indiqué ci-dessus.

4.2.3.2. Impact sur l'environnement et la santé humaine:

Nos hôpitaux sont exposés depuis de nombreuses années aux rejets atmosphériques de l'activité des incinérateurs installés au sein même de nos établissements de santé. Ces incinérateurs empoisonnent l'air, le sol et l'eau avec des polluants persistants et mortifères. Le personnel, les malades et les riverains sont

confrontés régulièrement à d'importantes doses de dioxine, de furanes et d'une multitude de substances, rejetées par ces incinérateurs. Toutes les études scientifiques sur la toxicité de ces substances, cancérigènes, mutagènes, émises par l'incinération dans son pourtour, confirment les risques pour la santé et l'environnement.

En fin, les déchets incinérés au niveau de CHU pose moins de risque pour les eaux souterraines parce que la majorité de ces déchets hospitaliers sont traités même sans conformité aux normes mais il réduit leur aléa. Le seul danger est lorsque les boues des déchets incinérés passent par le réseau d'assainissement.

4.2.4. Les déchets de la STEP :

4.2.4.1. Présentation :

Dans le GUT, on trouve une seule STEP d'Ain el Houtz qui prend en charge les différents rejets d'eau usées domestique de l'agglomération de Tlemcen et d'Abou-Tachfine que nous avons déjà identifié et cité leurs différents caractéristiques dans le chapitre précédant. Elle est gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement.

Cette station génère des boues liquides comme déchets qui doivent subir des traitements supplémentaires avant toute utilisation, afin de réduire leur teneur en eau et éliminer les mauvaises odeurs, etc. Ces boues sont constituées essentiellement d'eau, de sels minéraux et de matière organique. Elles contiennent de l'azote et du phosphore qui sont des éléments fertilisants pour les plantes.

Tout d'abord, les boues d'eaux épurées sont dirigées vers les quatorze lits de séchage à l'air libre. Après le séchage des boues, on trouve une aire de stockage laquelle contient ces boues séchées (Figure 3.28). On peut réutiliser ces derniers dans le domaine agricole car elles contiennent des éléments fertilisants et des oligo-éléments susceptibles de constituer un apport intéressant pour les sols de culture. Parfois les fellahs de la région viennent prendre ces boues pour les utiliser comme des engrais. Pourtant la plus part de temps, elles sont rejetées au milieu naturel sans aucune réutilisation pour l'épandage agricole.

Donc, il faut une réglementation précise pour le recyclage et la réutilisation des boues d'eaux épurés car leur composition chimique (M.O et matière fertilisant) est meilleure que celle des engrais.



Figure 3.28 : Les lits de séchage et l'aire de stockage (O.N.A, 2010).

4.2.4.2. Impact sur les eaux souterraines :

La qualité des boues dépend en grande partie de celle des eaux usées dont elles sont issues. Cependant, elles peuvent également contenir des composés toxiques, en particulier des métaux lourds (mercure, plomb, cadmium, cuivre, zinc, nickel chrome), des éléments biologiques ou chimiques pouvant avoir un impact sur l'environnement ou la santé.

Tout d'abord, la STEP d'Ain el Houtz présente un danger de contamination de sol par les boues d'eaux épurées qui sont stockées dans l'aire de stockage sans négliger les lits de séchage. Mais l'évaluation de pollution de sol à long terme, peut contaminer les eaux souterraines par lessivage de sol riche en éléments métalliques, toxiques et des germes pathogènes cumulatifs. A cause de la perméabilité de sol et sa nature géologique ; un milieu karstique (milieu très hétérogène) risque d'infiltration des boues séchées à travers les fissures de sol.

Les principales causes de contamination des eaux souterraines à partir de cette STEP sont :

- La pollution de sol par les éléments indiqué au-dessus.
- Le curage de lit de séchage et l'aire de stockage des boues ne se fait pas périodiquement.
- Le risque de dysfonctionnement de la station qui donne une boue d'une mauvaise qualité.
- L'existence de point de captage d'eau potable près de la STEP d'Ain el houtz ...etc.

Ces causes dégradent la qualité des eaux souterraines et la rendre impropre à la consommation humaine.

4.2.5. Les abattoirs :

L'eau est un des éléments essentiels dans les abattoirs. Elle est utilisée pour le lavage des sous-produits (abats) et l'élimination des déchets (matières fécales, débris de panse et de sang) qui est habituellement chargée en matière organique. Les abattoirs dégagent souvent des odeurs nauséabondes qui empestent tout l'entourage. Les effluents des abattoirs sont rejetés directement dans le réseau urbain sans traitement préalable. Ces eaux usées constituent une source de pollution pour les eaux de surface ou souterraine. Elles peuvent être responsables d'un déséquilibre écologique irréversible ainsi que de l'eutrophisation des eaux surfaces ou après un long chemin d'infiltration qui contamine les eaux souterraines. Elles deviennent donc une source de pollution importante pour le milieu récepteur qui la reçoit.

Les déchets solides de ces abattoirs nécessitent des traitements adaptés : séparation des déchets solides et des graisses ou un incinérateur. Ce dernier est disponible au niveau d'un seul abattoir à travers les communes de GUT, c'est l'abattoir des viandes rouges à Saf saf (commune de Tlemcen) (Figure 3.29). Ainsi, Le CET de Saf saf traite ces déchets incinéré et aussi les déchets solides des autres abattoirs ou des tueries au niveau de Tlemcen, Chetouane et Mansourah (Tableau 3.20). Alors, leur impact sur l'environnement est essentiellement l'eau souterraine est fortement diminuée. En revanche, les tueries de Beni Mester se débarrassent de leurs déchets sauvagement dans la décharge de Sidi Abderrahmane. Malheureusement leur impact est le même que celle indiquée ci-dessus (Tableau 3.20) (Voir 4.1.1.2.2.).



Figure 3.29 : Abattoir de Saf saf (Photo Fellah H.S., 2012).

Tableau 3.19 : Liste des abattoirs au niveau de GUT (Anonyme (c), 2012).

Commune	Milieu récepteur des déchets
Tlemcen	Décharge publique
Chetouane	Décharge publique
Mansourah	Décharge publique
Beni Mester	Décharge sidi Abderrahmane

III.4.3. Les activités agricoles :

4.3.1.L'agriculture :

4.3.1.1. Présentation :

La présence d'eaux usées au niveau des principaux cours d'eau et la rareté des eaux superficielles du fait de la faiblesse de la pluviométrie a mis dans l'obligation les agricultures à utiliser ces eaux usées pour l'irrigation de leurs terres (Bouayed M., 2008) (Figure 3.31). En plus, à cause de stress hydrique, les agricultures font des piquages piratés dans le réseau d'assainissement pour l'irrigation de leurs parcelles. Ces phénomènes contribuent également à augmenter les risques de propagation des maladies à transmission hydrique. L'enquête menée par les services agricoles pour l'irrigation à partir des eaux usées s'établit comme suit dans le tableau de l'annexe F (Figure 3.30). Plus de 47 Ha sont irrigués avec l'eau usée seulement dans le GUT. La surface agricole a diminué non à cause de la sensibilisation aux risques de pollution qu'elle engendre mais plutôt à cause de l'avance de béton sur les terrains agricoles.



Figure 3.30 : Terrain irrigué par les eaux usées à partir d'un oued à proximité dans la commune de Tlemcen (Photo Fellah H.S., 2012).



Figure 3.31 : Exemple des oueds pollués utilisé pour l’irrigation dans les communes de Tlemcen et Chetouane (Photo Fellah H.S., 2012).

Par contre, l’utilisation anarchique des pesticides dans la zone d’étude engendre beaucoup de maladies et, d’après l’Organisation mondiale de la santé, 80% des cancers sont causés par les pesticides. Par exemple : A Tlemcen, les pesticides, qui étaient utilisés dans la lutte contre les criquets en 2005, sont jusqu’à maintenant stockés à l’air libre au-dessus d’une nappe libre sans aucune protection près des docks silos d’Oudjlida. Ce stockage à l’air libre ne pourra qu’engendrer des risques de pollution sur l’environnement et surtout la pollution de la nappe phréatique.



Figure 3.32 : Les fûts des pesticides entreposés à l'air libre au-dessus d'une nappe libre à Oudjlida (Bouayed M., 2009).

4.3.1.2. Impact sur les eaux souterraines :

La pollution liée aux activités agricoles a continué de prendre de l'ampleur et elle est devenue une des principales sources de polluants qui affectent les cours d'eau et la santé humaine. Tout d'abord, la pollution du sol est liée essentiellement à l'utilisation excessive des produits phytosanitaires, d'engrais, à l'épandage de boues industrielles et à l'irrigation par les eaux usées industrielles et municipales.

À l'origine de la dégradation de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, on trouve l'utilisation irrationnelle des fertilisants et des pesticides. Cette gestion déficiente des engrais et des pratiques culturales entraîne la migration de plusieurs contaminants, tels que les nitrates, les micro-organismes et les pesticides vers les sources d'eau potable. Aujourd'hui, ces contaminants sont détectés dans la plupart des eaux potables situées en région agricole. En fin selon le degré et le temps d'exposition, les contaminants d'origine agricole constituent des risques pour la santé humaine qui vont d'une simple gastro-entérite à l'apparition de divers cancers.

En outre, l'écoulement des eaux usées le long des réseaux hydrographiques a engendré une infiltration de ces dernières avec pour conséquence une contamination bactériologique de nappes souterraines. La persistance de la sécheresse au niveau de GUT a conduit à une prolifération de fonçage de puits et de forages par les citoyens pour la satisfaction des besoins en eau potable et de l'usage des eaux souterraines contaminées accentuent les risques d'apparition de maladies à transmission hydrique.

4.3.2.L'élevage :

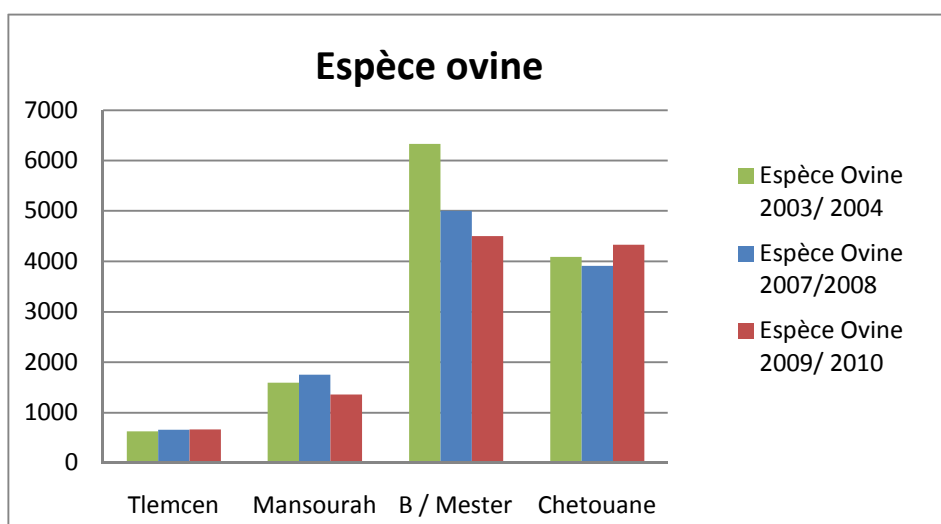
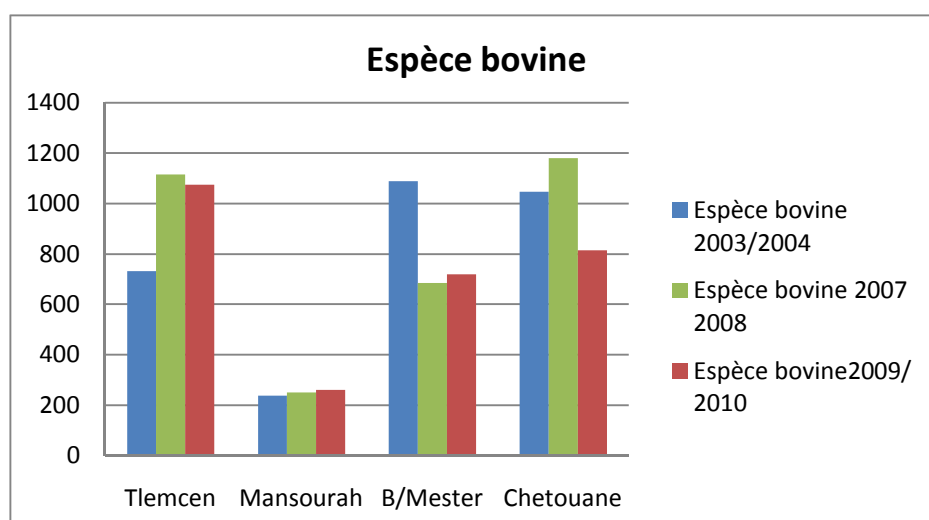
Le GUT est une zone d'élevage ovin, bovin et volaille. Nous constatons sur l'histogramme ci-dessous qu'il y a une grande diversité de nombre des animaux d'élevage dans les communes du groupement pendant des années. Cette distinction

Chapitre III: Présentation de Groupement Urbain de Tlemcen-Mansourah-Chetouane et Beni Mester (GUT)

représente la nécessité de la population aux viandes rouges ou blanches, les produits d'animaux (les œufs, le lait) et la production de peaux, de laine et de cuir.

Par contre, on ne peut pas localiser les zones d'élevage à cause de manque d'information au niveau de direction de DSA. Les seules informations existantes sont une étude statistique sur la totalité de productions, les nombres des animaux et le nombre des étables, poulailleries dans le GUT (Figure 3.33 et figure 3.34). Ainsi, les rejets d'élevage de la commune de Beni Mester se dirigent vers la décharge sauvage de Sidi abdarahmane.

Enfin, l'élevage de bovins et volailles produisent de grandes quantités de déjections azotées qu'il faudrait gérer attentivement.



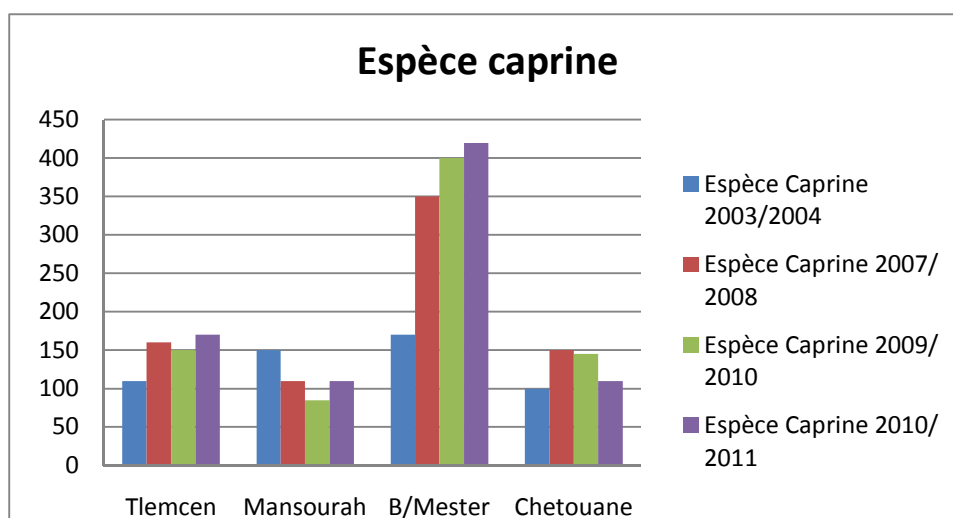


Figure 3.33 : Les espèces ovines, bovines, caprines dans le GUT (D.S.A, 2011).

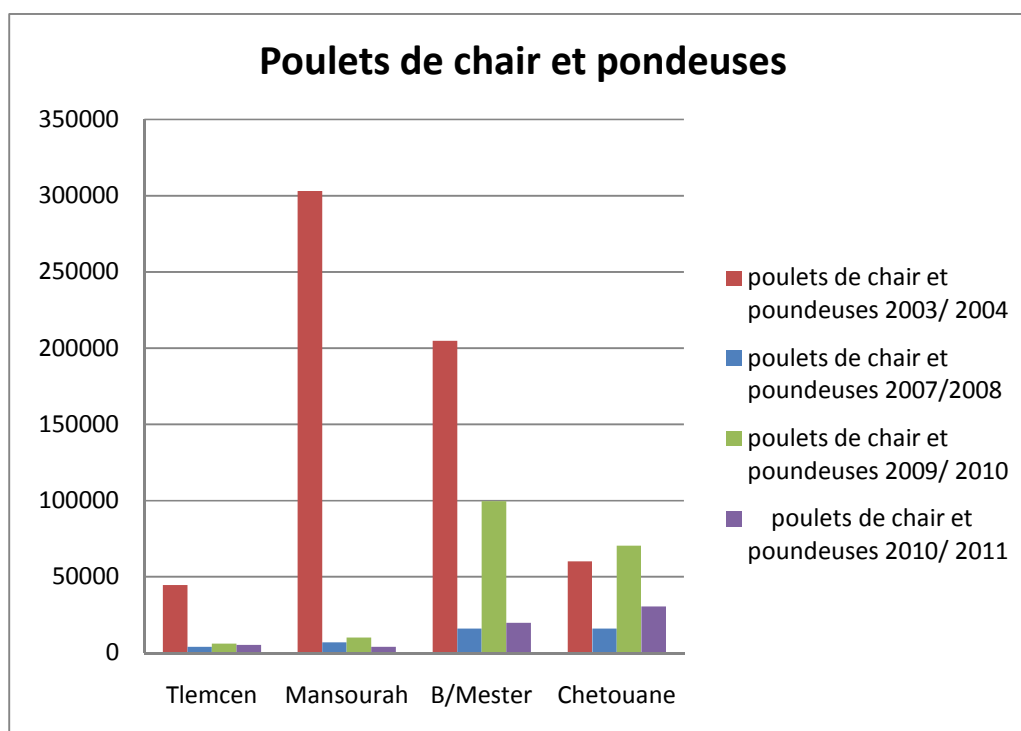


Figure 3.34 : Poulets de chair et pondeuses dans le GUT (D.S.A, 2011).

III.5. CONCLUSION :

Dans le cadre de la réalisation de ce travail, nous avons choisis le groupement urbain de Tlemcen comme zone d'étude bien que le GUT concentre 24 % de la population de la wilaya qui nécessite une demande en eau potable important, alors une augmentation de volumes d'eaux usées rejeté. Comme on a un seul STEP dans le secteur d'étude, la majorité des points de rejets d'eaux usées déverse en milieu naturel sans aucun traitement préalable qui est l'un des foyers de pollution qui menace notre ressource souterraine.

Ainsi, nous avons collecté toutes les données disponible actuellement concernant le groupement urbain de Tlemcen (climatologie, géologie, hydrogéologie, état d'assainissement, état de la production d'AEP et occupation de sol par activité) pour l'identification des zones à risques de pollutions anthropiques qui nous permettra d'établir la cartographie de vulnérabilité et de risque de pollution des eaux souterraine dans la zone d'étude.

A l'issue de ce travail, on constate les informations suivantes :

- L'identification et la caractérisation des différentes formations aquifères. On s'intéresse à l'aquifère karstique de formation carbonaté qui correspond à deux membres calcaréo-dolomitique du Kimméridgien supérieur et du Tithonien inférieur. Il constitue les réservoirs les plus importants d'eaux souterraines de la région. La cartographie de vulnérabilité s'applique sur l'aquifère karstique.
- Le taux de raccordement de réseau d'AEP est de 95 % et le taux de raccordement de réseau d'assainissement est de 94,25 %.
- On constate que le milieu physique de GUT est très sensible aux pollution à cause d'existence des aléas (activité industriel, agricole et urbain) au niveau de la zone d'étude soit par le déversement des eaux usées en milieu naturel, par l'irrigation avec les eaux usées et par l'existence des industries classées fortement polluant en plein tissu urbain qui génèrent beaucoup de produits chimiques, d'huiles usagées, des eaux usées industriel trop chargé de métaux lourds ...etc.

Le GUT est une zone intéressante pour effectuer une cartographie vulnérabilité et des risques de la pollution.

Les cartes de vulnérabilité et du risque de pollution sont considérées comme un outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau et permettent également d'orienter l'aménagement du territoire. En plus, ce sont des outils indispensables pour établir les périmètres de protection et leurs servitudes associées.

L'objectif de ce chapitre est la cartographie du risque de pollution des eaux souterraines dans le groupement urbain de Tlemcen. Pour cela nous avons appliqué la méthode définie dans le COST 620. Ce travail sera le premier dans son genre effectué dans la wilaya de Tlemcen et particulièrement appliqué pour le GUT. Le travail consiste globalement à croiser deux cartes celle de l'aléa et celle de la vulnérabilité à la pollution. Ce travail a nécessité un inventaire sur les différents foyers de pollution anthropique existant sur le territoire étudié telles que les rejets non contrôlés, les déchets municipaux, les eaux usées et l'utilisation intensive des engrais et des pesticides, l'installation d'activités polluante qui menace et détériore notre ressource en eau souterraine.

IV.1 LA CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE A LA POLLUTION DE LA ZONE D'ETUDE:

IV.1.1 Présentation et adaptation de la méthode au secteur étudié :

Les eaux souterraines de la région de Tlemcen sont des eaux karstiques d'une bonne qualité physico-chimique. Généralement, ces eaux sont mobilisées par des forages et surtout destinées à l'alimentation en eau potable de la population de Groupement Urbain de Tlemcen. Néanmoins, ces eaux sont très vulnérables à la pollution. Cependant, la cartographie de vulnérabilité intrinsèque à la pollution est indispensable pour protéger les ressources hydriques souterraines contre toute éventuelle source de pollution.

Le seul travail sur la cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines karstiques qui a déjà été fait pour la région de Tlemcen c'est celui réalisé par Bensaoula F. en 2006 et qui a appliqué la méthode O.C.P.K adaptée (voir pour plus de détail la réf : Bensaoula F. et Bensalah M., 2007). Deux facteurs ont été pris en considération: la couverture protectrice du karst (Facteur O) et la concentration de l'écoulement (facteur C). La superposition des deux cartes O et C obtenues a permis d'établir une carte de vulnérabilité à la pollution de quatre degrés : extrême, élevée, modéré et faible (Figure 4.1).

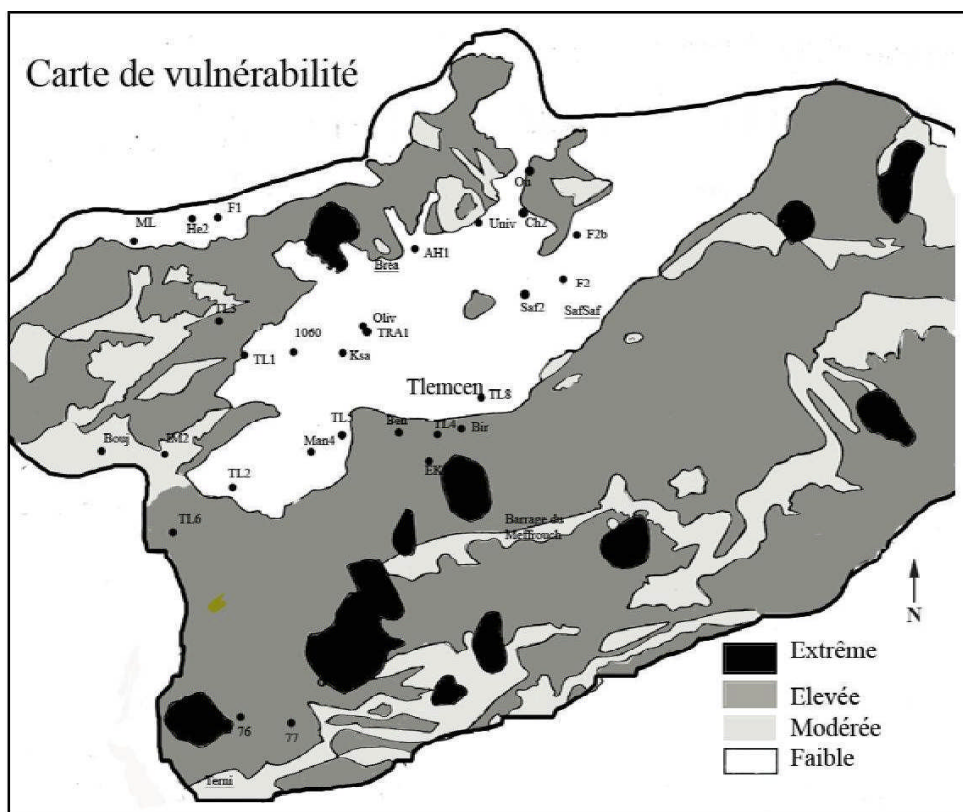


Figure 4.1: Cartographie de la vulnérabilité des eaux karstiques de la région de Tlemcen (Bensaoula F., 2006).

IV.1.2 Les principaux résultats obtenus :

L'adaptation de la méthode d'approche européenne OCPK utilise seulement deux critères (facteur O et facteur C) pour déterminer la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère karstique de la région de Tlemcen qui donne une cartographie de vulnérabilité à quatre degrés: extrême, élevée, modéré et faible (Figure 4.1). Cette carte permet à la mise en évidence des zones à risque liées à l'existence de facteurs polluants.

Le barrage Meffrouch est implanté sur le plateau de Terni qui mobilise les eaux souterraines de la nappe des dolomies. Il apparaît sur cette carte de vulnérabilité que les zones extrêmement vulnérables se localisent sur ce plateau.

Sur les 28 forages captant les eaux karstiques répertoriés à travers le secteur d'étude, 15 d'entre eux se trouvent en zone à vulnérabilité élevée. Les périmètres de protection de ces ouvrages ne sont pas établis.

La méthode utilisée pour la cartographie de la vulnérabilité à la pollution

s'adapte bien au site étudié. Donc, la cartographie de la vulnérabilité à la pollution s'avère indispensable pour la protection des eaux souterraines contre la pollution.

IV.2 LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE POLLUTION DE LA ZONE D'ETUDE:

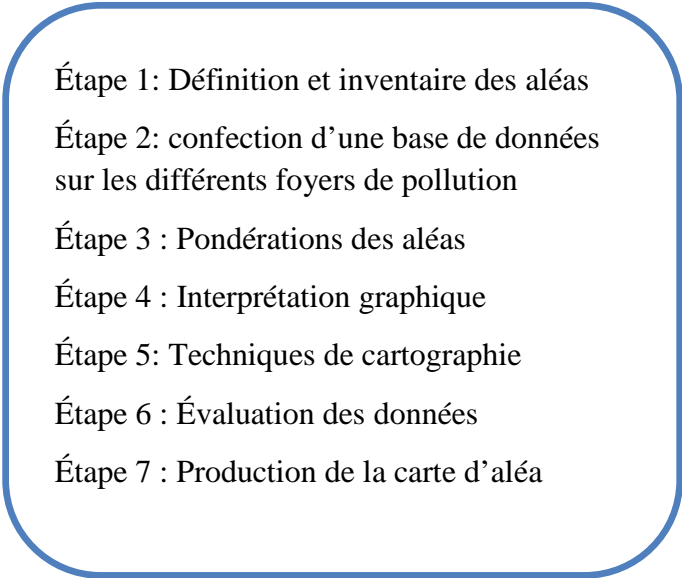
La cartographie de risque des eaux souterraines est obtenue après la réalisation de la cartographie de vulnérabilité. L'évaluation du risque dans le cadre de la protection des eaux souterraines karstiques, nécessite :

- L'identification des risques potentiels ;
- L'analyse de l'impact potentiel des risques sur les eaux souterraines (concentration et quantité de contaminants) ;
- L'information sur les caractéristiques hydrogéologiques des matériaux géologiques qui peuvent influencer le transfert et l'atténuation des contaminants : vulnérabilité des eaux souterraines ;
- L'information sur la valeur des eaux souterraines pour la région considérée. Les eaux karstiques sont considérées comme avoir une haute valeur (Dörfliger N. et al ; 2004).

Dans ce qui suit nous nous baserons essentiellement sur la méthodologie de la réalisation d'une cartographie de risque à la pollution qui se base sur la combinaison de la carte de vulnérabilité (Figure 4.1) et la carte d'aléa, telle que présentée dans le COST 620.

IV.2.1 L'évaluation d'aléa :

L'évaluation de l'aléa se fait en sept étapes ; on commence par la définition et l'inventaire des aléas qui se trouvent dans la zone d'étude et on termine par la production de la cartographie d'aléa. La figure 4.2 montre le plan de travail pour la réalisation d'une carte d'aléa classée.



Étape 1: Définition et inventaire des aléas
Étape 2: confection d'une base de données sur les différents foyers de pollution
Étape 3 : Pondérations des aléas
Étape 4 : Interprétation graphique
Étape 5: Techniques de cartographie
Étape 6 : Évaluation des données
Étape 7 : Production de la carte d'aléa

Figure 4.2 : Plan de travail pour la réalisation de la cartographie de l'aléa, inspiré de Zwahlen F., 2004).

2.1.1. Etape 1: Définition et inventaire des aléas

Dans le contexte de la contamination des eaux souterraines, l'aléa est défini comme une source potentielle de contamination des eaux souterraines due aux résultats des différentes activités humaines qui affectent directement ou indirectement notre environnement. L'évaluation d'un aléa tient compte de son degré de nocivité potentiel. Ce dernier est déterminé par la toxicité et la quantité de substances dangereuses.

Dans la littérature, en particulier selon le Cost 620, les aléas peuvent être classés selon trois catégories principales :

- infrastructures de développement,
- les activités industrielles
- Les activités agricoles et l'élevage

Chacune de ces catégories comprend des sous catégories comme le montre le (Tableau 4.1).

Tableau 4.1 : Classifications des aléas (Zwahlen F., 2004).

Number	Level 1 catégories of Hazard	Level 2 catégories of Hazard
1	Infrastructure development	
1.1		waste water
1.2		municipal waste
1.3		fuels
1.4		transport and traffic
1.5		recreational facilities
1.6		diverse hazard
2	Industriel activities	
2.1		mining (in opération and abandoned)
2.2		excavation sites
2.3		oil and gas exploration
2.4		industrial plants (non-mining)
2.5		power plants
2.6		industrial storage
2.7	diverting and treatment of waste water	
3	Livestock and agriculture	
3.1		Livestock
3.2		agriculture

La première étape dans l'élaboration de ce travail est la réalisation d'un inventaire bien détaillé sur les différents aléas et foyers de pollutions qui se trouvent dans le GUT. Pour cela on a pris en considération le tableau 4.1.

Notre inventaire s'est déroulé selon les étapes suivantes :

- Une étude de la documentation existante au niveau des différentes bibliothèques d'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen tel que bibliothèque de faculté de technologie, faculté des sciences, faculté des sciences de la vie et de la nature et la bibliothèque centrale. sur les différentes recherches ou thèse concernant la zone d'étude dans tous les domaines : biologie, chimie, écologie, géologie et génie civil. Pour la collecte les différentes informations relatives au site d'étude tel que : l'évolution de la population, le climat, les couches géologiques et leur série lithologique, les analyses des eaux des forages, puits et sources, l'approvisionnement en eau potable ...etc,
- Ensuite, le travail sur terrain qui a nécessité le déplacement au niveau des différents organismes pour récolter les données disponibles sur le site d'étude. Pour nous avons du utiliser nos propres moyens. Les différents organismes consultés sont les suivants :
 - Direction d'Hydraulique de la Wilaya de Tlemcen DHWT,
 - Direction de service agricole DSA,
 - Office national d'assainissement ONA,

- Control technique hydraulique CTH,
- Direction d'énergie et des mines DEM,
- Direction de l'environnement DE,
- Association pour la sauvegarde et la promotion de l'environnement de la wilaya de Tlemcen ASPEWIT,
- La chambre de commerce la TAFNA,
- APC de Beni mester,
- APC de souahlia,
- Le port de Ghazaouet,
- La gare de chemin de fer,
- La Wilaya,
- Direction de transport,
- Bureau d'étude de génie civile à Ghazaouet.

Ce travail a débuté au mois de juin et ne s'est terminée qu'au moment où j'ai commencé l'application. Pour pouvoir accéder à ces organismes, il faut toujours être muni d'un courrier de la part du chef de département d'hydraulique.

Au niveau des organismes cités ci-dessus, j'ai consulté de la documentation soit sous forme de bilans, de rapports effectués par les directions, des rapports d'étude réalisés par les bureaux d'études tel que : ANAT, NEE, ABAK pour le compte des directions (PDAU, PAWT, POS réalisés) et aussi des communications verbales par les chefs de services ou des personnes spécialisées. Ainsi, dans le chapitre précédent, nous avons bien étudié l'état de lieu de GUT par l'identification des différents endroits des activités industrielles, agricoles, urbains et leurs impacts sur les ressources souterraines.

En plus, nous avons programmé des sorties sur terrain pour compléter les informations sur les aléas existants et pour mieux connaître notre terrain d'étude. C'étant déplacé avec notre propre moyen, nous avons pris des clichés pour évaluer les points de rejets d'eaux usées, les terres irriguées par ces mêmes eaux, les oueds et les chaabats pollués, les décharges et les carrières...etc.

- Nous avons utilisé des supports cartographiques (carte topographique) et des logiciels tels que : Google Earth et l'autocade. Les cartes topographiques utilisées sont les cartes de Tlemcen à l'échelle 1/25000 et la carte d'état major 1/50000. Pour la récolte des informations voulues, on a utilisé ces cartes pour localiser certains points de rejets, les abattoirs, les élevages avec l'aide des personnes spécialisées au niveau des directions pour bien identifier l'occupation de sol par activité (voir chapitre III).

Il est à noter que nous avons rencontré des difficultés avec certains organismes. Parmi les problèmes rencontrés lors des démarches d'inventaire, on peut citer :

- Manque des thèses sur le GUT au niveau de la bibliothèque de science de la vie et de la nature,
- La perte du temps au niveau des organismes consultés pour avoir les informations voulues,
- Manque d'information dans le secteur d'étude tel que : les points de rejets d'eaux usées (quantité des MO), l'élevage (voir chapitre III)
- Vue le manque de données, il faut se rapprocher de certains personnes pour avoir les renseignements verbalement,
- Très souvent les données ne sont pas enregistrées sur une base numérique,
- Certaines études sont fragmentaires et ne concernent pas la totalité du groupement urbain de Tlemcen,
- L'utilisation des cartes de Tlemcen à l'échelle 1/25000 ne couvre pas la totalité de territoire. Ceci oblige l'utilisation de la carte d'état major 1/50000.
- L'estimation du débit des points de rejets d'eaux usées a été fait théoriquement par calcul car nous n'avons trouvé aucune information sur cela.
- Difficulté d'accès aux points de rejets d'eaux usées à cause de végétations et la nature des berges.
- Pour effectuer tout ces déplacements, il fallait utiliser un moyen de transport privé.

Nous avons trouvé même des lacunes tel que :

Le manque des données nécessaires sur le GUT dans les différents domaines agricoles, industrielles et infrastructures :

- Au niveau de la DSA, il n'existe pas d'étude détaillée sur l'élevage soit sur la localisation de différentes étables, bergeries et poulaillers ou soit sur la quantité de stockage des bétails et des volailles. La DSA prend en considération les informations fournis par les vétérinaires pour savoir le nombre réel des animaux car la majorité des éleveurs ne sont pas agréés par l'état. Cette année la DSA lance une étude sur l'élevage pour mieux connaître et développer ce domaine.

Ainsi, l'existence d'énormes parcelles irriguées par les eaux usées dans le GUT malheureusement il n'existe pas une étude d'impact sur l'environnement et la santé humaine.

- Au niveau de L'ONA puisque c'est une nouvelle direction, elle ne contient pas d'informations sur l'état d'assainissement dans le GUT sauf les travaux des autres organisations comme l'ANAT ou DHWT ...etc. Par contre, elle a réalisé une étude sur la réhabilitation de réseau d'assainissement dans la ville de Tlemcen.
- Au niveau de l'APC de Beni Mester, nous n'avons pas eu de documents sauf des communications verbales.

Au niveau de différentes directions, certaines documentations sont anciennes et nécessitent d'être actualisées par exemple : au niveau de la DHWT, ils utilisent l'étude de N.E.E faite en 2006 pour les différents points de rejets d'eaux usées. Par contre pour les nouveaux points de rejets, il faut se rapprocher des personnes spécialisées pour pouvoir les localiser sur les cartes indiquées ci-dessus.

Après la collecte des données nécessaires dans la zone d'étude, nous avons pu établir ce tableau qui contient les différents foyers de pollution répertoriés dans le GUT (voir tableau 4.2).

Tableau 4.2 : Les catégories des aléas dans le GUT.

N	Niveau I Catégorie des aléas	Niveau II Catégorie des aléas
1	Infrastructure de développement	Eau usée
1.1		Déchets municipaux
1.2		Huiles et carburant
1.3		Transport et trafic
1.4		Zones récréatives
1.5		Divers aléas
1.6		
2	Activités industrielles	Carrière
2.1		Industrie
2.2		STEP
2.3		
3	Agriculture et Elevage	Agriculture
3.1		Elevage
3.2		

2.1.2. Etape 2: confection d'une base de données sur les différents foyers de pollution

L'évaluation du degré de nocivité potentielle pour chaque type des aléas nécessite des informations sur les points suivants:

- processus ou la nature des activités (la quantité de production, stockage),
- le type de substances nocives,
- la quantité des substances qui peut être libéré,
- l'âge et l'état des installations industriels.

Les différentes données nécessaires pour effectuer un inventaire détaillé des dangers ont été regroupées dans la carte d'aléa. Cette carte a été élaborée pour chaque type de risques indiqué dans le tableau 4.2.

Les aléas peuvent être cartographiés sur un fond de carte topographique dont le calage a été fait sur un Système d'information géographique (SIG) par le logiciel Mapinfo. La quantification des aléas existants dans le secteur d'étude, a été faite par l'utilisation d'un logiciel, développé par Civita M. et Sappa G. en 2003 dans le cadre de COST 620. Ce logiciel génère une feuille de collection de données pour l'inventaire de l'aléa (Data Collection Sheet For Inventory Of Hazards) (Figure 4.3). Ce logiciel est un outil facile à utiliser qui contient toutes les catégories des aléas du tableau 4.1. Il faut juste faire entrer les données disponibles dans les cases spéciales (Figure 4.4). De plus, les informations à collecter pour chaque type de risque doivent être regroupées selon les critères suivants:

- Identification de la nature des activités,
- La localisation des activités par des coordonnées topographiques,
- La caractérisation et la quantification de la production de déchets solides et liquides.

Après l'exécution de la page par le click sur OK, il ressort des tableaux qui contiennent toutes les informations nécessaires pour chaque type d'aléa figuré dans le tableau 4.5.

Data Collection Sheet For The Inventory Of Hazards

M. Civita & G. Sappa

Insert data

Basic Data

Date 17 / 09 / 2012

ID Number Toponym

Address

Phone Fax

E-Mail

Select a TYPE :

1. Infrastructural development

<input type="checkbox"/> 1.1 Waste Water	<input type="checkbox"/> 2.3 Oil and gas exploitation
<input type="checkbox"/> 1.2 Municipal waste	<input type="checkbox"/> 2.4 Industrial plants (none mining)
<input type="checkbox"/> 1.3 Fuels	<input type="checkbox"/> 2.5 Power plants
<input type="checkbox"/> 1.4 Transport and traffic	<input type="checkbox"/> 2.6 Industrial storage
<input type="checkbox"/> 1.5 Recreational facilities	<input type="checkbox"/> 2.7 Diverting and treatment of waste water
<input type="checkbox"/> 1.6 Diverse hazards	

2. Industrial activities

<input type="checkbox"/> 2.1 Mining (in operation and abandoned)	<input type="checkbox"/> 3.1 Livestock
<input type="checkbox"/> 2.2 Excavation sites	<input type="checkbox"/> 3.2 Agriculture

3. Livestock and Agriculture

Figure 4.3 : Page de couverture du logiciel (Civita M. et Sappa G. ; 2003).

The screenshot displays a software window titled "Wastewater" with a light green background and a blue border. The interface is organized into several sections:

- Basic Data:** A rounded rectangular box containing fields for "Date" (24 . 03 . 2003), "ID Number", "Address", "Phone", "E-Mail", "Toponym", and "Fax".
- Insert data:** A section with a green title containing a "General" sub-section with fields for "Town", "Person to get in touch / office", "UTM Coordinates" (X and Y), "Elevation (m)", and "Quantity (mc/y)".
- Wastewater characterization:** A section with a green title and a "Breeding" sub-section. It includes a dropdown menu for "Origin of wastewater", and input fields for "Organic polluting wastewater (mc/y)" and "Non organic polluting wastewater (mc/y)". A "Treated" checkbox is also present.
- Wastewater treatment before ingoing the aquifer:** A section with a green title containing checkboxes for "Primary", "Secondary", "Tertiary", and "Biofiltration".

At the bottom of the window, there are "OK" and "ESC" buttons.

Figure 4.4 : Exemple d'une page de logiciel (Civita M. et Sappa G. ; 2003).

Tableau 4.3: Liste des stations de service dans le GUT après l'exécution dans le logiciel Data Collection Sheet For Inventory Of Hazards

ID NUMBER	TOPONYM	ADDRESS	PERSON TO GET IN TOUCH / OFFICE	Origin (Table 2)	Quantity (mcf/y)	Monitoring system	Fuel tank size
1	PVA Guelilil	Tlemcen	D.E.M	5		X	60
2	G.L Choukchou PVA	Tlemcen	D.E.M	5		X	50
3	Boudghane Stambouli	Tlemcen	D.E.M	5		X	
4	G.L Bendi	Tlemcen	D.E.M	5		X	50
5	P.V.A Salah	Tlemcen	D.E.M	5		X	130
6	PVA Kalache	Tlemcen	D.E.M	5		X	130
7	G.D Koudia	Tlemcen	D.E.M	5		X	180
8	PVA Belarbi	Chetouane	D.E.M	5		X	120
9	P.V.A Hachemi	Mansourah	D.E.M	5		X	120
10	PVA Khelif	Mansourah	D.E.M	5		X	160
11	PVA Imama Vente PP	Mansourah	D.E.M	5		X	90
12	PVA Hebri	Beni Mester	D.E.M	5		X	70

D.E.M : Direction des énergies et des mines.

2.1.3. Etape 3 : Pondérations des aléas

Le tableau de l'annexe G montre le poids **H** pour chaque type d'aléa ou le degré de danger sur les ressources souterraines et leur symbole sur carte. Les valeurs de poids H varient de 10 jusqu'à 100.

Pour une comparaison entre les aléas de même catégorie, tous les différents facteurs influençant sur le degré de nocivité doivent être pris en considération. Par conséquent, les diversités dans la nocivité au sein de chaque catégorie d'aléa seront principalement en raison de la quantité variable (**Q_n**) de substances nocives. Il est recommandé que ces valeurs de poids doivent être changées seulement en les multipliant par un facteur de classement entre 0,8 et 1,2 afin d'indiquer des quantités faibles ou élevées, respectivement, de substances toxiques par rapport à la moyenne générale.

Ainsi, nous avons le facteur de réduction **R_f** qui est un coefficient de correction pour les contaminants. Ce **R_f** varie entre 0 et 1 puisque on a des informations sur l'aléa qui nuise notre eau souterraine le **R_f** égale à 1 mais si on n'a pas des informations sur l'impact d'aléa ce **R_f** prend aussi la valeur 1. Par contre, si l'aléa est sécurisé 100%, alors le **R_f** égale à 0.

Enfin, l'indice d'aléa **H_i** décrit le degré de danger de chaque aléa. La valeur maximale possible de HI varie entre 0 et 120 qui donnent cinq classes de degré d'aléa (Figure 4.4). Pour cela on calcule cet indice à partir de la relation suivante :

$$H_i = H * Q_n * R_f$$

Avec :

H_i : Indice d'aléa

Q_n : Facteur de classement

R_f : Facteur de réduction

H : Poids d'aléa

Un exemple d'application du calcul de l'indice d'aléa H_i :

On prend le tableau 4.3 qui montre la liste des stations de services après l'exécution dans le logiciel Data Collection Sheet For Inventory Of Hazards. Pour le calcul de l'indice H_i est comme suivant (voir tableau 4.4):

On prend la valeur de poids H de station de service à partir de tableau de l'annexe G égale à 60. Ensuite, on donne la valeur de **R_f** = 1 (pas de sécurité) puisque il contient un risque sur les eaux souterraines.

Enfin, dans le cas de station de services, le facteur de classement **Q_n** a pris la valeur égale à 1,2 parce que chapitre III impact des stations des services sur les eaux souterraines)

Alors, H_i est obtenu selon la formule : $H_i = H * Q_n * R_f$

A.N :

$$H_i = H * Q_n * R_f = 60 * 1,2 * 1 = 72$$

$$H_i = 72$$

Tableau 4.4 : Exemple de calcul H_i

Toponym	Address	Origin (Table 2)	Fuel tank size	H	Q	Rf	Hi
G.D Koudia	Tlemcen	5	180	60	1,2	1	72

2.1.4. Etape 4: Interprétation graphique

Généralement, l'interprétation graphique des données sur les aléas est obtenue à partir d'une carte, qui montre les informations spatiales telles que leur localisation, la distribution et l'étendue (taille, forme), ainsi que les informations descriptive, qui sont les caractéristiques de la carte ou d'attributs.

Il est évident que dans certains cas la taille d'un aléa ne peut être présentée en raison de ses petites dimensions qui peuvent perdre leur information spatiale (ex : taille), alors on perd l'information sur l'aléa. C'est pour cela qu'il faut mentionner ces informations descriptives sur carte.

De plus, les aléas peuvent être cartographiés à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) en adoptant des symboles particuliers pour les différentes catégories de foyers de pollution (Tableau de l'annexe G) où tous les aléas inclus dans la liste d'inventaire. Le tableau 4.5 représente les différents degrés de danger de foyers de pollutions sur les eaux souterraines qui peuvent être classés selon les valeurs de l'indice d'aléa H_i calculé (Voir Etape 3).

Par contre, la précision de la carte d'aléa par rapport à la localisation dépend évidemment de la qualité des données recueillies qui ont été utilisées pour déterminer les coordonnées topographiques.

2.1.4.1. La base de données existante

Une structure spécifiée est nécessaire pour l'interprétation graphique des données stockées dans un SIG qui doivent être présentées sous formes des couches.

Ainsi, chaque couche peut comporter qu'un seul type de forme (Par exemple soit des points, lignes ou polygones). Il est également recommandé que les aléas doivent être disposés en couches séparées en fonction de la liste d'inventaire des dangers prévue dans le Tableau 4.2.

Ces couches contiennent un tableau qui doit être rempli par les informations disponibles dans le GUT. Il faut noter que l'indice d'aléa et les classes d'aléa doivent être stockés dans des colonnes distinctes. Cette représentation de données permet une

approche facile pour afficher les différents aléas appropriée avec symboles, et dans la couleur correspondante à la classe d'indice d'aléa pertinents.

2.1.4.2. Mise en carte :

2.1.4.2.1. Symboles :

Les symboles utilisés dans notre étude sont présentés dans la figure de l'annexe H, où tous les aléas inclus dans la liste d'inventaire (Tableau 4.2) sont représentés en fonction de leurs propriétés spatiales. La taille des symboles doit être choisie selon l'échelle de la carte utilisée.

2.1.4.2.2. Couleurs :

Le tableau 4.5 définit cinq classes d'aléa et chaque intervalle d'aléa prend une couleur distinct représentant le degré de nocivité potentielle de différents aléas sur les eaux souterraines qui sont attribués en fonction de l'indice H_i calculé. Ainsi, la couleur bleu décrit le degré très faible, le rouge est la couleur évidente à représenter un niveau de danger très élevé et entre ces couleurs il y a le vert, le jaune et l'orange respectivement (faible, modéré et élevé). Par contre, toutes les zones qui n'ont pas été cartographiées doit rester en blanc sur la carte.

Nous avons pris la région de Tlemcen comme exemple pour présenter la carte d'aléa non classé (Figure 4.6). Ainsi, après le calcul de l'indice d'aléa H_i , on peut les classés pour avoir une carte des aléas classés (Figure 4.7).

Tandis que la figure 4.5 présente un schéma présentant la procédure de cartographie proposée.

Tableau 4.5 : L'indice d'aléa H_i et les classes de H_i (Ketelaere D.D. et al ,2003).

Hazard Index	Hazard Index Class	Hazard Level	Colour
0 - 24	1	no or very low	blue
> 24 - 48	2	low	green
> 48 - 72	3	moderate	yellow
> 72 - 96	4	high	orange
> 96 - 120	5	very high	red

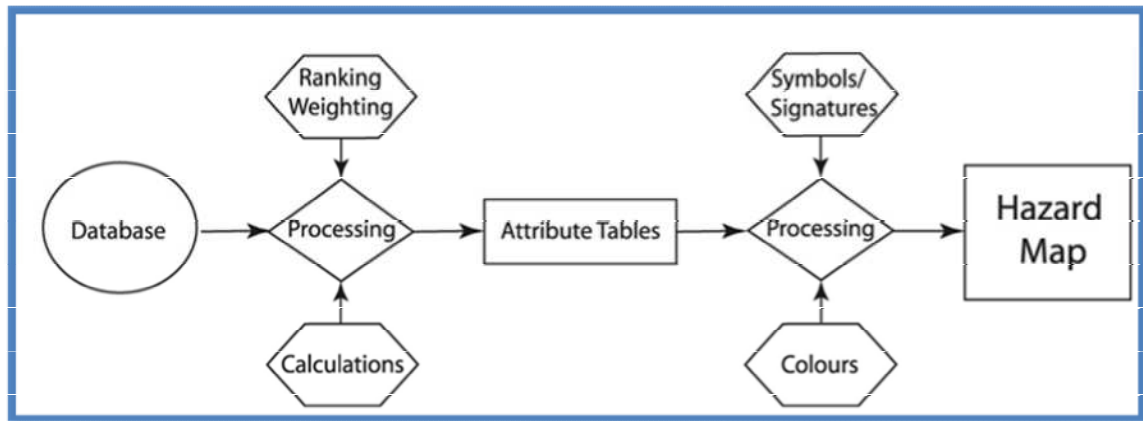


Figure 4.5 : Schema d'illustration de procédure de la carte d'aléa (Zwahlen F., 2004).

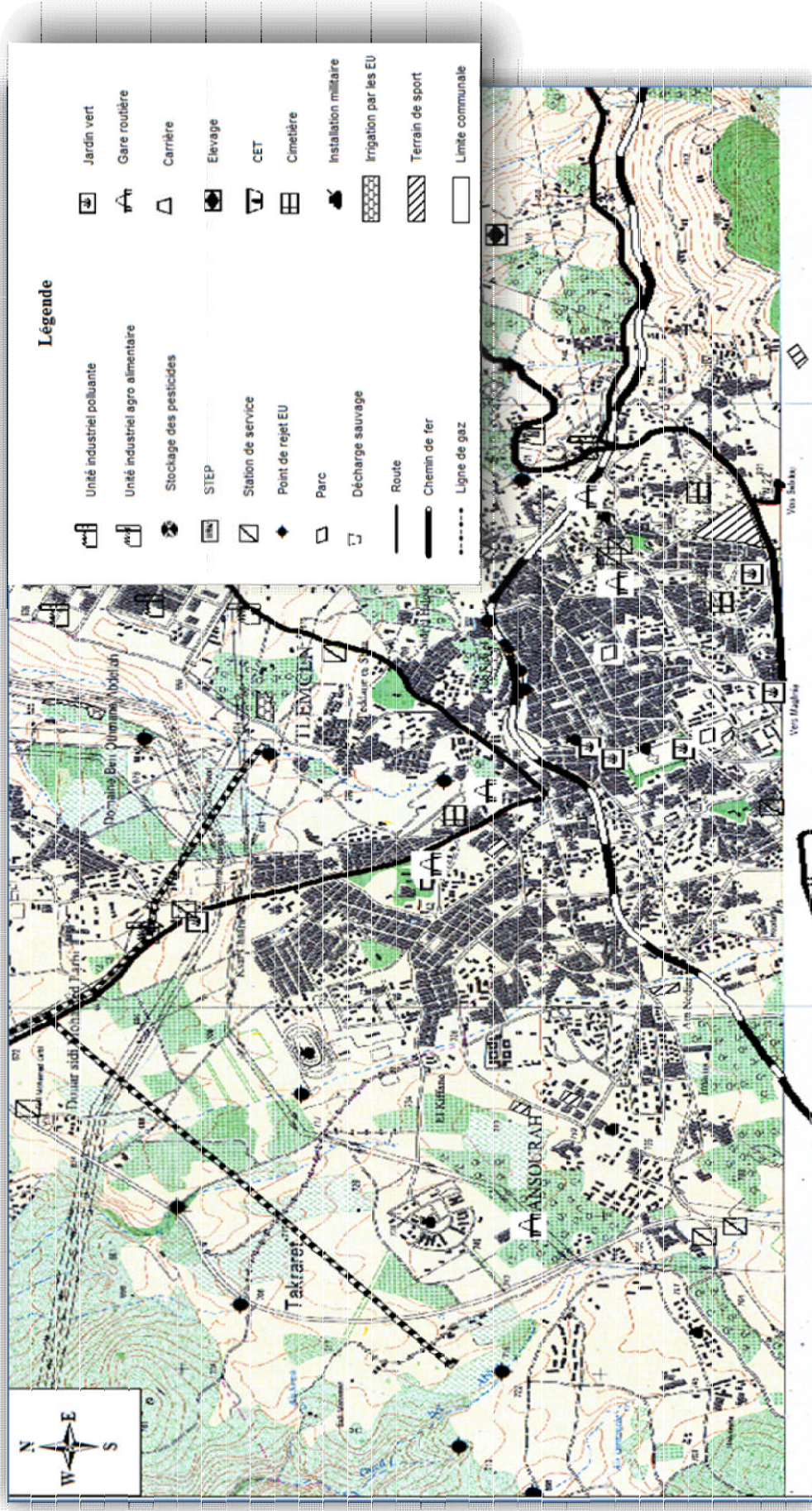


Figure 4.6 : La carte d'aléas non classés

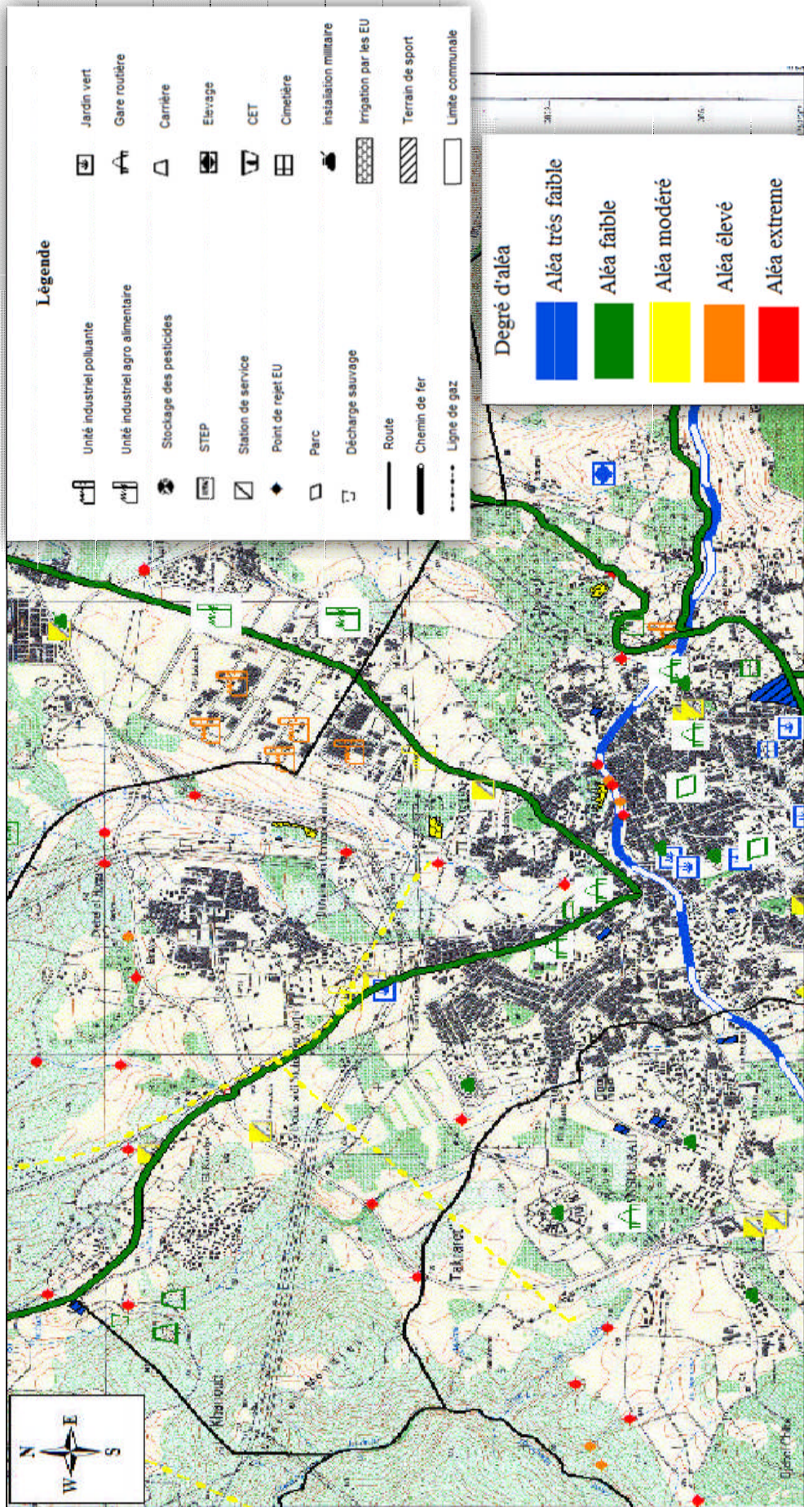


Figure 4.7 : La carte d'aléa classée

2.1.5.Étape 5: Techniques de cartographie :

La collecte des données nécessaires à la cartographie des aléas tel que décrit dans l'étape 2, peuvent être obtenues non seulement par des enquêtes sur le terrain (voir chapitre 3), mais aussi par l'étude des images satellites, des cartes et des logiciels indiqués ci-dessus. Il est recommandé que l'intégration des données de la cartographie des aléas est performée en utilisant le SIG par le logiciel Map Info.

2.1.6.Étape 6: Évaluation des données :

L'évaluation des données ne contient pas une interprétation unique qui peut en effet être liée à plusieurs tâches distinctes, y compris:

- La qualité des données
- Intégration des données (couplage de modèles et SIG)
- Sortie d'évaluation
- la sensibilité des données.

Il est évident que ces tâches doivent être effectuées non seulement en ce qui concerne les cartes des aléas, mais également à l'égard des cartes de vulnérabilité et des risques à la pollution des eaux souterraines. Nous avons fait un inventaire sur les foyers de pollution existant dans le GUT (chapitre III) qui sont pertinents pour la production de la carte d'aléa. Il faut toujours que cette carte doit être validée par la qualité des données collectées. Ce dernier permet un contrôle rigoureux et recommandé.

À cet égard, il peut être particulièrement utile d'introduire des attributs, de façon à permettre une distinction entre les données de danger mesurées, statistiques, extrapolées et estimées aussi bien que les attributs qui permettront d'évaluer la variabilité spatiale et temporelle de chaque aléa.

2.1.7.Étape 7: Production de la cartographie des aléas :

La dernière étape dans le plan de travail (Figure 4.2) porte sur la production réelle de la carte des aléas. Dans le COST Action 620, les cartes des aléas sont préparées pour plusieurs sites d'essais par exemple : Viêt-Nam, Allemagne. Ainsi pour notre travail, nous avons pris le groupement urbain de Tlemcen comme site d'étude. Après une recherche détaillée et l'inventaire des données de foyers de pollution dans le GUT, on a pu cartographier et localiser les aléas sur la carte topographique à l'aide des coordonnées (x, y) bien précis fournis par les services locaux de l'eau tel que DHWT, ONA...etc ou par l'utilisation des logiciels indiqués ci-dessus. Ainsi, l'échelle de la carte de vulnérabilité et d'aléa est un critère très important pour la réalisation de la carte de risque. Cette échelle est nécessaire pour la représentation des symboles (point, ligne et polygone) pour ne pas perdre l'information sur l'aléa.

Par contre, la classification des aléas existants se base sur le calcul d'indice H_i (Tableau 4.5) qui tient compte les deux facteurs : Q_n et R_f . Ces facteurs doivent être choisis selon le type d'aléa et leur catégorie (Tableau 4.2). Il faut bien quantifier le Q_n pour ne pas avoir une égalité dans l'indice H_i entre les différents types aléas par exemple : unité d'industriel de SOITEX ($H_i = 78$) ne peut pas avoir un H_i égale à celle d'un abattoir (ex : abattoir de Saf saf) ($H_i = 54$). Donc, chaque aléa prend sa propre valeur selon le degré de danger qui nuit à la qualité des eaux souterraines.

IV.2.2. L'évaluation du risque de pollution

Le risque de pollution des eaux souterraines a été considéré comme un croisement entre l'aléa et la vulnérabilité. Mais un aléa tout seul ne présente pas un risque que lorsqu'il affecte les eaux souterraines (chapitre II). L'évaluation des risques tient compte du degré de nocivité potentielle pour chaque type de danger. Elle est déterminée à la fois par la toxicité et par la quantité de substances dangereuses, qui peuvent être libérés à la suite d'un événement de contamination.

Ainsi, nous représentons les différentes sources de pollution sur la carte d'aléa. Nous avons auparavant identifié son impact sur les eaux souterraines karstiques dans le GUT (chapitre III). Ces eaux sont d'une bonne qualité physico-chimique. Souvent, ces eaux sont utilisées pour l'alimentation de la population en eau potable qu'il faut protéger contre toutes éventuelles pollutions pouvant dégrader sa qualité. C'est pour cela qu'on doit élaborer une carte de risque pour préserver nos ressources à cause de l'existence des charges polluantes dans la zone d'étude (Voir chapitre III ; Occupation de sol par activité).

La carte d'intensité du risque de pollution des eaux souterraines montre le résultat de l'évaluation d'intensité du risque par rapport à la distribution spatiale de risque. Il s'agit de la combinaison entre la cartographie de vulnérabilité à la pollution et la carte des aléas.

Pour déterminer les zones à risques dans le groupement urbain de Tlemcen, on a superposé la carte de vulnérabilité (Figure 4.1) avec les différents foyers de pollutions représentées dans la carte d'aléa (Figure 4.7). La combinaison de ces cartes permet de dégager les degrés de risque, en tenant compte de degré de vulnérabilité et de l'absence ou la présence des sources polluantes (les activités anthropiques), susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines. Cette combinaison permet de classer l'intensité de risque en trois classes (faible, modéré et élevé) qui sont représentés dans la figure 4.8.

Pour la méthodologie de réalisation de la carte de risque, il faut tout d'abord la carte de vulnérabilité dans la zone d'étude, ainsi, la carte des aléas classés selon le tableau 4.5. Ensuite, on calcule l'intensité de risque pour pouvoir classer le risque selon trois degré (faible, modéré et élevé) à partir de la formule suivante :

$$\mathbf{Ri = A + B}$$

Avec :

Ri : Indice d'intensité de risque

A : Indice de vulnérabilité

B : Classe d'indice d'aléa Hi

Par exemple : nous avons un aléa cartographié (ex : unité industriel de SOITEX) son Hi est égale à 78 qui correspond à un niveau d'aléa élevé (B = 1). Ensuite, il est situé dans la zone d'une vulnérabilité faible (A = 4). Alors, l'indice d'intensité de risque est calculé comme suivant :

$$\left. \begin{array}{l} A = 4 \\ B = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{Ri = A + B = 4 + 1 = 5}$$

A partir de la figure 4.8, la valeur 5 correspond à la zone modérée qui est présentée par une couleur jaune. Suite à ce calcul d'intensité de risque, on a obtenu la cartographie finale de risque (Figure 4.9).

Indice de vulnérabilité	Classe de vulnérabilité	Couleur d'indice de vulnérabilité	(A) Cartographie de vulnérabilité
1	Extrême	Rouge	
2	Elevée	Orange	
3	Modérée	Jaune	
4	Faible	Bleu	



(B) La carte d'aléa classée

Hazard Index	Hazard Index Class	Hazard Level	Colour
0 - 24	1	no or very low	blue
> 24 - 48	2	low	green
> 48 - 72	3	moderate	yellow
> 72 - 96	4	high	orange
> 96 - 120	5	very high	red



Intensité de risque	Indice d'intensité de risque	Niveau d'intensité de risque	Couleur	(C) Cartographie de risque
1 - 4	2	Elevé	Rouge	
5 - 6	1	Modéré	Jaune	
>7	0	Faible	Bleu	

Figure 4.8: Schéma d'illustration de la méthodologie d'évaluation du risque.

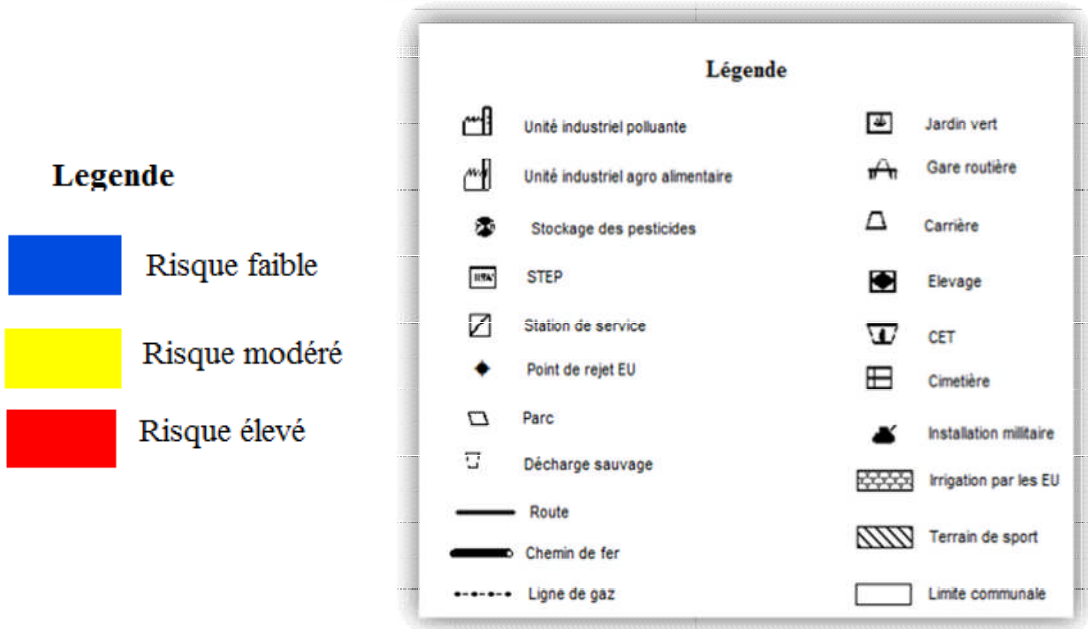
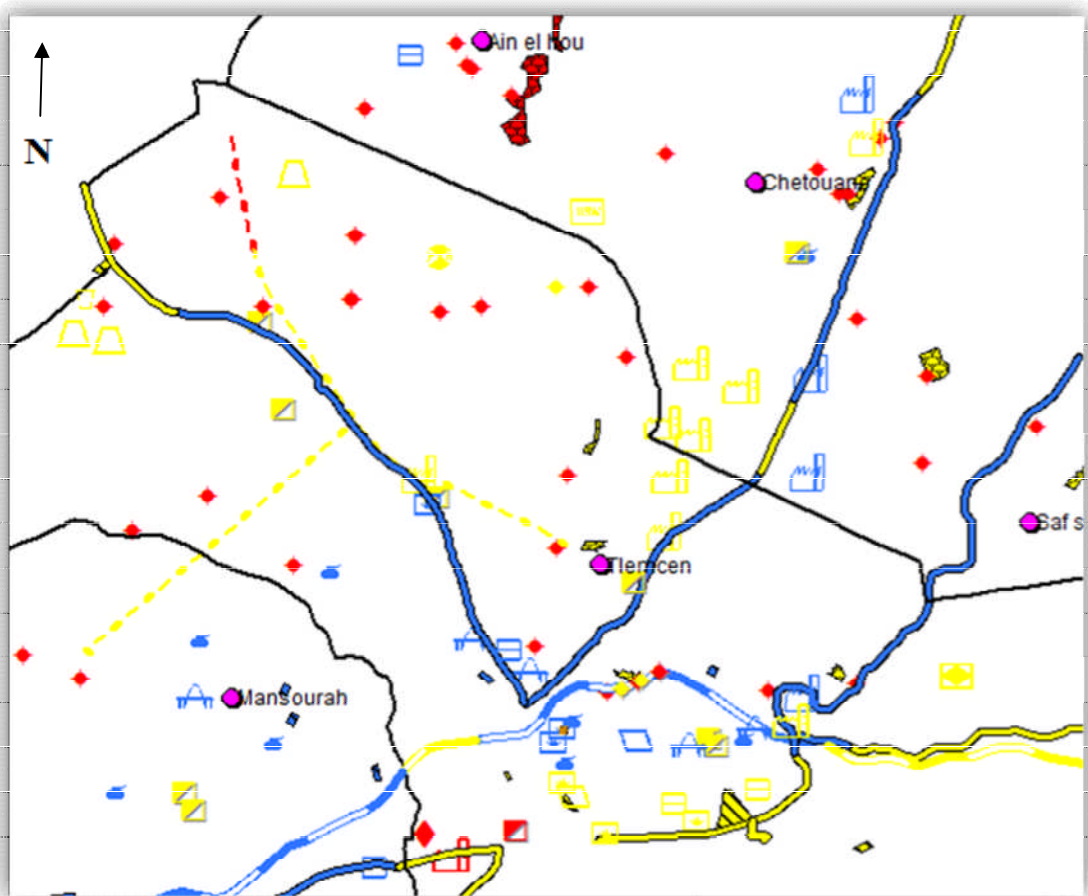


Figure 4.9: La carte de risque de pollution.

IV.2.3. Discussion :

La carte des risques de pollution des eaux souterraines dans le groupement urbain de Tlemcen (Figure 4.9) a été élaborée, par combinaison de la carte de vulnérabilité intrinsèque (Figure 4.1) et celle des sources potentielles de pollution (Figure 4.7) et en tenant compte aussi de la gravité des polluants potentiels. Il faut noter que les populations urbaines sont en grande partie desservies par des eaux potables à partir de forages captant la nappe profonde. Dans cette zone, des mesures préventives adéquates sont nécessaires afin de limiter les risques.

L'analyse de la carte de risque de secteur d'étude montre 3 degrés de risque. Les zones à risque de pollution élevé sont correspondantes à différents points de rejets, des terrains irrigués avec les eaux non conventionnelles, l'unité industrielle MANTAL et la station de service Bendi. Une interprétation est fournie ci-dessous pour chaque commune de la zone ainsi en décrivant les risques de pollution auxquels sont exposées les ressources en eau de groupement urbain de Tlemcen. Mais, la carte de risque obtenue ne couvre pas la totalité de la zone d'étude à cause de manque d'information sur la cartographie de vulnérabilité dans la commune de Béni Mester. Alors, nous avons élaboré une cartographie de risque dans les communes de Mansourah, Tlemcen et Chetouane.

A lumière d'étude géologique de groupement urbain de Tlemcen (chapitre III), il s'étend en partie sur les formations carbonatées du Jurassique supérieur, largement karstifiées. Cette karstification des formations carbonatées du Kimméridgien et du Tithonien se développe à des profondeurs parfois importantes en demeurant toujours plus fréquemment active près du toit de la formation karstique. Alors, les indices de karstification de ces dernières sont non seulement observables en surface mais peuvent aussi être détectés en profondeur. En outre que les résultats des sondages ont confirmé la présence de cavités de dissolution dans ces formations. Par contre, il faut noter que les fissurations dans les formations carbonatées sont plus importantes sur les 130 premiers mètres par rapport au toit de la formation (Bensaoula F., 2007).

Ces deux phénomènes peuvent avoir un entrainement des polluants de tout degré de risque à travers les couches de sol jusqu'à atteindre les eaux souterraines karstique. C'est pour cela qu'il faut prendre ces phénomènes en considération. Malheureusement, parfois ils sont évidents à détecter mais parfois ils ne le sont pas.

2.3.1 La commune de Chetouane :

La commune de Chetouane est caractérisée par différents types d'aléas qui peuvent avoir un effet négatif sur les ressources en eau souterraines. Chaque aléa représente un impact différent qui est indiqué dans le chapitre III. Cette commune contient 26 points de rejets d'eaux usées tels que :

- 13 points de rejets se trouvent dans la zone effondrée à vulnérabilité faible mais un degré d'aléa extrême. Alors, ils donnent un degré de risque élevé. L'un des points de rejets qui est signalé comme fortement polluant c'est le R25 (rejet d'Ain Defla) qui est un rejet à ciel ouvert (Figure 4.11). Ainsi, la source d'Ain Bendou est déjà affectée par ce rejet et le R.24 (voir chapitre III) qui comporte un risque élevé pour les eaux souterraines. Alors, il faut protéger cette source contre toute éventuelle pollution par des périmètres de protection. Sa qualité doit être contrôlée physico-chimiquement périodiquement.
- 4 points de rejets se situent sur une zone à vulnérabilité élevée avec un degré d'aléa extrême. Ce qui implique un risque élevé.
- 1 point de rejets R.37 se situe sur une zone à vulnérabilité modérée mais leur degré d'aléa est extrême. Donc, le degré de risque est élevé.
- 8 points de rejets ne sont pas pris en compte dans l'étude de la vulnérabilité de cette zone (non étudié). Par contre, la carte d'aléa contient ces différents points de rejets qui présentent un degré de danger extrême sur les eaux souterraines.
- 02 points de rejets (R30 et R29) sont très proche des forages Saf Saf 1, 2 et 3 (forages destinés à l'A.E.P.). Ces rejets peuvent voir leur qualité se dégrader à cause de l'existence de rejets à risque extrême. Donc, il faut un contrôle de la qualité de ces forages par des analyses physico-chimique et bactériologiques.
- 06 points de rejets utilisés pour l'irrigation des parcelles agricole représentant environ 33.5 ha (voir Tableau de l'annexe F) dont 17 Ha se trouvent à Ain el houtz qui présente un degré d'aléa modéré mais un risque élevé puisque elle se localise dans une zone à vulnérabilité élevée.



Figure 4.10 : Evacuation à ciel ouvert de rejet R.25 (Photo Fellah H.S., 2012).

Ainsi, les rejets des unités industrielles polluantes comme l'ENTC, la SOTRAMAT qui déversent leurs eaux usées dans le milieu naturel sans traitement préalable. Ces unités présentent un risque modéré. En plus, le point de rejet R.41 évacue les eaux usées de l'huilerie et de la tuerie d'Ouzidane qui sont déversées en milieu environnant essentiellement oued Saf saf, sans prétraitement. Ce rejet présente un degré de risque élevé, l'huilerie comporte un risque modéré et la tuerie introduit un risque faible. Ensuite, ce rejet est utilisé pour l'irrigation qui représente un risque élevé de pollution de sol ainsi que les eaux souterraines.

Alors, il devrait avoir un système de traitement au niveau de chaque industrie et même pour la tuerie et l'huilerie d'Ouzidane. Aussi, il faut bien gérer l'évacuation des eaux usées en milieu naturel par l'installation de nouvelles stations d'épurations et la réalisation des canalisations pour les eaux usées épurées pour l'exploitation dans le domaine agricole.

Malheureusement, oued Saf saf est considéré très polluant parce qu'il contient les rejets des unités industriels, les rejets de l'huilerie, la tuerie et les différents points de rejets d'eaux usées industriels et municipales (Figure 3.13). Aussi, Chaabat el horra est considéré polluant car elle contient les rejets d'eaux usées municipales d'Ain el Houtz.

D'autre part, un réseau routier (CW1 et RN2) traversant la commune passe par des zones de degrés de vulnérabilité (faible et modéré) mais puisque on a un aléa faible (vert), nous avons constaté un risque faible et modéré dans le chemin de wilaya CW1 et faible dans la route nationale RN2. Chetouane contient deux cimetières : un relève un risque modéré et l'autre un risque faible mais le seul impact qui peut être causé c'est l'infiltration des nitrates et des nitrites à travers le sol et le sous sol.

2.3.2. La commune de Mansourah :

La commune de Mansourah englobe différents aléas tels que le chemin de fer, les terrains de sport, les points de rejets et les stations de services. Elle contient huit points de rejets déversant dans le milieu naturel anarchiquement sans traitement dont deux points de rejets sur une zone à faible vulnérabilité avec un degré de risque élevé et modéré. Les autres points se situent en zone à vulnérabilité élevée et avec un aléa extrême, donc, nous avons constaté un degré de risque élevé. Alors, il faut réaliser une station d'épuration pour englober tout ces rejets par le procédé à boue activée. Mais on peut épurer ces eaux par des procédés écologiques pour ne pas détruire notre environnement plus par des bassins de lagunage à macrophyte ou par lagunage aéré utilisant les énergies renouvelables (éolienne, solaire).

Ainsi, une partie de chemin de fer et de la route nationale RN.7 traversant cette commune, se localise dans une zone à vulnérabilité faible et un risque faible. Par contre, l'autre partie a une vulnérabilité élevée et un risque modéré. De plus, il y a le

gazoduc qui passe par la zone où la vulnérabilité est faible. Son impact est du à l'existence des fuites car ce gaz est très toxique s'il atteindrait les eaux souterraines. Aussi, il est très nocif pour l'environnement et la santé humaine. Une fois les eaux souterraines sont contaminées par ce gaz, il cause des effets néfastes sur le cerveau et le système respiratoire. Donc, on doit faire des systèmes de contrôles de fuites de gaz tout le long de la conduite pour préserver nos ressources contre ce risque.

Les stations de services sont des aléas qui peuvent entrainer des pollutions pour les ressources souterraines de Mansourah. Puisque, nous avons constaté un degré d'aléa modéré. Donc le degré de risque existant est modéré. Leur impact est présenté dans le chapitre III. Il faut toujours contrôler régulièrement les réservoirs des hydrocarbures pour ne pas avoir des fuites ou des accidents au niveau des stations de services.

Enfin, il existe même des terrains de sport, des installations militaires, un cimetière et la gare routière qui présentent un degré de risque faible. Malgré cela, il ne faut pas négliger ce risque à cause de la nature géologique de la région (zone karstique) en plus le phénomène de fissuration et karstification.

2.3.3.La commune de Tlemcen :

Les caractéristiques de l'état de lieu de la commune de Tlemcen sont identifiées dans le chapitre III qui englobe différents aléas et ces impacts. En effet, ce secteur est très peuplé (Chef lieu de la wilaya) et les activités industrielles et urbaines sont très concentrées. Tout d'abord, la commune de Tlemcen compte 25 points de rejets d'eaux usées qui sont étudiés dans le chapitre III avec une représentation de leur impact dont :

- Quatre points de rejets (R.18, R.21, R.22 et R.23) pris en charge dernièrement à cause de la nouvelle ville d'Oudjlida. Ces rejets seront raccordés à la station d'épuration d'Ain El Houtz. Le R.18 à un degré de risque modéré et les autres points présentent un degré de risque élevé.
- Les rejets R.70, R.17 et R.07 ont un débit très important.
- Trois points de rejets (R.71, R.19 et R.90) se trouvent dans la zone où la vulnérabilité est élevée avec un degré d'aléa extrême. Pour cela, nous avons conclu un degré de risque élevé. Ces trois rejets doivent être joints à un système d'épuration. Leurs évacuations ne doit pas rester à ciel ouvert car ils dégradent l'environnement en générale mais particulièrement les eaux souterraines de la commune. Ces derniers sont essentiellement destinés à l'AEP qui nécessite un contrôle adéquat de sa qualité physico-chimique et même bactériologique ; les eaux usées contiennent les germes pathogènes qui causent les MTH.

- Plusieurs points de rejets sont utilisés pour l'irrigation de Neuf Ha d'arbo-maraichages.

Le risque de rejet d'eaux usées est autant plus grave lorsque que des échanges sont possibles entre l'oued et la nappe d'eaux souterraines.

Ainsi, la commune contient des unités industrielles classées fortement polluantes et aussi un degré d'aléa élevé tels que :

- L'unité industrielle de SOITEX (Figure 3.24) qui déverse ses eaux usées colorées (dû aux activités de tanneries au niveau de l'usine) en plein tissu urbain ainsi au milieu naturel sans aucun traitement préalable. Cette unité révèle le degré de risque modéré sans oublier les caractéristiques géologiques de la région qui sont très hétérogène (aquifères karstique) et l'existence des failles et des fissures importantes. Cette hétérogénéité géologique peut créer un aquifère peu profond qui peut être contaminée par les eaux usées industriels rejetées.
- L'unité industrielle GIPLAIT déverse ces eaux usées à oued Sikkak sans prétraitement qui révèle un degré de risque modéré pour les ressources souterraines.
- L'unité industrielle MANTAL se situe dans une zone à vulnérabilité élevée et un degré de risque de pollution élevé. Cette unité rejette ces eaux industrielles sans aucun traitement dans le réseau d'assainissement de la ville de Tlemcen.
- Le dépôt d'hydrocarbure est implanté sur une nappe phréatique où la vulnérabilité est faible (la zone effondrée) qui comporte un risque modéré. Néanmoins, il faut faire attention aux fuites des hydrocarbures.

Toutes ces unités industrielles polluantes devraient être munies d'un système de traitement individuel adapté.

On note aussi l'existence les eaux usées de l'hôpital CHU qui sont très toxiques et déverse leurs eaux usées dans le réseau d'assainissement de la ville sans aucun traitement préalable.

Il existe beaucoup de forages destinés à l'alimentation en eau potable dans la zone où la vulnérabilité est élevée. Mais avec l'existence des charges polluantes tels que : le rejet d'eau usée, les oueds pollués, les cimetières et les stations de services à proximité de ces forages, on pourrait constater une contamination des eaux souterraines.

En outre, le rejet des nouvelles cités Oudjlida et Boudjlida pose un problème majeur car il menace de pollution certaines sources importantes notamment la source

d'Ain El Hout. Au courant de l'année 2011, il a été décidé de prolonger ces trois points de rejets futur du site Boudjlida et une partie de la cité Oudjlida à l'aval de la nouvelle Auto Route Est-Ouest en les éloignant de la zone de vulnérabilité à la pollution très élevée (Hamza Cherif C.S, 2011).

En plus, les carrières et la décharge des déchets inertes de Koudia révèlent un degré d'aléa faible se trouvant sur une zone à vulnérabilité élevée qui donne un degré de risque modéré. Ils se situent dans une zone karstique où la nappe est proche de la surface. Donc, il faut déplacer les carrières dans un autre endroit et éradiquer la décharge pour protéger les eaux souterraines de la région. Ainsi, la carrière d'Oudjlida se trouve dans la zone à vulnérabilité extrême qui présente un risque modéré sur les eaux souterraines. Mais cette carrière est désaffectée depuis 2007, donc son risque a diminué. Malgré cela il faut prendre des précautions pour qu'elle ne devienne pas une décharge sauvage vue la proximité des habitations.

Nous avons les gares routières, les parcs, les terrains de sport, les installations militaires et des jardins publics se trouvant dans la zone à vulnérabilité faible qui révèlent un degré de risque faible. En revanche, ces aléas peuvent être découverts dans la zone à vulnérabilité élevée et leur degré de risque est modéré.

L'abattoir de Saf saf est localisé dans la zone où la protection contre la pollution est élevée. Son degré de risque est faible car son aléa a diminué lorsque ces déchets ont été dirigés vers la CET. Mais ces eaux usées se déversent dans le réseau urbain.

Le domaine de transport à Tlemcen comporte le réseau routier et le chemin de fer traversant les différentes zones de vulnérabilité (faible et élevée) avec un degré de risque de pollution (faible et modéré) respectivement. De plus, le gazoduc présente un danger de pollution des eaux souterraines élevée dans la localité d'Oudjlida.

Les stations de services de la commune de Tlemcen indiquent un degré de risque à la pollution des eaux souterraines modéré sauf la station de service Bendi qui présente un degré de risque élevé. Alors, on doit prendre des précautions pour protéger les ressources souterraines car les réservoirs des carburants sont déjà enterrés dans le sous sol (attention aux fuites). Ces réservoirs doivent être réalisés avec des conditions de protection élevée.

IV.3. CONCLUSION :

La cartographie de la vulnérabilité et des risques de pollution des eaux souterraines sont des outils d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire. Ces cartes permettent de mettre en évidence les zones très vulnérables et les zones à

risques de pollutions potentielles dans lesquelles sont implantées de nombreux ouvrages de captage des eaux souterraines.

Dans ce travail nous avons considéré le groupement urbain de Tlemcen comme site d'étude en tenant compte essentiellement les activités industrielles, agricoles et l'infrastructure de développement. Ces activités peuvent causer des risques de pollutions sur les eaux souterraines avec des impacts différents. Donc, cette zone est devenue intéressante pour effectuer une cartographie de vulnérabilité et de risque de pollution des eaux souterraines.

Nous nous sommes basées sur les travaux de cartographie de vulnérabilité intrinsèque de l'eau souterraine karstique réalisée par Bensaoula F. en 2006 qui a appliqué une simplification de l'approche européenne OCPK développé dans le cadre de COST 620. La carte obtenue présente quatre degrés (faible, modéré, élevé, extrême). de vulnérabilité. Mais cette carte ne couvre pas la totalité de la zone d'étude car on a un manque d'information sur la cartographie de la commune de Beni Mester.

Ainsi, on se basant sur l'inventaire des données disponibles dans le GUT, on a utilisé la méthodologie proposée dans le rapport final du COST 620.

Enfin, la cartographie du risque de pollution des eaux souterraines des communes Tlemcen, Mansourah et Chetouane obtenue à partir de la superposition de la carte de vulnérabilité intrinsèque et la carte d'aléa a donné trois degrés de risque à la pollution faible, modéré et élevé.

CONCLUSION GENERALE :

En Algérie, l'eau souterraine est le principal réservoir naturel d'eau douce. A titre d'exemple le cas de groupement urbain de Tlemcen utilise les eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable des populations. La dégradation de la qualité de l'eau souterraine est un problème majeur qui menace de plus en plus notre environnement.

Le groupement urbain de Tlemcen est la zone la plus peuplée dans la wilaya de Tlemcen. 24% de la population est concentré sur 1.2 % de la superficie totale de la wilaya. C'est une zone à climat semi-aride avec des précipitations très irrégulières à cause de la situation géographique et les formes du relief. Généralement, il s'étend en partie sur les formations carbonatées du Jurassique supérieur, largement karstifiées qui correspond à deux membres calcaréo-dolomitique du Kimméridgien supérieur et du Tithonien inférieur lesquels sont les réservoirs les plus importants des monts de Tlemcen. Ces eaux souterraines karstiques sont d'une bonne qualité physico-chimique. Mais elle est très vulnérable au phénomène de pollution. Donc, des mesures de protection sont prises pour la préservation des eaux souterraines de GUT tel que la cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines.

Sur la base de l'utilisation de la carte de vulnérabilité à la pollution, faite avec la méthode OCPK adaptée, nous avons fait un inventaire des données disponibles actuellement sur les foyers de pollution existant dans le GUT pour mieux connaître l'état de l'occupation du sol par activité. Cet inventaire est une démarche indispensable pour la détermination de la carte d'aléa et du risque de pollution. De notre étude il en ressort ce qui suit :

- Le taux de raccordement de réseau d'AEP est de 95 % et le taux de raccordement de réseau d'assainissement est de 94,25 %. Ce dernier réseau est dans un état vétuste.
- La majorité des rejets d'eaux usées est déversée en milieu naturel sans traitement préalable. Ceci représente le foyer de pollution le plus potentiel menaçant les eaux souterraines.
- Le manque des stations d'épurations dans le GUT et aussi au niveau des unités industrielles.
- La présence d'eaux usées au niveau des principaux cours d'eau de GUT et parfois à proximité des ouvrages de captage d'eau souterraine.
- L'existence d'une décharge contrôlée CET de Saf saf. au niveau du secteur d'étude

Conclusion et recommandations :

- L'absence de tri sélectif des déchets domestiques dans le GUT qui peut systématiquement perturber le fonctionnement de CET de Saf saf.
- Les dépôts des déchets non réglementés et l'encombrement des poubelles au niveau de grandes cités de la zone d'étude.
- L'implantation des unités industrielles en plein tissu urbain.
- L'incinérateur de déchets hospitaliers est très archaïque et n'est pas conforme pas aux normes de l'OMS.
- 47 Ha sont irriguées par les eaux usées en 2012. Ces dernières années, ce chiffre a nettement baissé à cause de l'avancement du béton sur les terres agricoles.

Pour cartographier la carte d'aléa et de vulnérabilité, on a utilisé le SIG par le logiciel Mapinfo. Ainsi, on a suivi la méthodologie dans le COST 620 pour obtenir une carte d'aléa avec les données nécessaires et existantes dans le GUT. En plus, nous avons utilisé le logiciel Data Collection Sheet For Inventory Of Hazards pour quantifier les aléas. A la base du calcul l'indice d'aléa Hi, on a présenté la carte d'aléa classée. Ensuite, on a superposé la carte d'aléa et la carte de vulnérabilité pour obtenir la carte de risque à trois degrés faible, modéré et élevé.

Alors, la cartographie de vulnérabilité et de risque de pollution est un document indispensable pour la protection des eaux souterraines. Ceci doit permettre de mieux orienter l'aménagement du territoire.

A la fin de ce travail, nous recommandons :

-L'application des textes législatifs correctement en Algérie par l'installation des périmètres de protection des eaux souterraines.

-Il est nécessaire d'avoir une gestion des déchets par l'application des méthodes précises et des moyens appropriés surtout pour ce qui est de la collecte, du traitement du tri sélectif, du recyclage et d'enfouissement.

-La réalisation des canalisations pour les eaux usées qui seront exploitées dans le domaine agricole après traitement (épuration) pour éradiquer l'irrigation avec les eaux non conventionnel dans le GUT.

-La réalisation des stations d'épurations dans le GUT pour éliminer tout les rejets d'eaux usées déversant en milieu naturel sans aucun traitement.

Conclusion et recommandations :

-Il faut une gestion efficace des déchets domestiques par la création des centres d'enfouissement technique (C.E.T) qui répondent aux critères en vigueur dans le monde.

-L'élaboration d'une cartographie de vulnérabilité dans la commune de Béni Mester pour que cette dernière couvre la totalité de GUT. Ensuite, on peut obtenir une cartographie de risque de pollution des eaux souterraines.

-Il est recommandé de développer la carte topographique à l'échelle 1/25000 pour qu'elle couvre la totalité de GUT.

-La création d'une méthode de cartographie de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en prenant en considération les conditions climatiques, géologiques et hydrogéologiques propre à notre pays.

-Il est important de renforcer l'éducation environnementale dès le jeune âge sur la gestion des déchets.

Bibliographie :

- A.B.A.K.: 2007, Etude de plan de gestion des déchets spéciaux de la wilaya de Tlemcen, Rapport 2, Mission A, Direction de l'environnement.
- A.N.A.T. : 2010, Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Tlemcen (PATWT), 1^{ère} phase, Direction de l'urbanisme et de la construction de la Wilaya de Tlemcen.
- A.N.A.T.: 2005, Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme du groupement urbain de Tlemcen (P.D.A.U), 2^{ème} phase, Direction de l'urbanisme et de la construction de la Wilaya de Tlemcen.
- Abdelbaki C. et Boukli Hacène F. : 2007 Etude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen, Université Tlemcen, Algérie, Revue des énergies renouvelables Vol. N° 2 (257-263).
- Adjim H. : 2004, Evaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la Tafna, Magister en Aménagement hydraulique, Université de Tlemcen.
- Aina M.P. : 2006, Expertises des centres d'enfouissement techniques de déchets urbain des les PED : Contributions à l'élaboration d'un guide météorologique et se validation expérimentales sur sites, Thèse de Doctorat en Chimie et Microbiologie de l'eau, Université de Limoges.
- Ake G.E., Dongo K., Kouadio B.H., Dibi B., Biemi J. : 2009, Contribution des Méthodes de Vulnérabilité Intrinsèque DRASTIC et GOD à l'Etude de la Pollution par les Nitrates dans la Région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire), European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.31 No.1 (2009), pp. 157-171.
- Albinet M. et Margat J. : 1975, Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine, Groundwater Pollution - Symposium - Pollution des Eaux Souterraines (Proceedings of the Moscow Symposium, August 1971; Actes du Colloque de Moscou, Août 1971): IAHS-AISH Publ. No. 103,
- Allier D., Vittecoq B., Mardhel V. : 2008, Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de la Martinique, Document public, Rapport final, BRGM/RP-56283-FR
- Amharref M., Aassine S., Bernoussi A. et Haddouchi B. : 2006, Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : application à la plaine du Gharb (Maroc), Revue des sciences de l'eau, Journal of Water Science, vol. 20, n° 2, 2007, p. 185-199 (<http://id.erudit.org/iderudit/015812ar>).
- Anonyme (a): 2011, Fiche technique de centre d'enfouissement technique de Tlemcen, Rapport, Direction de l'environnement.
- Anonyme (a): 2012, Rapport sur les carrières à travers les communes de GUT, document interne, Direction des énergies et des mines.

- Anonyme (b) : 2011, Listing des stations de service avec capacités de stockage des carburants, direction des énergies et des mines.
- Anonyme (b) : 2012, Rapport sur les décharges sauvages à travers la wilaya de Tlemcen, Document interne, Direction de l'environnement.
- Anonyme (c) : 2012, liste des abattoirs dans le GUT, Rapport, Direction des services agricole.
- Anonyme (a) : 2010, Fiche technique, Description de la station d'Ain El Houtz.
- Anonyme (b) : 2010 , Etat des lieux des eaux souterraines Guide explicatif des fiches par masses d'eau souterraine, Version 1.20, Mise en œuvre de la Directive-cadre sur l'Eau (2000/60/CE), "Agriculture, Ressources naturelles & Environnement", Service public de Wallonie.
- Anonyme: 2009, Généralité sur la pollution et la vulnérabilité des nappes souterraines, Partie 1, Rapport du TFE.
- Bahous W. et Rahim Z. : 2006, Etude de la qualité des eaux souterraines du grand Tlemcen, D.E.U.A en hydraulique, option ; hydraulique urbaine, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- Banton O. et Bangoy L.M. : 1997 ; Multi science environnementale des eaux souterraines. Presses de l'Université du Québec/AUPELF.
- Beauchamp J. : 2006, cours : Qualité et pollution des eaux souterraines; Université de Picardie Jules Verne, Le site : <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-8.htm>
- Bechir Hisseine O. : 2006, Schéma d'utilisation des ressources en eau pour le couloire ouest de la wilaya de Tlemcen –Algérie, D'Ingénieur d'Etat en Hydraulique Urbaine, Université Tlemcen.
- Bensaoula F. : 2007, Etude de la karstification à partir des données de forages : le cas des monts de Tlemcen (Algérie), KARSTOLOGIA n° 49, p : 15-24.
- Bensaoula F. : 2006, Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques, mise au point d'outils pour leur protection (Application aux monts de Tlemcen-Ouest Oranais), Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée, Université Tlemcen.
- Bensaoula F. et Bensalah M.: 2007, Cartographie de la vulnérabilité des eaux karstiques de la région de Tlemcen (Algérie) ; Adaptation et application de l'approche européenne, Bulletin d'Hydrogéologie N° 22 (2007), p 59-76, Centre d'hydrogéologie, Université de Neuchâtel, édition Peter Lang.
- Bensaoula F. et Houmadi Y. : 2008 ; Le karst et l'aménagement urbain : cas de la région de Tlemcen, Colloque international : Terre et eau, Annaba.

- Bensaoula F., Adjim M. et Adjim H.: 2003, Les périmètres de protection des eaux souterraines et les difficultés d'application du code des eaux. Cas de la wilaya de Tlemcen (Nord ouest Algérienne), Université de Tlemcen.
- Bensaoula F., Adjim M. et Bensalah M.: 2005, Les forages récents dans les aquifères des monts de Tlemcen, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.7-15; Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.
- Bensaoula F., Adjim M. et Bensalah M.: 2007 ; L'importance des eaux karstiques dans l'approvisionnement en eau de la population de Tlemcen ; Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 06, pp. 57-64; Département d'hydraulique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.
- Berrahma B. : 2009, L'étude d'un Nouveau Schéma de répartition des ressources dans le groupement urbain de Tlemcen, Ingénieur d'état en hydraulique urbaine, université Tlemcen.
- Bézèlgues S. et Garts E. avec la collaboration de Mardhel V. et Doerfliger N., 2002, Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe), phase 1, Définition de la méthode de détermination de la vulnérabilité: rapport BRGM-51783- FR.
- Bordet J. : 2007 ; L'eau dans son environnement rural ; édition Johanet.
- Bouanani A. : 2004, Hydrologie, transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassin de la Tafna (NW-Algérie), thèse de doctorat d'état en hydrogéologie, Université de Tlemcen
- Bouayed M. : 2009, Alerte aux pesticides, Bulletin n°1 - Juin 2009, A.S.P.E.W.I.T.
- Bouayed M.: 2008, Atlas de l'environnement de la wilaya de Tlemcen, A.S.P.E.W.I.T.
- Bouchenak Khelladi B. : 2003, Contribution à l'étude faunistique et physico-chimique de l'eau de quelques puits aux alentours de la ville de Tlemcen. Mém . Ing d'état en écologie et environnement.
- Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T., Pojer K. : 2002, Pollution toxique et écotoxicologie : notions de base, guide technique N°7, SDAG, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse.
- Bouchikhi T.Z. et Hassaine K. : 2006, Procédure d'étude d'impact appliquée en Algérie : exemple d'une décharge contrôlée, Revue scientifique internationale des civilisations, TALOHA, numéro 16-17, Université de Tlemcen, le site : <http://www.taloha.info/document.php?id=338>
- Boulabeiz M. : Évaluation du risque des eaux souterraines à la pollution : Cas de la nappe de Collo, Nord-Est Algérie, Institut des Sciences de la Nature et de la Vie, Département d'Écologie, Centre Universitaire Khenchela, Algérie.

- Castany G. : 1980; Principe et méthode de l'hydrogéologie, Édition Dunod.
- Cazaux M.: 2007, Les eaux souterraines en Gironde. Cartographie de vulnérabilité aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais. Mémoire de stage. Rapport SMEGREG. 54 p., 23 fig.
- Civita M. et Sappa G. : 2003, Logiciel : Data Collection Sheet For Inventory Of Hazards, COST Action 620.
- Crestin G.: 2001, Vulnérabilité du milieu karstique de la région de Montana (Valais, Suisse). Application de la méthode EPIK, Bulletin d'Hydrogéologie N° 19, Centre d'hydrogéologie, Université de Neuchâtel, Valais, Suisse.
- D.S.A. : 2012, Rapport sur l'irrigation avec les eaux usées dans la wilaya de Tlemcen, Document interne.
- Degremont : 2005 ; Mémento technique de l'eau ; tome 1 ; Dixième édition.
- Deguig D. : 2009, Etude de la pollution dans la région de Tlemcen (Etude sur un modèle physique), Magistère en hydraulique (Science et technologie de l'eau), Université Aboubak belkaid, Tlemcen.
- Derni S. : 2011, Réflexion sur les critères de choix d'une méthodologie pour la cartographie de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : Cas de bassin versant de la Tafna, Magister en Mobilisation et protection des ressources en eau, Université Tlemcen.
- Dörfliger N., Jauffret D. et Loubier S. avec collaboration de Petit V. : 2004, Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en Franche-Comté, Rapport BRGM/RP-53576-FR, 129 pages.
- Dörfliger N., Mettetal J.P. et Dessandier D. : 2005, Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en vue de la délimitation des périmètres de protection, Paysages karstiques et activités anthropique, Guide méthodologique, DIREN Franche Comté, BRGM.
- Draou S. : 2011 ; Les méthodes de décontaminations des eaux souterraines, Licence en science technique de l'eau, Université Aboubak belkaid, Tlemcen.
- Dris A. : 2005 ; L'eau matière stratégique et enjeu de sécurité au 21ème siècle, DEA Sciences Politiques, Université Paris.
- DSA : 2011, Rapport sur l'élevage dans la wilaya de Tlemcen, Série E, Volet N°1 et 2, Service des statistiques et des enquêtes économiques agricoles, Wilaya de Tlemcen.
- Dupont A.; 1978 ; hydraulique urbaine (Tome1) Éditions : eyrolles.
- El warititi M., Malaki M. et El mahmouhi N. : 2007 Hydrochimie et Vulnérabilité des aquifères souterrains, Chapitre IV, le site : grn.hautetfort.com/.../4732230fadfd797a57f3a09626d48a76.pdf
- Errahoui F. et Souiki M.I. : 2004, Evaluation des répercussions environnementales d'un centre d'enfouissement technique des résidus urbains du groupement grand Tlemcen, Ingénieur d'état en écologie et environnement, Université Tlemcen.

- Gilli E., Mangan C. et Murdry J. : 2008, Hydrogéologie : Objets, méthodes, applications 2^{ème} édition, édition Dunod.
- Goldscheider N. : 2005, Karst groundwater vulnerability mapping: application of a new method in the Swabian Alb, Germany, Published in Hydrogeology Journal, 13, issue 4, 555-564.
- Gomella C. et Guerree.H: 1980 ; la distribution d'eau dans les agglomérations urbaines et rurales ; Edition : Erolles.
- Guenaoui S. : 2002, Schéma d'approvisionnement en eau potable du groupement urbain de Tlemcen ; DEUA en hydraulique, option hydraulique urbaine, Université aboubekr bel kaid, Tlemcen.
- Hamidi M.N. : 1997, Etude de la vulnérabilité à la pollution et la propagation des polluants dans la nappe de Maghnia, Ingénieur d'état en hydraulique urbain, Université Aboubak belkaid, Tlemcen.
- Hamza Cherif C.S. : 2011, Epuration des eaux usées par les macrophytes, Magister en mobilisation et protection des ressources en eaux, Université Tlemcen.
- Hamza M.H., Added A., Francès A., Rodriguez R., Ajmi M. et Abdeljaoued S. : 2008, Évaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle de la nappe côtière alluvionnaire de Meltine-Ras Jebel-Raf Raf (Nord-Est tunisien) selon les méthodes paramétriques DRASTIC, SINTACS et SI, Revue des sciences de l'eau, Journal of Water Science, Volume 21, numéro 1, ISSN : 1718-8598, DOI : 10.7202/017932ar, p. 75-86, Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE).
- Hugh S. et Myslik J.: 2006 ; Protéger la qualité des réserves d'eaux souterraines ; fiche technique ISSN 1198-7138 du MAAARO l'Ontario ; Département des sciences de la terre ; Université de Waterloo. Le site : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/environment/facts/06-116.htm>
- Imerzoukène S., Delloy F., Demarets X., Masset R., Meus P., Popescu C., Rentier C. et Zaros S.: 2011, Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, Direction de l'Etat environnemental, Direction des eaux souterraines.
- INERIS : 2002, Etude de scénarios dangereux en stations-service, Rapport final, Direction des Risques Accidentels, INERIS DRA - 2002-40862.
- Ketelaere D.D., Hötzl H., Neukum C., Civity M. et Sappa G. : 2003, Hazard Mapping, COST action 620 Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (Karst) aquifers, Final report, Université Neuchâtel, P : 86-104.
- Kettab A. : 2000, Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision ; Ecole Nationale Polytechnique (ENP), Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau (LRS-EAU), Conference on Desalination Strategies in South Mediterranean Countries, cooperation between Mediterranean Countries of Europe and the Southern Rim of the Mediterranean, sponsored by the European

- Lallemand Barres A. et Roux J.C. : 1999 ; Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine, Édition BRGM.
- Mardhel V., Pinson S., Gravier A.: 2005, Cartographie de la Vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en région Nord-Pas-de-Calais, Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2004-PSP04NPC35, BRGM/RP-54238-FR.
- Margat J. : 1998 ; Vulnérabilité (de l'eau souterraine) aux pollutions. Le site : <http://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICVULNE.HTM>
- Mimoun D., Graillot D. : 2010, Evaluation de la vulnérabilité à la pollution des aquifères alluviaux de montagne par utilisation conjointe d'un modèle d'écoulement souterrain et d'un modèle de suivi de particules. Application au Massif Central (France), Centre SITE, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne 158, cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne Cedex 2, Colloque Eau, Déchets et Développement Durable, Alexandrie, Egypte.
- Mokhtari A. et Dir B. : 2006, Analyse physico – chimique et bactériologique des eaux potables « Groupement urbain de Tlemcen », DEUA en hydraulique urbain, Université Tlemcen.
- Mouglin B. : 2004, Les eaux souterraines en Bretagne, Colloque régional ; Eau & Rivières de Bretagne, Ingénieur hydrogéologue, BRGM, Service Géologique Régional de Bretagne, Quimperlé.
- Müller S. et Kozel R. : 2004 ; Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines. (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP), Section Protection des eaux souterraines).
- Murat V., Paradis D., Savard M.M., Nastev M., Bourque E., Hamel A., Lefebvre R. et Martel R. : 2003, Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD, Publication, Projet 980011 de la commission géologique du Canada.
- N.E.E. : 2006, Etude d'un système d'épuration de la partie ouest du groupement urbain de Tlemcen, Mission B ; Etude du schéma directeur d'assainissement du groupement urbain de Tlemcen, Avant projet Sommaire, D.H.W.T.
- Nguyet V.T.M., Goldscheider N. et Okke Batelaan O. : 2004, Adaptation and application of the Pan-European Approach to groundwater vulnerability mapping to the karst area, Vietnam, Trans-KARST 2004, Proceedings of the International Transdisciplinary Conference on Development and Conservation of Karst Regions, Hanoi, Vietnam, 13-18.9.2004.
- O.N.A. : 2011, Informations de réseaux d'assainissement-Linéaires et populations, Zone d'Oran, Unité de Tlemcen, Ministère des ressources en Eau.
- Piedrafita Carnicer.María-Victoria : 2007, La pollution ponctuelle des sols: Le cas des stations-service dans la Région de Bruxelles-Capitale, Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement, Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire, Bruxelles.

- Pinaud M. : 1999, Cartographie de la vulnérabilité en milieu karstique sur le site de Villars-Le-sec (Belfort, France), Discussion des résultats de la méthode EPIK et comparaison avec une autre méthode, Poster, Université de Neuchâtel.
- Pochon A. et Zwahlen F. : 2003, Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré. Guide pratique 83p, L'environnement pratique, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne.
- Pranville J., Plagnes V., Rejiba F., Tremoulet J.: Septembre 2007, Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines de la partie sud du Causse de Gramat, Université Pierre et Marie Curie, École des Mines de Paris & École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts).
- Savard M., Lefebvre R., Martel R., Ouellet M. et Lamontagne C. : 2008, Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères en roches sédimentaires fracturées, Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, ISBN : 978-2-550-51190, Québec
- Schoeller.Henri J. : 1975 ; Groundwater Pollution - Symposium -; Actes du Colloque de Moscou, Août 1971): IAHS-AISH Publ. No. 103.
- Sétra (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes): 2007, Méthode de hiérarchisation de la vulnérabilité de la ressource en eau, Economie Environnement Conception n° 80, (<http://www.setra.equipement.gouv.fr>).
- Sid Lakhdar M.A. : 2012, Diagnostic et réhabilitation du réseau d'assainissement de la ville de Tlemcen, Chef de centre assainissement Tlemcen, Office National de l'Assainissement, Zone D'Oran, Unité de Tlemcen, Ministère Des Ressources en Eau.
- Sinan M., Maslouhi R., et Razack M.: 2003 ; Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc ; 2nd FIG Regional Conference Marrakech.
- Smida H., Maiza N., Zairi M., Ben Dhia H. : 2009, Gestion quantitative et qualitative des ressources en eaux dans la région de Sidi Bouzid (Tunisie centrale) à l'aide d'un SIG : Etude de la recharge induite des nappes et leur vulnérabilité à la pollution, SIG 2009, Conférence Francophone ESRI, Versailles.
- SOGREA: 2009, Etude de la vulnérabilité de la nappe de la Mitidja-Rapport de sous mission 1-1, Version finale, N° 1741002, Coopération Algéro-Belge, Ministère des ressources en eau, Agence National des Ressources Hydriques.
- Souikni N. et Seghioer N. : 2006, Contribution à l'étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines dans le grand Tlemcen (Tlemcen-Mansourah-Chetouane), D.E.U.A, Université Tlemcen.

- U.R.B.A.T. : 2010, Plan d'Occupation de Sol de Chetouane P.O.S UB 15, Phase finale,
- Vernoux J.F., Buchet R., Blum A. et Willeumier A. : 2010, Améliorer la protection des d'eau souterraine destinée à la consommation humaine, N°ISBN978-2-7159-2484-0 BRGM.
- Vernoux J.F., Willeumier A., Seguin J.J., Dorfliger N., Martin A. : 2007, Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses, Rapport intermédiaire, Synthèse bibliographique et analyse des études réalisées sur le bassin Seine-Normandie.
- Yala M. et Larbi Chrif M. : 2004, Schéma optimal d'utilisation de la ressource en eau dans le groupement urbain Tlemcen, Ingénieur d'état en hydraulique urbaine ; université Tlemcen.
- Zaoui A. : 2007, Connaitre pour agir, Centre d'enfouissement technique du Groupement du Grand Tlemcen, Directeur Général de CET, APC Souahlia.
- Zerg A. et Bouchentouf S. : 2008; Etude de tarification et dotation dans le GUT, DEUA en hydraulique urbaine, Université Tlemcen.
- Zerouali A. et El Meslouhi M. : 2011 ; Elaboration de la vulnérabilité moyennant la méthode DRASTIC et le Système d'Information Géographique(SIG) (cas de la nappe de Souss-Chtouka).
- Zwahlen F. (Ed) : 2004, COST Action 620 Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (Karst) aquifers, Final report, European commission, EUR 20912: 297 p, Université Neuchâtel.

Page Web :

- [1] Beauchamp J., D.E.S.S. Qualité et gestion de l'eau pollution et dépollution des nappes d'eau souterraine ; Université Picardie Jules Verne de France. Le site : <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/pol-sout/pol-sout.htm>

Consulté le : 27.3.2012

- [2] <http://www.groundwater.org/gi/contaminationconcerns.html>

Consulté le : 26.3.2012

- [3] Lenntech Water treatment & purification Holding B.V www.lenntech.fr/eaux-souterraines/pollution-sources.htm

Consulté le : 15.05.2011.

- [4] www.consoglobe.com/

Consulté le : 30.01.2011.

- [5] <http://www.groundwater.org/kc/whatis.html>

Consulté le : 26.3.2012

- [6] Environnement Canada: 2004, Groundwater Occurrence and Contamination in Canada ([www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr.](http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr))

Consulté le : 01.03.2012

- [7] Encyclopédie Wikipedia
(http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Cholera_bacteria_SEM.jpg)

Consulté le : 11.01.2012

- [8] <http://www.goodplanet.info/goodplanet/index.php/fre/Societe/Sante/Sante-et-environnement/%28theme%29/290>

Consulté le : 26.3.2012

- [9]<http://www.ac-grenoble.fr/ecole/chambery.le-pre-de-l'ane/curienne/massette.jpg>

Consulté le : 30. 01.2012

- [10] L'eau, fluide vital – Approche quantitative ; le site : <http://www.eau-poitou-charentes.org/usages/Aquiferes.html>

Consulté le : 30. 03.2012

- [11]Ressources naturelles Canada : <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/produits-services/produits-cartographie/geoscape/vancouver/5945>

Consulté le : 26.03.2012

- [12] <http://hmf.enseeiht.fr/>

Consulté le : 14.04.2011

- [13] Mutin.G : Documentation photographique n° 8014 : De l'eau pour tous <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/cartotheque/repartition-ressources-eau-monde-2000.shtml>

Consulté le : 14.04.2011

- [14] Ressource en eau en Algérie, Le site : <http://www.tamanrasset.net/algerie.item.41/ressources-en-eau-en-algerie.html>

Consulté le : 28.04.2011

- [15] http://www.mre.gov.dz/eau/ress_superf.htm

Consulté le : 19.04.2011

- [16]<http://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/terre/environnement/pollution-de-eau.php>

Consulté le : 11.05.2012

- [17] : http://cerea.enpc.fr/fich/doc_ENPC_transport.pdf

Consulté le : 25.01.2012

- [18] <http://www.soironvillage.be/bola.html>

Consulté le : 24.05.2012

- [19] <http://beuvry.unblog.fr/2010/03/25/repartition-de-leau-sur-terre/>

Consulté le : 25.05.2012

- [20] http://fr.wikipedia.org/wiki/Beni_Mester

Consulté le : 26.05.2012

- [21] <http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/chap12.htm>

Consulté le : 02.06.2012

- [22] Situation des ressources en eau dans le monde et en Afrique
<http://www.envirobf.org/eau/487-situation-des-ressources-en-eau-dans-le-monde-et-en-afrique.html/>

Consulté le : 05.05.2012

- [23] <http://www.omafra.gov.on.ca/french/environment/facts/06-116.htm#2>

Consultée le : 23.07.2012

- [24] <http://www.veolia-proprete.fr/dossiers/sante-environnementale-les-lixiviats-peuvent-ils-contaminer-l-environnement-et-porter-atteinte-a-la-sante-des-riverains.html>

Consulté le : 06.08.2012

- [25] Lutte contre les atteintes à l'environnement à Tlemcen, Le site :
http://www.vitamedz.com/lutte-contre-les-atteintes-agrave-l-environnement/Articles_15688_153580_13_1.html

Consulté le : 07.08.2012

- [26] <http://www.duclair-environnement.org/2010/11/22/les-decharges-sauvages/>

Consulté le : 08.08.2012

- [27] http://www.vitamedz.com/carriere-poussieres-egouts-pollution-extreme-aux/Photos_18414_20075_0_1.html

Consulté le : 15.06.2012

- [28] <http://www.panoramio.com/photo/20217592>

Consulté le : 12.08.2012

- [29] <http://www.alcor-contrôles.fr/actualites/2-news/132-pollution-des-sols-cas-particulier-des-stations-service.html>

Consulté le : 14.08.2012

- [30] <http://mirabel-lne.asso.fr/book/export/html/77>

Consulté le : 31.07.2012

- [31] <http://siaepacheuxchepy.fr/eau/page.php?page=perimetre>

Consulté le : 31.07.2012

- [32] <http://www.crfp-poitou-charentes.fr/Les-differents-perimetres-de.html>

Consulté le : 31.07.2012

- [33] <http://www.smbv-pointedecaux.fr/web/dup.html>

Consulté le : 22.08.2012

Carte consulté :

Carte Tlemcen : 1989, NI-30-XVII-23 OUEST, nouveau découpage 1/25000, Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT).

Carte Tlemcen : 1989, NI-30-XVII-22 OUEST, nouveau découpage 1/25000, Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT).

Carte Tlemcen : 1989, NI-30-XVII-22 EST, nouveau découpage 1/25000, Institut National de

Cartographie et de Télédétection (INCT).

Carte Tlemcen : 1989, NI-30-XVII-21 OUEST, nouveau découpage 1/25000, Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT).

Carte Tlemcen : 1989, NI-30-XVII-21 EST, nouveau découpage 1/25000, Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT).

Carte d'état major : 1989, NI-30-XVII-2 OUEST, ancien découpage 1/50000, Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT).

Annexe A: La méthode DRASTIC

Notations accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC (Lallemand Barres A., 1994).

<p align="center">D : distance à la nappe Epaisseur de la ZNS</p>		<p align="center">R : recharge Pluie efficace</p>	
Valeurs en mètres	Notation	Valeurs en mm	Notation
0 – 1,5	10	>25,5	9
1,5 – 4,5	9	17,5 – 25,5	8
4,5 – 9	7	10 – 17,5	6
9 – 15	5	5 – 10	3
15 – 22	3	0 – 5	1
22,5 – 30	2		
>30	1		
<p align="center">A : nature de la zone saturée</p>		<p align="center">S : nature du sol</p>	
Calcaire karstique	10	Peu épais ou absent	10
Basalte	9	Gravier	10
Sable et gravier	8	Sable,	9
Calcaire massif	6	Argile, agrégats ou pentes	7
Grès massif	6	Limon sableux	6
Shales en séquence	6	Limon	5
Métamorphique altéré, grès	4	Limon silteux	4
lités, calcaires		Limon argileux	3
Métamorphique	3	Argile non agrégée et non	1
Shale massif	2	fissurée	
<p align="center">T : topographies, pentes</p>		<p align="center">I : nature de la ZNS</p>	
Valeurs en % de la pente	Notation		
0 - 2	10	Calcaire karstique	10
2 – 6	9	Basalte	9
6 – 12	5	Sable et gravier	8
12 – 18	3	Sable et gravier avec silt et argile	6
>18	1	Calcaire lité, grès, shale	6
		Grès	6
		Calcaire	6
		Shale	3
		Silt/argile	1
<p align="center">I : nature de la ZNS</p>			
		> 9,4 10 ⁻⁴ m/s	10
		4,7 10 ⁻⁴ - 9,4 10 ⁻⁴ m/s	8
		32,9 10 ⁻⁵ - 4,7 10 ⁻⁴ m/s	6
		14,710 ⁻⁵ - 32,9 10 ⁻⁵ m/s	4
		4,710 ⁻⁵ - 14,710 ⁻⁵ m/s	2
		4,710 ⁻⁷ - 4,710 ⁻⁵ m/s	1

Annexe B : Evolution de la population par dispersion

Tableau B.1 : Evolution de la population par dispersion de la commune de Tlemcen (U.R.B.A.T., 2010 ; Zerg A. et Bouchentouf S., 2008).

Dispersion	Pop. en 1987	Pop. en 1998	Taux d'accr. moy. 87/98	Pop. en 2004	Pop. en 2009	Prévision en 2014	Prévision en 2025
ACL Tlemcen	107632	120126	0,98 %	130546	140000	160000	170000
Koudia	2610	9427	12 %	12000	13000	13500	24000
Zone Eparsée	1346	1265	-0,5 %	1500	1555	1000	1000
Population Total de Tlemcen:	111588	130818	1,42 %	144046	154550	174500	195000

Tableau B.2 : Evolution de la population par dispersion de la commune de Chetouane (U.R.B.A.T., 2010 ; Zerg A. et Bouchentouf S., 2008).

Dispersion	Pop. en 1987	Pop. en 1998	Taux d'accr. moy. 87/98	Pop. en 2004	Pop. en 2009	Prévision en 2014	Prévision en 2025
ACL Chetouane	6745	14749	7,20 %	17085	23000	24000	28000
Ouzidane	5289	10376	6,17 %	11000	15000	16250	17000
Ain El Houtz	4066	4667	1,23 %	5000	5100	5200	5500
Saf Saf	2038	3133	3,89 %	3200	3350	3800	4500
M'Dig Sidi Aissa	875	1920	7,32 %	2000	2300	2400	3000
Zone Eparsée	1819	237	-16,56 %	250	300	350	500
Total commune Chetouane	20832	35082	4,74 %	38535	49250	52000	58500

ANNEXES :

Tableau B.3 : Evolution de la population par dispersion de la commune du Mansourah (U.R.B.A.T., 2010 ; Zerg A. et Bouchentouf S., 2008).

Dispersion	Pop. en 1987	Pop. en 1998	Taux d'accr. moy. 87/98	Pop. en 2004	Pop. en 2009	Prévision en 2014	Prévision en 2025
ACL Mansourah	19250	34235	5,25 %	36303	47000	50000	64000
Mansourah	365	738	6,45 %	750	800	1300	2000
Zone Eparsé	335	262	-2,16 %	300	400	450	500
Population Total de Mansourah	19950	35235	5,18 %	37353	48200	51700	66500

Tableau B.4 : Evolution de la population par dispersion de la commune du Béni Mester (U.R.B.A.T., 2010 ; Zerg A. et Bouchentouf S., 2008).

Dispersion	Pop. en 1987	Pop. en 1998	Taux d'accroissement moyen global 87/98	Pop. en 2007	Pop. en 2008
ACL Beni Mester	3097	4164	2,66 %	/	/
Zelboun	4935	5345	0,71 %	/	/
Ain Douz Sud	1828	783	-7,25 %	/	/
Ain Douz Nord	--	1790	--	/	/
Ouled Ben Heddi	1140	1387	1,47 %	/	/
Tizghanit	1303	1392	0,58 %	/	/
Zone Eparsé	2406	268	-17,72 %	/	/
Total commune Beni Mester	14709	15708	0,59 %	17340	18 651

Annexe C : Les fiches techniques des barrages

La fiche technique de barrage Meffrouch:

- *Date de construction* : 1957-1963.
- *Hydrologie* :
 - Superficie du bassin de l'oued Nachef : 90Km².
 - Apport moyen annuel : 21Hm³.
 - Pluviométrie moyenne annuelle : 675mm.
- *Caractéristiques du barrage* :
 - Cote de la retenue max : 1125.46m.
 - Cote de la retenue normale : 1122.00m.
 - Cote du fond de l'ouvrage : 1100m.
 - Volume de la retenue normale : 15H m³.
 - Capacité théorique de la retenue =15mm /an
 - Longueur de la crête de l'ouvrage : 531m.
 - Nombre de voutes : 17.
 - Nombre de contre forts : 18.
 - Prise de charge par cinq viroles cylindriques étagées.
 - Déversoirs de surface au niveau de chaque contre fort(08) évacuateurs de crues pour un débit de : 720m³/s.
 - Vidange du fond : 16m³/s (Berrahma B., 2009 ; Zerg A. et Bouchentouf S., 2008).

La fiche technique de Barrage Beni Bahdel:

- Le barrage de Béni Bahdel est construit sur l'oued Tafna et l'oued de Khemis, affluent important de Oued Tafna en rive gauche.
- Le barrage est constitué d'un barrage principal et de deux digues : la digue du col Nord et celle du col de la route (Bechir Hisseine O, 2006).
- *Hydrologie* :
 - Superficie du bassin versant : 1016 Km².
 - Apport moyen annuel : 77 Hm³.
 - Pluviométrie moyenne annuelle : 600 mm.
 - Altitudes moyenne = 645,25m (Zerg A. et Bouchentouf S., 2008).
- *Caractéristiques Barrage* :
 - Cote de la retenue maximale : 654,37m.
 - Cote de la retenue normale : 654,27 m.
 - Cote du fond de l'ouvrage : 599,25 m.
 - Hauteur de la retenue : 55 m.
 - Capacité théorique de la retenue =56 mm /an.

- Volume de la retenue normale : 60Hm³ envasé à 0,93%.
 - Superficie noyée : 365 Ha.
 - Longueur en crête de l'ouvrage principale : 350 m.
 - Nombre de voutes : 10
 - Nombre de contreforts : 11 (Bechir Hisseine O., 2006 ; Zerg A. et Bouchentouf S., 2008).
- *Ouvrages Annexes*
 - Prise d'eau constituée par cinq fenêtres étagées de débit : 6 m³/s.
 - Déversoirs de surface ou évacuateurs de crues la digue pour un débit de: 1200 m³/s.
 - Vidange du fond : 150 m³/s.
 - Longueur du tunnel de Bouhlou : 11,373 Lm.
 - Débit du tunnel : 6 m³/s.
 - Vanne secteur : 200 m³/s (Berrahma B., 2009).
- *Usine Hydro- Electrique Du Barrage*
 - Production énergie électrique : 3 Millions KW/an.
 - Bassin de Compensation de Bouhlou
 - Volume du bassin : 80 000 m³.
 - Superficie : 20 000 m² (Bechir Hisseine O., 2006).
- L'eau captée par le barrage avant qu'elle soit desservie à la consommation, est sujette un traitement au niveau de la station suivante :
- *Station de filtration de Bouhlou :*
 - 24 pré-filtres couvrant 3,672 m² et comportant une couche de 0,65 m chacun.
 - 48 filtres couvrant 7.345 m² et comportant une couche filtrante de 0.70 m chacun.
 - Bloc de régulation de bassins.
 - Capacité optimale de traitement de la station est de 12731/s soit 110 000 m³/j.
 - Procédé de filtration à sable à partir de 24 prés filtres puis 48 filtres (Bechir Hisseine O., 2006).
- *Conduite Bouhlou- Oran*
 - Brise Charges au nombre de : 08
 - Longueur de la conduite en diamètre d= 1100 mm : 170 Km (Bechir Hisseine O., 2006).

Annexe D : Les STEP dans le GUT**Tableau D.1:** Caractéristique de station d'épuration d'Ain El Houtz
(A.N.A.T., 2010).

STEP	Capacité Eq/hab	Capacité m³/j	Vol. Epuré	Date réalisation	Etat actuel	Procédé d'épuration	Rendement épuratoire (%)
Tlemcen Ain El Houtz	150 000	31018	10 000	2004	En service	Boues activées	86

Tableau D.2 : Caractéristiques des stations d'épuration en projet et en étude
(A.N.A.T., 2010).

S.T.E.P.	Agglomération	Etat de l'étude	Nature des eaux usée	Capacité Eq/ hab	Capacité m³/j	Type de procédé
GUT Hennaya	Mansourah, Tlemcen, Chetouane et Hennaya	En cours	Urbain	384000		Boue activé

Annexe G: Les valeurs de poids d'aléas

No.	Hazards	Weighting Value	Map Symbols		
			Marker	Line	Shade
1	Infrastructural development				
1.1	Waste Water				
1.1.1	urbanisation (leaking sewer pipes and sewer systems)	35			1
1.1.2	urbanisation without sewer systems	70			1
1.1.3	detached houses without sewer systems	45	1		
1.1.4	septic tank, cesspool, latrine	45	2		
1.1.5	sewer farm and waste water irrigation system	55	3		9
1.1.6	discharge from an inferior treatment plant	35	4		
1.1.7	surface impoundment for urban waste water	60	5		9
1.1.8	runoff from paved surfaces	25	6	1	
1.1.9	waste water discharge into surface water courses	45	7		
1.1.10	waste water injection well	85	8		
1.2	Municipal Waste				
1.2.1	garbage dump, rubbish bin, litter bin	40	9		8
1.2.2	waste loading station and scrap yard	40	10		8
1.2.3	sanitary landfill	50	11		8
1.2.4	spoils and building rubble depository	35	12		8
1.2.5	sludge from treatment plants	35	13		
1.3	Fuels				
1.3.1	storage tank, above ground	50	14		
1.3.2	storage tank, underground	55	15		
1.3.3	drum stock pile	50	16		
1.3.4	tank yard	50	17		11
1.3.5	fuel loading station	60	18		
1.3.6	gasoline station	60	19		
1.3.7	fuel storage cavern	65	20		
1.4	Transport and traffic				
1.4.1	road, unsecured	40		2	
1.4.2	road tunnel, unsecured	40	21		
1.4.3	road haulier depot	35	22		11
1.4.4	car parking area	35	23		11
1.4.5	railway line	30		3	
1.4.6	railway tunnel, unsecured	30	24		
1.4.7	railway station	35	25		
1.4.8	marshalling yard	40	26		
1.4.9	runway	35	27	2	
1.4.10	pipeline of hazardous liquids	60		4	
1.5	Recreational facilities				
1.5.1	tourist urbanisation	30	28		2
1.5.2	camp ground	30	29		2
1.5.3	open sport stadion	25	30		3
1.5.4	golf course	35	31		3
1.5.5	skiing course	25	32		3
1.6	Diverse hazards				
1.6.1	graveyard	25	33		10
1.6.2	animal burial	35	34		10
1.6.3	dry cleaning premises	35	35		
1.6.4	transformer station	30	36		
1.6.5	military installations and dereliction	35	37		13
2	Industrial activities				
2.1	Mining (in operation and abandoned)				
2.1.1	mine, salt	60	38		7
2.1.2	mine, other non-metallic	70	39		7
2.1.3	mine, ore	70	40		7
2.1.4	mine, coal	70	41		7
2.1.5	mine, uranium	80	42		7
2.1.6	outdoor stock piles of hazardous raw material	85	43		6
2.1.7	ore milling and enrichment facilities	70	44		
2.1.8	mine waste heap and dirt refuse	70	45		6
2.1.9	ore tailings	70	46		6
2.1.10	mine drainage	65	47	5	
2.1.11	tailing pond	65	48		6
2.2	Excavation sites				
2.2.1	Excavation and embankment for development	10	49		
2.2.2	gravel and sand pit	30	50		12
2.2.3	quarry	25	51		12

ANNEXES :

No.	Hazards	Weighting Value	Map Symbols		
			Markersymbol-Number	Linesymbol-Number	Shadesymbol-Number
2.3	Oil and gas exploitation				
2.3.1	production wells	40	52		
2.3.2	re injection wells	70	53		
2.3.3	loading station	55	54		
2.3.4	oil pipeline	55		4	
2.4	Industrial plants (none mining)				
2.4.1	smelter	40	55		4
2.4.2	iron and steel works	40	56		4
2.4.3	metal processing and finishing industry	50	57		4
2.4.4	electroplating works	55	58		4
2.4.5	oil refinery	85	59		4
2.4.6	chemical factory	65	60		4
2.4.7	rubber and tyre industry	40	61		4
2.4.8	paper and pulp manufacture	40	62		4
2.4.9	leather tannery	70	63		4
2.4.10	food industry	45	64		4
2.5	Power plants				
2.5.1	gasworks	60	65		4
2.5.2	caloric power plants	50	66		4
2.5.3	nuclear power plant	65	67		4
2.6	Industrial storage				
2.6.1	stock piles of raw materials and chemicals	60	68		
2.6.2	containers for hazardous substances	70	69		
2.6.3	cinder tip and slag heaps	70	70		5
2.6.4	non hazardous waste site	45	71		5
2.6.5	hazardous waste site	90	72		5
2.6.6	nuclear waste site	100	73		5
2.7	Diverting and treatment of waste water				
2.7.1	waste water pipelines	65		5	
2.7.2	surface impoundment for industrial waste water	65	74		9
2.7.3	discharge of treatment plants	40	75		
2.7.4	waste water injection well	85	76		
3	Livestock and Agriculture				
3.1	Livestock				
3.1.1	animal barn (shed, cote, sty)	30	77		
3.1.2	feedlot	30	78		
3.1.3	factory farm	30	79		
3.1.4	manure heap	45	80		
3.1.5	slurry storage tank or pool	45	81		
3.1.6	area of intensive pasturing	25			14
3.2	Agriculture				
3.2.1	open silage (field)	25	82		
3.2.2	closed silage	20	83		
3.2.3	stockpiles of fertilisers and pesticides	40	84		
3.2.4	intensive agriculture area (with high demand of fertilisers and pesticides)	30	85		14
3.2.5	allotment garden	15	86		14
3.2.6	greenhouse	20	87		14
3.2.7	waste water irrigation	60	88		14

Annexe H : Les symboles de la carte d'aléa

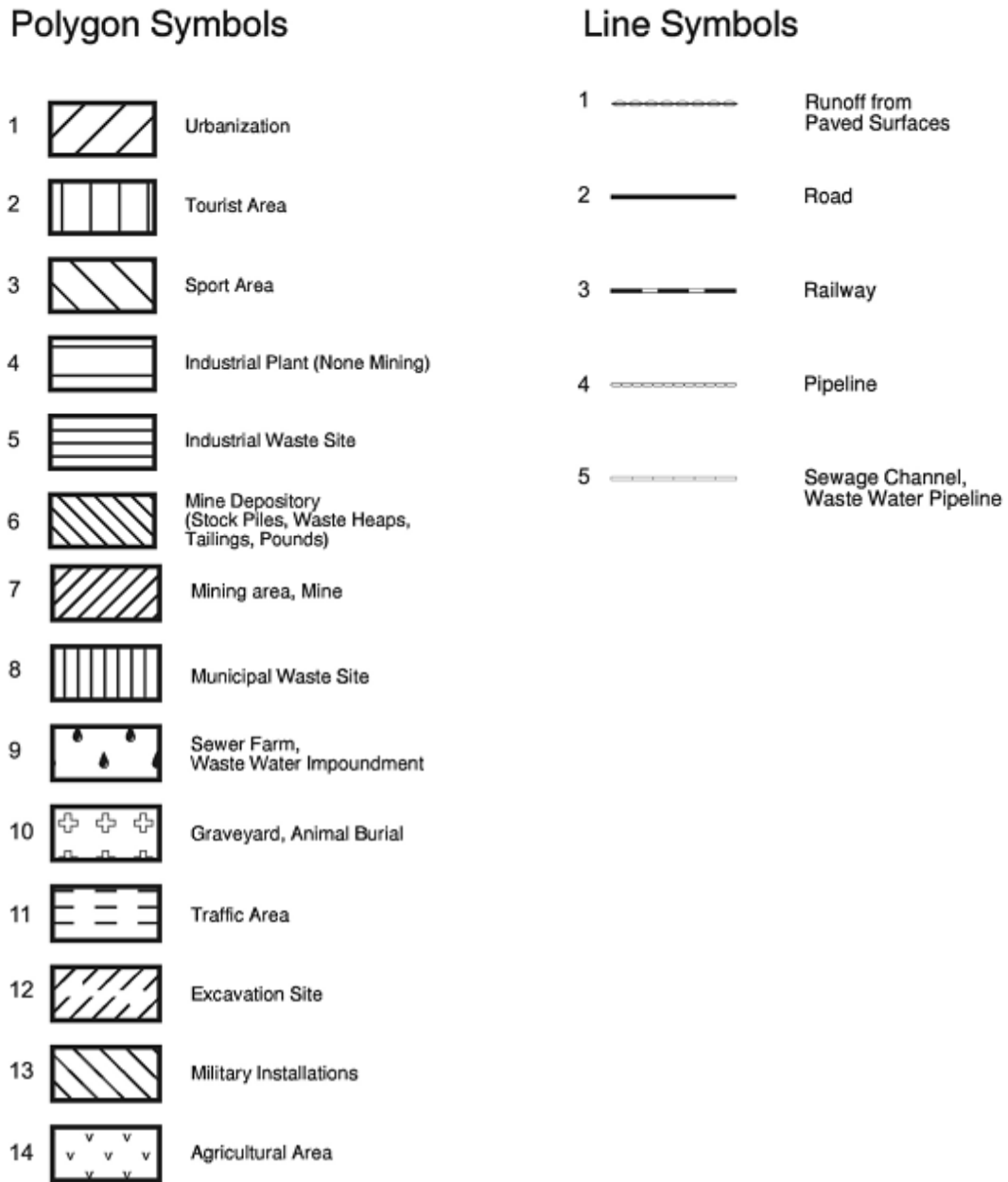



Figure H.1: Les symboles de polygones et de lignes de la carte d'aléa.

Point Symbols (1)

1		Detached house without sewer system	24		Railway tunnel, unsecured
2		Septic tank, cesspool, latrine	25		Railway station
3		Sewer farm and irrigation system	26		Marshalling yard
4		Discharge from inferior treatment plant	27		Runway
5		Surface impoundment for waste water	28		Tourist centre
6		Runoff from paved surfaces	29		Camp ground
7		Waste water discharge into surface water courses	30		Open stadium
8		Waste water injection well	31		Golf course
9		Garbage dump, rubbish bin, litter bin	32		Skiing course
10		Waste loading Station and scrap yard	33		Graveyard
11		Sanitary landfill	34		Animal burial
12		Spoils and building rubble depository	35		Dry cleaning premises
13		Sludge from treatment plants	36		Transformer station
14		Storage tank, above ground	37		Military installations and dereliction
15		Storage tank, underground	38		Mine, salt
16		Drum stock pile	39		Mine, other non-metallic
17		Tank yard	40		Mine, ore
18		Fuel loading station	41		Mine, coal
19		Gasoline station	42		Mine, uranium
20		Storage cavern, underground	43		Outdoor stock piles of hazardous raw materia
21		Road tunnel, unsecured	44		Ore milling and enrichment facilities
22		Road haulier depot	45		Mine waste heap and dirt refuse
23		Car parking area, unsecured	46		Ore tailings

Point Symbols (2)

47		Mine drainage	70		Cinder tip and slag heaps
48		Tailings pond	71		Non hazardous waste sites
49		Excavation and embankment for development	72		Hazardous waste sites
50		Gravel and sand pit	73		Nuclear waste sites
51		Quarry	74		Surface impoundment for waste water
52		Production wells	75		Discharge of treatment plants
53		re injection wells	76		Waste water injection well
54		Loading station	77		Animal barn (shed, cote, sty)
55		Smelter	78		Feedlot
56		Iron and steel works	79		Factory farming
57		Metal processing and finishing industry	80		Manure heap
58		Electroplating works	81		Slurry storage tank or pool
59		Oil refinery	82		Open silage (field)
60		Chemical factory	83		Closed silage
61		Rubber and tyre industry	84		Stockpiles of fertilizers and pesticides
62		Paper and pulp manufacture	85		Intensive agriculture area
63		Leather tannery	86		Allotment garden
64		Food industry	87		Greenhouse
65		Gasworks	88		Waste water irrigation
66		Caloric power plant			
67		Nuclear power plant			
68		Stock piles of raw material and chemicals			
69		Containers for hazardous substances			

Figure H.2 : Les symbole points de la carte d'aléa