

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

ZIDI ALLAL Abd Erraouf

OMANI Oualid

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : **hydraulique**

Option : **Ressources hydrauliques**

Thème :

Etude comparative des méthodes de détermination des périmètres de protection de forage

Devant le jury composé de :

MERIDJA Madani	M.C.B	UAMOB, ST	President
ABAD Mourad	M.A.A	UAMOB, ST	Examineur 1
Kara Ben yakhlef	M. A.A	UAMOB, ST	Examineur 2
KHALDI Ramzi	M.A.A	UAMOB, ST	Encadreur

Année Universitaire 2017/2018

Remerciements

En premier lieu, on remercie *Dieu* tout puissant et miséricordieux de nous ‘avoir donné santé, courage, volonté et patience pour avoir réalisé ce travail.

Nous tenons à exprimer toute une grande reconnaissance à l’endroit de notre encadreur Ms **KHALDI Ramzi** qui n’a cessé de suivre chacun de nos pas tout au long de ce projet, pour ces encouragements, ces conseils sa rigueur dans le travail et surtout ses qualités humaine qui nous ont permis de travailler avec confiance dans un climat détendu.

Nous portons nos vifs remerciements nos enseignants qui nous ont accordé leur confiance et grâce à eux on a appris énormément de choses. Nos sincères remerciements aux :

- toute personne qui a participé de près ou de loin à l’exécution de ce modeste travail.

Dédicaces

Je m'incline devant ALLAH tout puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir.

Je dédie ce modeste travail :

- ✓ A ma chère et tendre grand-mère ; la source d'affection pour toute la famille qui m'a autant encouragé pour me voir atteindre ce jour.
- ✓ A mes très chers parents qui m'ont apporté leur soutien moral avec un tant d'amour et d'affection et qui ont souffert sans se plaindre pour nous élever et nous éduquer.
 - ✓ A mes cher frère Tarek sa femme, kacim et Abd El Moumen
 - ✓ A mes deux famille ZIDI ALLAL et BOULOUZA.
 - ✓ A tous ceux et celles que j'aime et qui m'aiment.
 - ✓ A toute personne proche de mon cœur.
 - ✓ A toute ma famille et mes proches
 - ✓ A toute la promo 2017-2018.

ZIDI ALLAL Abd Erraouf

Dédicaces

Je dédie ce travail à Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et mes sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

OMANI Oualid

Table des matières

Chapitre I

Etude bibliographique

Liste des figures	vii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des abréviations.....	x
Introduction générale	1
1.1. Introduction	2
1.2. Problématique.....	2
1.3. L'eau souterraine	3
1.4. Les captages d'eaux.....	4
1.4.1. Le puits.....	4
1.4.2. Le forage	5
1.4.3. Les sources	6
1.5. L'aquifère	6
1.5.1. Aquifère en roches meubles	7
1.5.2. Aquifère en roche karstique	7
1.6. La protection des eaux.....	9
1.6.1. La protection de l'eau en Algérie.....	9
1.5. Définition des périmètres de protection.....	11
1.5.1. Périmètre de protection immédiate (PPI)	11
1.5.2. Périmètre de protection rapprochée (PPR).....	12
1.5.3. Périmètre de protection éloignée (PPE)	13
1.6. Objectif des périmètres de protection	14
1.7. Périmètre de protection selon le type d'aquifère	14
1.7.1. Aquifère en roches meubles	14

1.7.2.	Aquifère en roche fissurée.....	14
1.7.3.	Aquifère en roche karstique	15
1.8.	Les critères de délimitation des zones de protection	16
1.8.1.	Temps de transport	18
1.8.2.	Limites d'écoulement	18
1.8.3.	Capacité d'atténuation du sol.....	18
1.9.	Transfert des polluants dans les eaux souterraines	19
1.9.1.	Mécanismes de transfert des polluants dans les eaux souterraines	20
1.10.	Elaboration des périmètres de protection.....	20
1.11.	Réglementation des activités à l'intérieur des périmètres.....	22
1.12.	Les méthodes de détermination des périmètres de protection	23
1.13.	Conclusion	25

Chapitre II

Application des méthodes de détermination des périmètres de protection des forages

2.1.	Introduction	26
2.2.	Plateau d'el Asnam et le réseau piézométrique	26
2.3.	Situation géographique et géomorphologique	27
2.3.1.	Aperçu climatique	27
2.4.	Géologie et hydrogéologie.....	28
2.4.1.	Aperçu géologique	28
2.4.2.	Hydrogéologie.....	29
2.5.	La nappe de poudingue.....	29
2.5.1.	Structure de la nappe des poudingues	29
2.5.2.	Chimie des eaux	29
2.6.	Choix des méthodes.....	30
2.6.1.	Méthodes avec calculs simples	31
2.6.2.	Cartographie hydrogéologique :	38

2.6.3. Méthodes combinées.....	39
2.6.4. Modèles semi-analytiques.....	41
2.6.5. Modèles numérique.....	42
2.7. Conclusion	43

Chapitre II

Application sur WhAEM et comparaison des méthodes de protection

3.1.Introduction.....	45
3.2. WHAEM 2000.....	45
3.3. Utilisation WHAEM :.....	45
3.3. Comparaison entre les méthodes de protection	49
3.4.Conclusion.....	52
Conclusion générale.....	52
Annexe I.....	53
Annexe II.....	54
Annexe III	56
Annexe IV	58
Annexe IV	61
Référence Bibliographique.....	63

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I. 1: puits en maçonnerie.....	5
Figure I. 2: forage en nappe libre (BRGM).....	5
Figure I. 3 : Source.....	6
Figure I. 4: Différent types d'aquifère et de captage des eaux.....	8
Figure I. 5:Le Périmètre de protection immédiate.	12
Figure I. 6:Le périmètre de protection rapprochée.....	13
Figure I. 7:Périmètre de protection éloignée.	13
Figure I. 8:Délimitation de périmètre de protection immédiat (PPI) dans le cas d'une fracture directement drainée par le forage.	15
Figure I. 9: Relation entre la zone d'influence (ZI), la zone de contribution (ZC), la zone de transport (ZT) et la zone d'atténuation (ZA), (d'après USEPA 1987).	17
Figure I. 10 :Délimitation pratique des zones de protection.	19
Figure I. 11: Schéma simplifié de migration des polluants dans les formations géologiques .	20
Figure I. 12: Organigramme pour l'élaboration des périmètres de protection des ressources en eau souterraines	21
Figure I. 13: Diagramme explicatif pour la délimitation des périmètres de protection des forages	24

Chapitre II :

Figure II. 1:Plateau d'el Asnam et le réseau piézométrique	26
Figure II. 2: Situation géographique d'el Asnam	27
Figure II. 3: Extrait de la carte géologique du plateau d'el Asnam	28
Figure II. 4:Zone de contribution déterminée par l'équation d'écoulement	35
Figure II. 5:Forme générale des PDP déterminée par les équations d'infiltration et du cylindre	37
Figure II. 6:La détermination d'un périmètre de protection par la méthode 3A2E	41

Chapitre III :

Figure III. 1:Ecran de démarrage de whaem 2000	46
Figure III. 2: Start whaem 2000	46
Figure III. 3: Menu barre de whaem2000	47
Figure III. 4: Boite de dialogue	47

Figure III. 5:Boite de dialogue	48
Figure III. 6:Périmètres de protection des forages	48
Figure III. 7:PDP rapproché et éloignée de forage bis el Asnam.....	49

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I. 1: Synthèse des procédures de protection des eaux souterraines (Bussard, 2005) . 10

Chapitre II :

Tableau II. 1: Méthodes de détermination des PDP utilisées pour les puits et forage **Erreur !**

Signet non défini.

Tableau II. 2: Caractéristique des forages 33

Tableau II. 3: Les cordons des forages H14, H17 34

Tableau II. 4: Caractéristiques des forages 37

Tableau II. 5: Calculs de périmètre de protection 38

Tableau II. 6: Calcul effectuée pour la méthode 3A2E 40

Chapitre III :

Tableau III. 1: La superficie de PDP rapproché et éloigné 50

Tableau III. 2: Comparaison entre les méthodes de calcul 51

Liste des abréviations

PDP	Périmètre De Protection
PPI	Périmètre de protection immédiate
PPR	Périmètre de protection rapproche
PPE	Périmètre de protection éloigné
USEPA	United states Environnemental Protection Agency
MENV	Ministère de l'Environnement du Québec
WHPA	wellhead protection area
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Ministères de France
USEPA	L'United States Environmental Protection Agency
ZP	Zone de protection
ZI	Zone immédiate
ZII	Zone rapproche
ZIII	Zone éloigné
ZT	Zone de transport
ZC	zone de contribution
ZA	zone d'atténuation
R	rayon du périmètre de protection(m)
T	temps de transport (jour)
B	épaisseur stature de l'aquifère
N	porosité (sans unité)
X , Y	Coordonnées spatial cartésiennes(m)
I_{reg}	gradient hydraulique régionale
i_{loc}	gradient hydraulique locale
V_{moy}	la vitesse moyenne (m /S)
D	Distance entre l'ouvrage de captage et la limite du périmètre de protection (m)
Δl	Variation de charge hydraulique pour évènement de recharge(m)
B	la largeur de la zone de contribution au niveau du forage
A	la distance à la limite aval
L	la largeur maximale

Introduction générale

Ces dernières années, la qualité des eaux souterraines a connu une forte altération à cause des nombreux foyers de pollution à savoir les rejets d'eaux usées domestiques, industrielles et l'utilisation intensive des engrais.

Pour cela, l'établissement des périmètres de protection autour des captages d'eaux est indispensable pour la préservation des ressources d'eaux contre la pollution.

Le travail développé dans ce mémoire consiste à une étude comparative des méthodes de détermination des périmètres de protection applique pour certain forage du plateau el Asnam.

Notre travail s'articulera autour de trois chapitres. Le premier chapitre consiste à une étude bibliographique. Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude du contexte géographique, géologique, hydrogéologique de la zone de l'Asnam avec l'application des méthodes de détermination des périmètres de protection des forages, et le dernier chapitre, sera réservé pour logiciel WHAEM et la comparaison des méthodes de détermination des périmètres de protection.

Enfin une conclusion clôturera le travail.

Chapitre 1: Etude bibliographique

1.1. Introduction

L'eau est une ressource indispensable à la vie, bien que sa partie souterraine, est cachée et invisible, fragile et souvent vulnérable aux nombreuses sources de contamination découlant des activités humaines, pour cette raison sa protection est une nécessité fondamentale.

La gestion des sources potentielles de contamination contenues à l'intérieur de périmètres de protection (PDP) déterminés autour des ouvrages de captage constitue une solution efficace de préservation de la qualité de l'eau souterraine. Le principal but de la gestion des sources potentielles de contamination contenues à l'intérieur des PDP est d'assurer la protection (qualité) de l'eau souterraine alimentant un ouvrage de captage de manière à permettre son exploitation durable [1].

1.2. Problématique

Les activités humaines sont souvent la cause de la dégradation des sources d'eau potable. Depuis plusieurs années, certaines municipalités ont connu des problèmes de qualité de leur eau souterraine suite à la contamination par des agents polluants tels les chlorures, l'aldicarbe, les hydrocarbures et les nitrates, Certains ouvrages de captage municipaux ont même dû être abandonnés suite à de telles contaminations, la gestion des sources potentielle de contamination contenues à l'intérieur de périmètre de protection déterminée au tour des ouvrages de captage constitue une méthode efficace de préservation de la qualité de l'eau souterraine.

Le principal but de la gestion des sources potentielles de contamination contenues à l'intérieur des Périmètres De Protection est d'assurer la protection (qualité) de l'eau souterraine alimentant un ouvrage de captage particulier de manier à permettre son exploitation durable, afin de faciliter cette gestion, une démarche logique constituée de plusieurs étapes est généralement proposée.

- Constitution d'un comité de planification composé d'intervenants d'organismes privés et publics pour la mise en place d'un programme de protection de l'eau souterraine.
- Détermination des périmètres de protection autour des ouvrages de captage d'eau souterraine considérés, Des techniques plus ou moins complexes peuvent être utilisées en fonction du contexte hydrogéologique.

- Identification et localisation des sources potentielles de contamination à l'intérieur des périmètres De protection à cette étape, une liste des infrastructures et des activités susceptibles d'engendrer une détérioration de la qualité des eaux souterraines est dressée.
- Gestion des aires de protection, les techniques de gestion peuvent varier, une simple restriction des activités dans le Périmètre de protection à la mise en place d'un programme détaillé de prévention et d'information des citoyens.
- Planification à long terme de l'approvisionnement en eau souterraine cette étape porte, entre autres, sur l'efficacité à long terme du plan de protection mis en œuvre ainsi que sur l'identification des sources alternatives d'approvisionnement en eau potable dans l'éventualité d'une contamination.

Un périmètre de protection est défini par le territoire comprenant la surface et le sous-sol autour d'un ou de plusieurs ouvrages de captage (puits ou sources) et à l'intérieur duquel des contaminants peuvent migrer et éventuellement contaminer le ou les ouvrages de captage, les Périmètre De Protection sont généralement divisés en trois ou quatre zones à l'intérieur desquelles des restrictions, des interdictions sont imposés pour différentes activités humaines.

1.3. L'eau souterraine

Les eaux souterraine remplissent entièrement les interstices d'un terrain poreux et perméable (l'aquifère) de telle sorte qu'il y ait toujours liaison par l'eau entre les pores.

Une nappe se forme par accumulation de l'infiltration au-dessus d'un terrain imperméable qui interdit leur progression vers le bas. L'eau remplit par gravité toutes les cavités accessibles du terrain jusqu'à un niveau dit surface libre, qui est la surface à laquelle l'eau se stabiliser dans le puits.

L'eau remplit encore un peu plus haut, les pores de roche jusqu'à un niveau appelé surface de la nappe, cette tranche de terrain ou toutes les cavités accessible sont remplies d'eau est appelée zones de saturation, Au-dessus, vient une zone saturée ou zone d'aération, ou circulent des eaux vadoses, et vers le bas de laquelle l'eau monte par capillarité, la partie contenant de l'eau capillaire et la frange capillaire, ce type de nappe est appelé nappe libre par opposition aux nappe captive, ou nappe artésienne, qui sont emprisonnées entre deux terrains imperméable et ne comprennent qu'une zone saturée [5].

1.4. Les captages d'eaux

Un ouvrage de captage d'eau souterraine est une installation qui permet de puiser l'eau à partir des nappes d'eau souterraine qui se situent sous la surface du sol, généralement on distingue les captages individuels, qui sont destinés à alimenter une résidence isolée, des captages collectifs, destinés à alimenter plus de 20 personnes, ces deux types de captage sont traités différemment dans le Règlement, selon leur impact potentiel sur la santé humaine, certains captages d'eau souterraine (destinés à l'alimentation humaine ou non) prélèvent des volumes importants d'eau, ces prélèvements peuvent avoir des conséquences importantes sur les autres utilisateurs ou sur les eaux de surface. Pour cette raison, ils sont assujettis à des règles spécifiques.

Ces ouvrages permettant de capter les eaux souterraines, ou points d'eau, sont généralement des forages, des puits ou des sources.

La réalisation d'un ouvrage répond avant tout à un besoin, un usage auquel on le destine, cet usage peut être varié, On peut citer :

- la production d'eau pour la consommation humaine et animale (captages publics, puits domestiques, etc.).
- l'irrigation des cultures.
- les prélèvements industriels (eaux de procès, refroidissement, etc.).
- la surveillance des nappes (piézomètres et qu'altimètres).
- la géothermie.
- le thermalisme.
- la dépollution / lutte contre l'intrusion d'eau salée.
- les prélèvements / stockage d'hydrocarbures.

1.4.1. Le puits

Le puits est un ouvrage en général de profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100 m), d'un diamètre supérieur à 1.20 m, aux parois revêtues au moins partiellement de béton ou de maçonnerie. (Figure I.1)



Figure I. 1: puits en maçonnerie

1.4.2. Le forage

Le forage peut être peu profond, mais peut aussi aller chercher l'eau à plus de 1000 m, son diamètre est généralement plus faible que celui du puits et sa paroi est protégée par un tube en métal ou en matière plastique, et une cimentation entre terrain et tubage dans les premier mètres.(figure I.2)

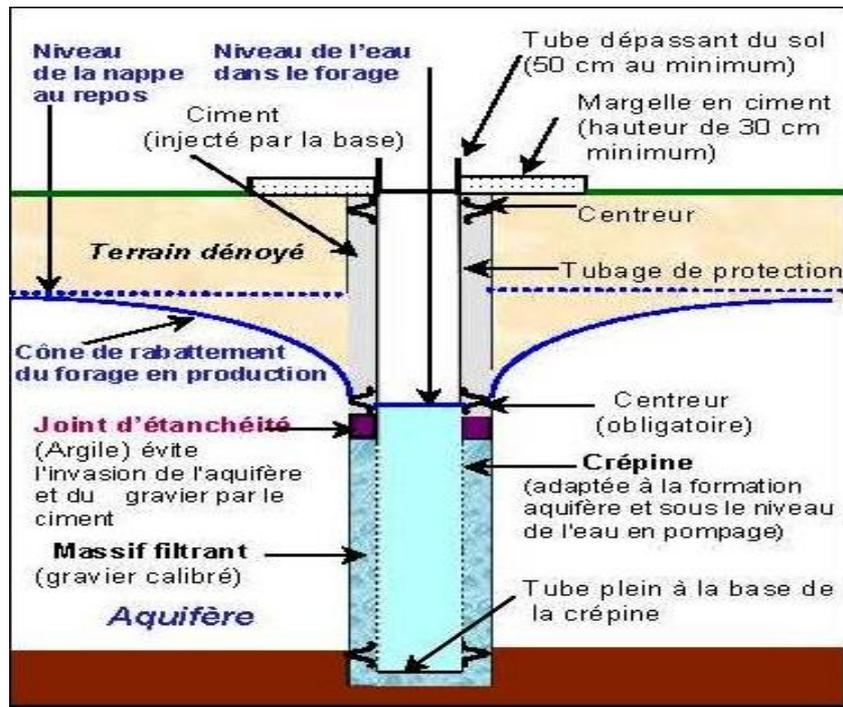


Figure I. 2: forage en nappe libre (BRGM)

1.4.3. Les sources

Les sources sont les exutoires naturels des nappes. Pendant longtemps, elles ont été captées sans être aménagées. L'eau était canalisée par gravité vers le lieu d'utilisation.

Les sources importantes sont maintenant le plus souvent aménagées, notamment par les chambres de captage et des dispositifs permettant le contrôle de la hauteur du seuil d'émergence, elles peuvent aussi comporter des drains ou des galeries drainantes.(figure I.3).



Figure I. 3 : Source

1.5. L'aquifère

Un aquifère est une formation géologique ou une roche, suffisamment poreuse et/ou fissurée (pour stocker de grandes quantités d'eau) tout en étant suffisamment perméable pour que l'eau puisse y circuler librement.

On distingue d'une manière générale trois types d'aquifère :

1.5.1. Aquifère en roches meubles

Les aquifères en roches meubles sont caractérisés par une structure et une granulométrie très irrégulières. Leur perméabilité, leur capacité de filtration et leur capacité d'emmagasinement varient donc rapidement d'un point à l'autre (figure I.4).

La délimitation de périmètre de protection dans un aquifère en roche meuble est définie à partir des données hydrogéologiques (extension de l'aquifère, relation avec des réservoirs latéraux). Cela nécessite au minimum de connaître le sens de circulation des eaux souterraines dans tous les contextes hydrologiques (basses à hautes eaux). Le gradient de la nappe, ainsi que l'aire d'influence du captage, ou tout au moins les indications quant à l'extension du cône de rabattement en pompage pour les puits et forages Aquifère en roche fissurée. [5]

Dans les aquifères fissurés ou dits à porosité de fissure, l'eau suit les discontinuités ouvertes, diaclases, fractures et joints de stratification, qui forment un réseau continu plus ou moins ramifié. La vitesse d'écoulement dépend de l'ouverture des fissures, de leur fréquence et de leur degré d'interconnexion. La capacité d'emmagasinement reste le plus souvent faible [5].

Ils présentent un réseau de discontinuités principales caractérisées par des perméabilités élevées, jouant le rôle de transfert d'eau et de drainage vers les zones d'exutoire (figure I.4).

Le dimensionnement des zones de protection des eaux souterraines est déterminé par la vulnérabilité du bassin d'alimentation des captages à protéger.

1.5.2. Aquifère en roche karstique

Les réservoirs aquifères les plus productifs se trouvent dans les roches meubles grossières et poreuses, la classification selon la capacité de production est effectuée principalement en fonction de l'épaisseur de la zone saturée («zone saturée exploitable»). Les autres critères tels que la perméabilité, la lithologie et l'interaction avec les eaux de surface sont aussi pris en compte. Les éboulis grossiers ainsi que les graviers peu limoneux en bordure de vallée et en dehors des fonds de vallée peuvent aussi posséder une bonne perméabilité et une grande puissance; cependant, ils sont souvent en grande partie drainés et ne sont donc classés que comme «productifs». Les réservoirs aquifères en terrain morainique et dans les éboulis fins à moyens sont qualifiés de «peu productifs».

Les régions sans réservoirs aquifères productifs sont caractérisées par la présence d'argiles, de limons, de sables fins et de moraine limoneuse, ou de couches de couverture imperméables.

Les calcaires et dolomies forment des aquifères caractérisés par une perméabilité extrêmement hétérogène et anisotrope. L'eau circule dans les petites fissures, les pores de la roche et dans des conduits de dimensions parfois importantes résultant de la dissolution de la matrice carbonatée (karst) (figure I. 4).

Les zones de protection des eaux souterraines sont dimensionnées sur la base des caractéristiques géologiques, géomorphologiques et hydrogéologiques du bassin d'alimentation des captages à protégé [5].

Afin de délimiter les périmètres de protection en milieu karstique, il est nécessaire d'identifier le système, de le caractériser et d'en définir la vulnérabilité

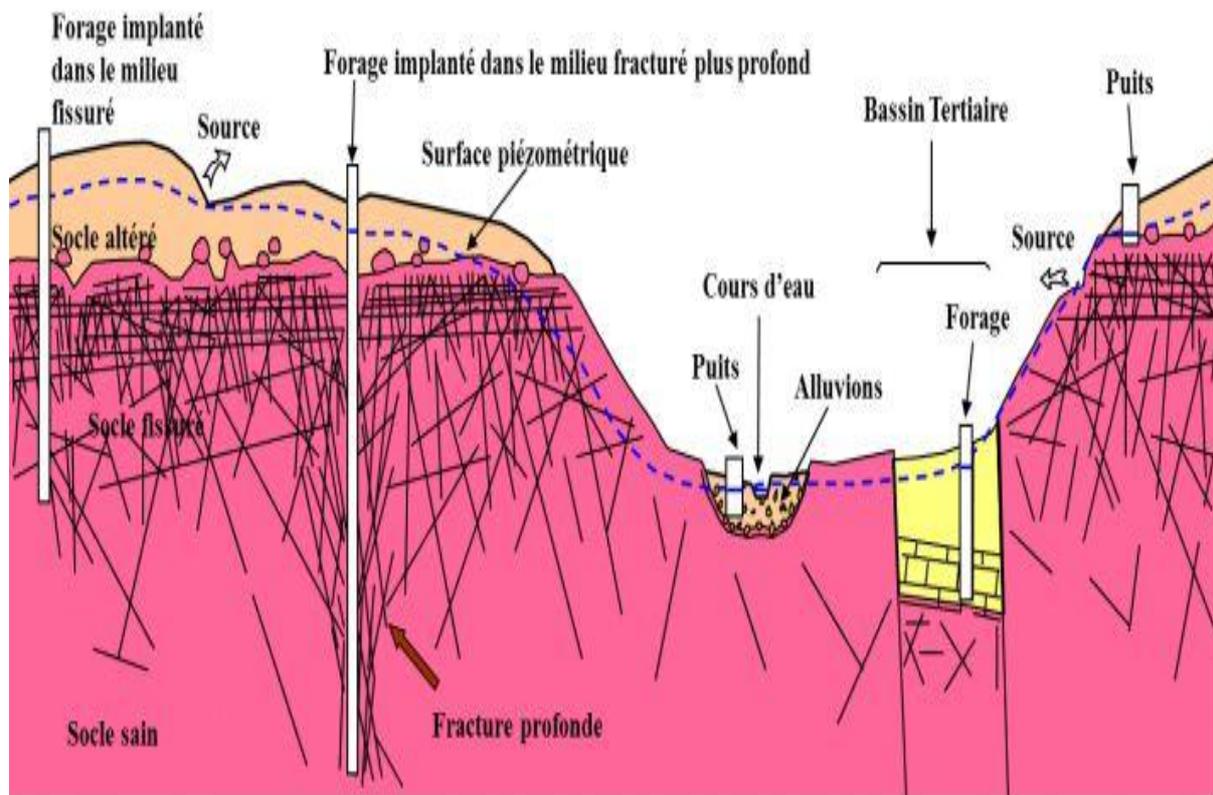


Figure I.4: Différent types d'aquifère et de captage des eaux

1.6. La protection des eaux

1.6.1. La protection de l'eau en Algérie

La protection de l'eau se fait tout d'abord par l'établissement de textes législatif qui règlementent et organisent le secteur de l'eau dans sa globalité. Ainsi des lois et des décrets sont mis en place pour protéger les ressources en eau mobilisées et destinées vers la consommation humaine. Dans ce qui suit passons en revue les différents textes législatifs qui ont touché le secteur de l'eau.

- Loi du 16 juillet 1983 porte le code des eaux, définit le périmètre de protection comme contour délimitant un domaine géographique et les activités à l'intérieur sont interdites ou règlementées.
- Loi du 4 aout 2005 relatif l'eau, fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau et montre la nécessité des périmètres de protection contre la pollution, la protection et la préservation des ressources en eau sont assurées par :
 - Des périmètres de protection quantitative.
 - Des plans de lutte contre l'érosion hydrique.
 - Des périmètres de protection qualitative.
 - Des mesures de prévention et de protection contre les pollutions.
 - Des mesures de prévention des risques d'inondations.
- Décret du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau, cette protection est assurée par trois types de protection :
 - Le périmètre de protection immédiate.
 - Le périmètre de protection rapprochée.
 - Le périmètre de protection éloignée.
- Décret du 6 février 2010 fixe les modalités de délimitation de périmètre de protection quantitative des nappes aquifères ainsi que les conditions spécifique d'utilisation de leurs ressources en eau.
- Décret du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, fixe les paramètres de qualité de l'eau de consommation ainsi que les modalités de contrôle de conformité.

- Décret du 25 avril 2012 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source par l'évaluation du périmètre de protection de la ressource.
- Décret du 28 août 2013 relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux de source par l'évaluation du périmètre de protection de la ressource.
- Décret du 4 mars 2014 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, fixe les valeurs pour certains paramètres organoleptiques physico-chimiques.

Les différents textes législatifs adoptés en Algérie pour la protection des ressources en eau sont limités et ne donnent pas des précisions sur les distances de l'instauration des différents types des périmètres de protection autour de captage d'eau [2].

Par contre, ces distances sont bien déterminées dans les pays développés. Comme suit dans le tableau suivant :

Tableau I. 1: Synthèse des procédures de protection des eaux souterraines (Bussard, 2005)

Région		Protection immédiate	Protection rapprochée	Protection Eloignée		
Amérique du nord	Québec	30 m	60 jours > 100 m	Bassin D'alimentation		
	Colombie brit		1 année	5 ans	10 ans	Bassin d'alim
	U.S.A	> 30 m (ZI)	>50 jours >150m(ZII)	> 15 ans (ZIII)		
Europe	Angleterre		50 jours >50 m (ZI)	400 jours 25% du bassin D'alim		Bassin d'alim (Z III)
	Allemagne	10 m (ZI)	50 jours (Z II)	2000 m (Z III)		Bassin d'alim (Z III)
	Danemark	10 m	300 m	Zp spécifique au site base Sur une Cartographie de vulnérabilité		Bassin D'alim

	France		Environ 50 jours	Zp non Obligatoire elle Peut Convertir une surface très Variable		
	Belgique	10 m	1 jours ou 35m autour d'un puits 25m de part et d'autre de l'axe de galerie	50 jours Ou 1000 m pour Un Aquifère De fissure ou Karstique 500 m pour Un aquifère Graveleux 100 m pour Un aquifère sableux		
	Pays-Bas		60 jours	10 ans >800 m	25 ans >1200 m	Bassin d'alim
	Suisse	10 m (SI)	10 jours >100 m (S2)	Extension double de la s2 (s3)		Aire Zu : zone qui contribue a environ 90% du débit Capté

1.5. Définition des périmètres de protection

Des périmètres de protection sont instaurés autour des captages, après une procédure technique et administrative, correspondent à un zonage établi autour des points de captage d'eau potable. Ils constituent le moyen privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution locale, ponctuelle et accidentelle qui peut altérer la qualité des eaux prélevées [9].

Les interdictions, prescriptions et recommandations sont proposées en conséquence.

Trois périmètres de protection sont définis selon la réglementation :

1.5.1. Périmètre de protection immédiate (PPI)

Le périmètre de protection immédiate (PPI) doit couvrir au minimum le captage et ses annexes (draines, galeries, bâti de protection, dalle bétonnée...), ainsi que les installations nécessaires à l'exploitation de l'ouvrage.

La zone de protection immédiate englobe le point de prélèvement ou les contraintes de pollution son for [8].

En effet, il vise à garantir la sécurité des installations de prélèvement contre toutes formes de détérioration et à empêcher des déversements ou des infiltrations de substances polluantes à l'intérieur ou à proximité du point de captage de l'eau.

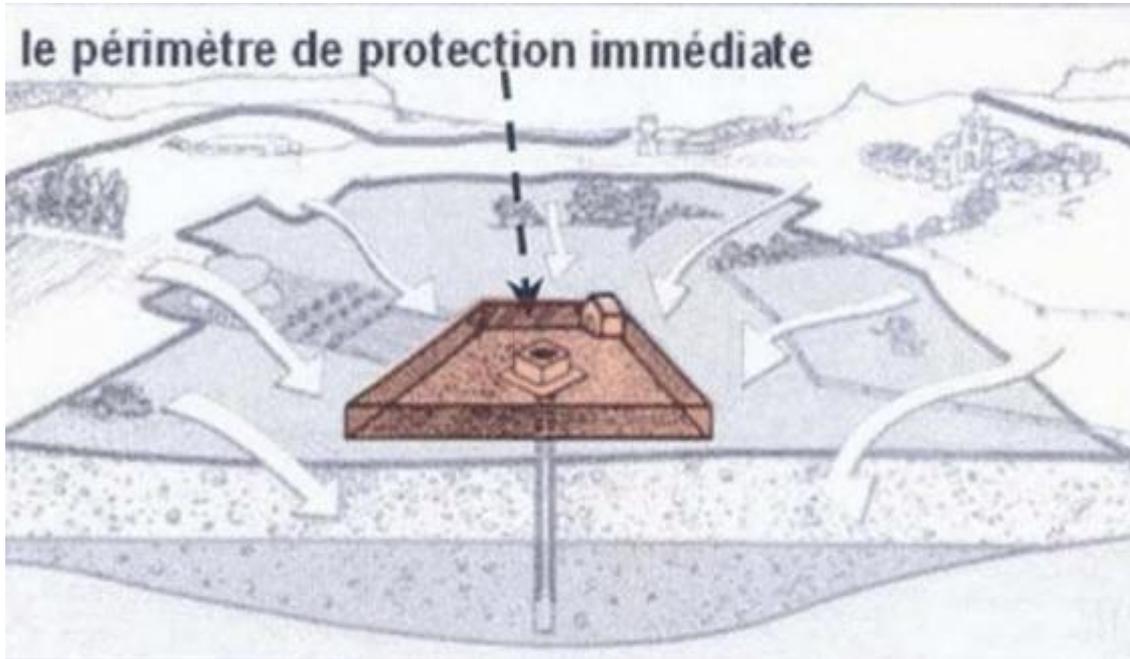


Figure I.5: Le Périmètre de protection immédiate.

1.5.2. Périmètre de protection rapprochée (PPR)

Le périmètre de protection rapprochée (PPR) a pour but de protéger efficacement vis-à-vis de la migration souterraine des substances polluantes

Selon (Nassah et omd, 2011), délimite le secteur dans lequel toute pollution ponctuelle ou accidentelle est susceptible d'attendre rapidement le captage soit par ruissellement superficiel, soit par migration souterraine des substances polluantes.

Le périmètre de protection rapprochée est déterminé en prenant notamment en compte :

- Les caractéristiques physiques de l'aquifère et de l'écoulement souterrain.
- Le débit maximal de pompage.
- La vulnérabilité.
- L'origine et la nature des pollutions contre lesquelles il est nécessaire de protéger les eaux souterraines.

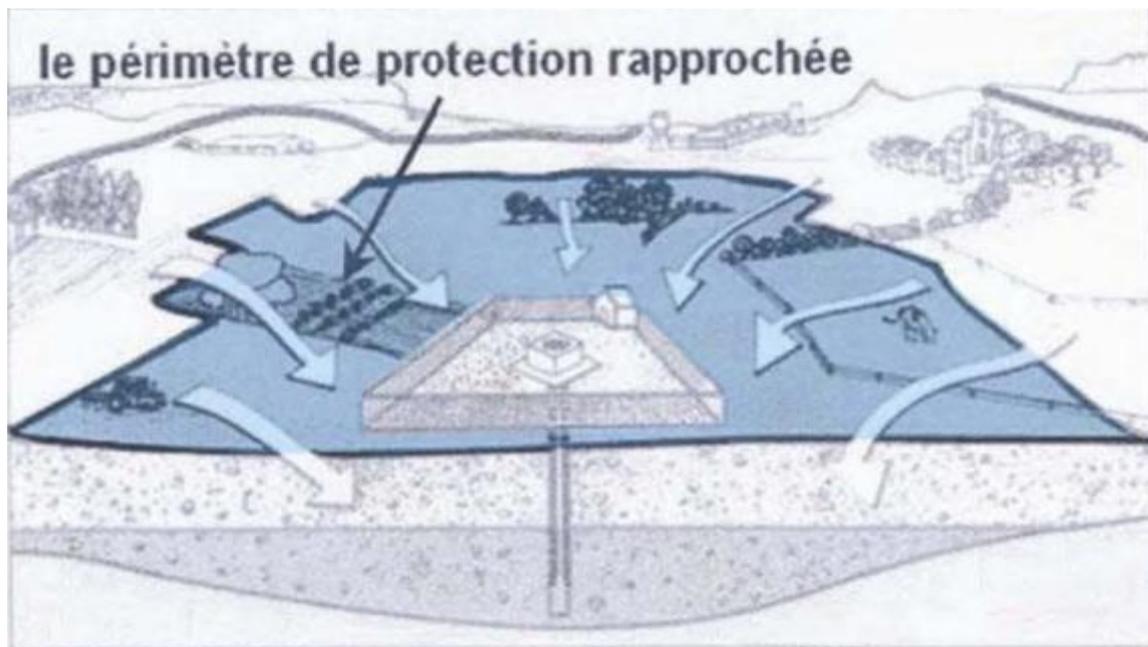


Figure I. 6: Le périmètre de protection rapprochée.

1.5.3. Périmètre de protection éloignée (PPE)

Le périmètre de protection éloignée correspond théoriquement à la totalité de l'aire (ou zone) d'alimentation de l'ouvrage, sa définition repose sur la délimitation de l'aire d'alimentation du captage à l'intérieur de laquelle les lignes de courant sont orientées vers l'ouvrage utilisé [5].

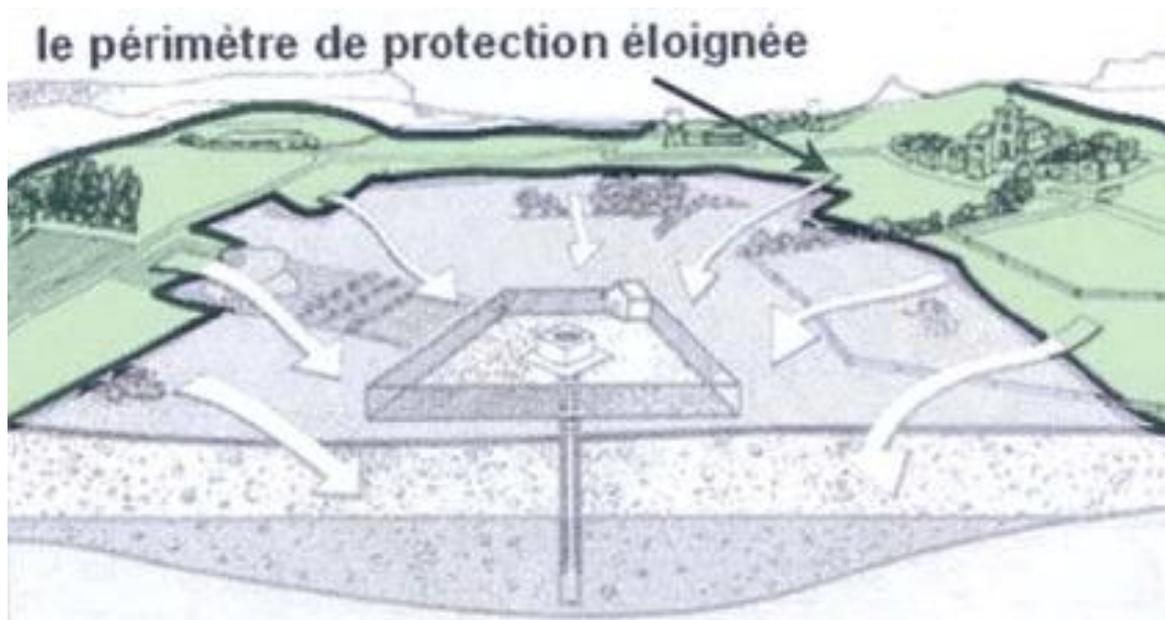


Figure I. 7: périmètre de protection éloignée.

1.6. Objectif des périmètres de protection

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

Les zones de protection doivent pouvoir servir pour une protection préventive ainsi que pour un assainissement, dans le cas d'une contamination des eaux captées. Le but est de disposer d'un outil permettant de définir des secteurs sensibles où des actions d'assainissement de grande efficacité pourront être proposées. Pour éviter de nouveaux problèmes de contamination des eaux souterraines et assurer un approvisionnement en eau de qualité, il est essentiel de mieux connaître la ressource et de la protéger.

1.7. Périmètre de protection selon le type d'aquifère

1.7.1. Aquifère en roches meubles

La limite du périmètre de protection immédiate doit se trouver à 10 m au moins au large de la partie la plus extérieure de l'ouvrage de captage. Pour un captage de source, cette distance peut être inférieure à 10 m du côté aval [9].

Le périmètre de protection rapprochée en roche meuble est dimensionné de telle sorte que le temps de séjour des eaux souterraines soit d'au moins 10 jours [9].

La délimitation du périmètre de protection éloignée doit couvrir le bassin d'alimentation du captage.

1.7.2. Aquifère en roche fissurée

Dans les aquifères fissurés ou dits à porosité de fissure, l'écoulement des eaux souterraines s'effectue le long des fractures, diaclases et failles.

Ils présentent un réseau de discontinuités principales caractérisées par des perméabilités élevées, jouant le rôle de transfert d'eau et de drainage vers les zones d'exutoire.

Le dimensionnement des zones de protection des eaux souterraines est déterminé par la vulnérabilité du bassin d'alimentation des captages à protéger, le Périmètre de protection immédiat sera agrandi pour inclure au moins 50 m le long de la fracture

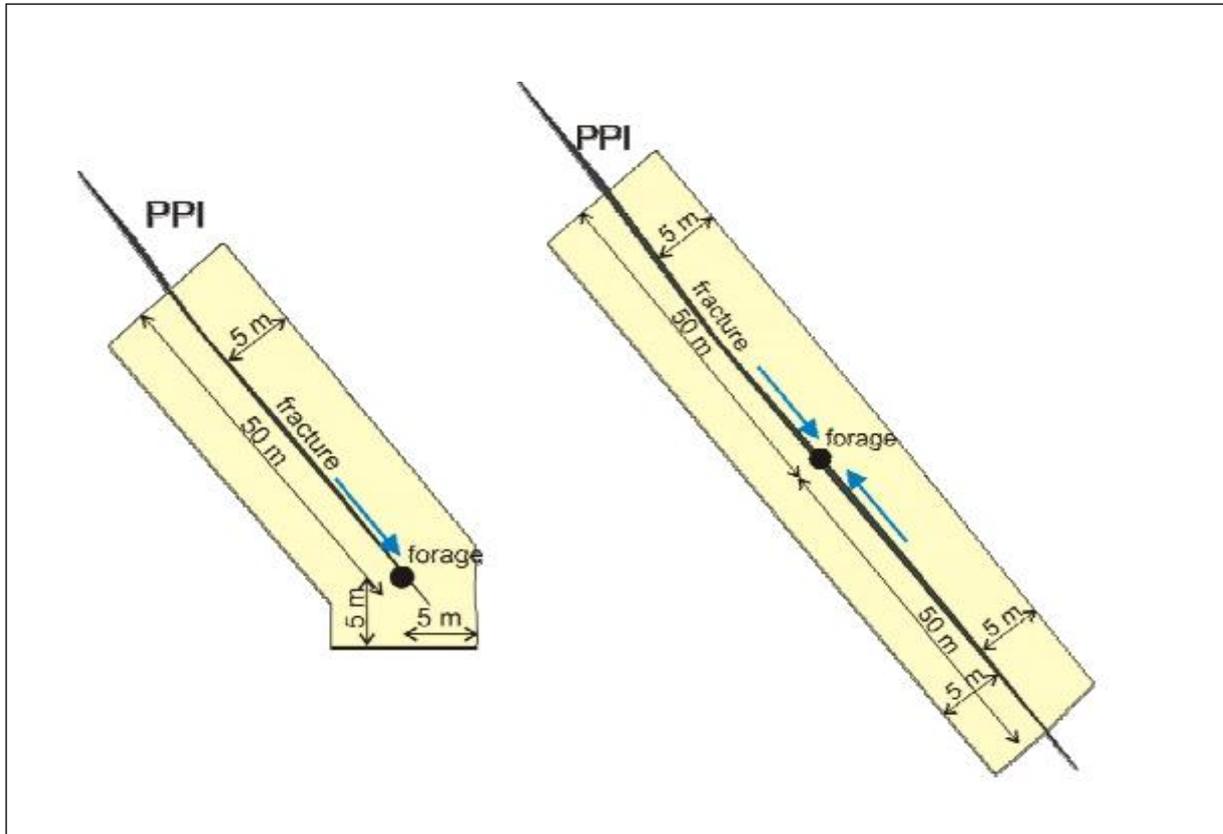


Figure I. 8: Délimitation de périmètre de protection immédiat (PPI) dans le cas d'une fracture directement drainée par le forage.

1.7.3. Aquifère en roche karstique

Les régions karstiques se caractérisent par l'absence de réseau hydrographique superficiel et par l'existence de gouffres, de dolines et de sources très importantes.

Les calcaires et dolomies forment des aquifères caractérisés par une perméabilité extrêmement hétérogène et anisotrope. L'eau circule dans les petites fissures, les pores de la roche et dans des conduits de dimensions parfois importantes résultant de la dissolution de la matrice carbonatée (karst), les zones de protection des eaux souterraines sont dimensionnées sur la base des Caractéristiques géologiques, géomorphologiques et hydrogéologiques du bassin d'alimentation des captages à protéger [8].

Afin de délimiter les périmètres de protection en milieu karstique, il est nécessaire d'identifier le système, de le caractériser et d'en définir la vulnérabilité.

1.8. Les critères de délimitation des zones de protection

La vulnérabilité des eaux souterraines correspond à une insuffisance de protection ou de défense naturelle des aquifères contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales.

United States Environmental Protection Agency (USEPA) définit cinq critères de définition des PDP (USEPA, 1987) : (1) la distance, (2) le rabattement, (3) le temps de transport, (4) les limites d'écoulement et (5) la capacité d'atténuation du sol, Les valeurs attribuées à ces critères représentent des limites minimales ou maximales pour lesquelles ils cessent de fournir un degré de protection adéquat, ces critères peuvent être utilisés seuls ou de façon combinée [6].

1.8.1 La distance

L'établissement des PDP par ce critère repose sur la détermination d'un rayon ou d'une distance mesurée entre l'ouvrage de captage et un point donné de l'aquifère. Le critère de distance ne tient pas compte des processus d'écoulement et de transport des contaminants.

L'utilisation de la distance est basée sur l'expérience acquise dans des contextes hydrogéologiques similaires ou sur le jugement professionnel [6].

1.8.2 Rabattement

Il y a rabattement lorsque l'eau souterraine est retirée d'un aquifère par pompage, L'abaissement du niveau d'eau dans le puits crée un gradient qui entraîne l'eau vers le point de décharge. Ainsi, il se crée un cône de rabattement au voisinage du puits (Figure I. 9).

La vitesse d'écoulement de l'eau souterraine augmente à mesure que l'on s'approche du puits, ce qui a pour effet de diminuer le temps d'arrivée d'un contaminant au puits.

La zone d'influence (ZI) est la distance à partir du puits où les changements du niveau de la nappe peuvent être attribués au pompage (Figure I. 9).

Dans un aquifère isotrope, homogène et sans gradient hydraulique appréciable, la zone d'influence est circulaire.

Dans un milieu hétérogène ou fracturé ainsi que dans un aquifère isotrope, homogène avec un gradient hydraulique, la zone d'influence est généralement elliptique ou irrégulière.

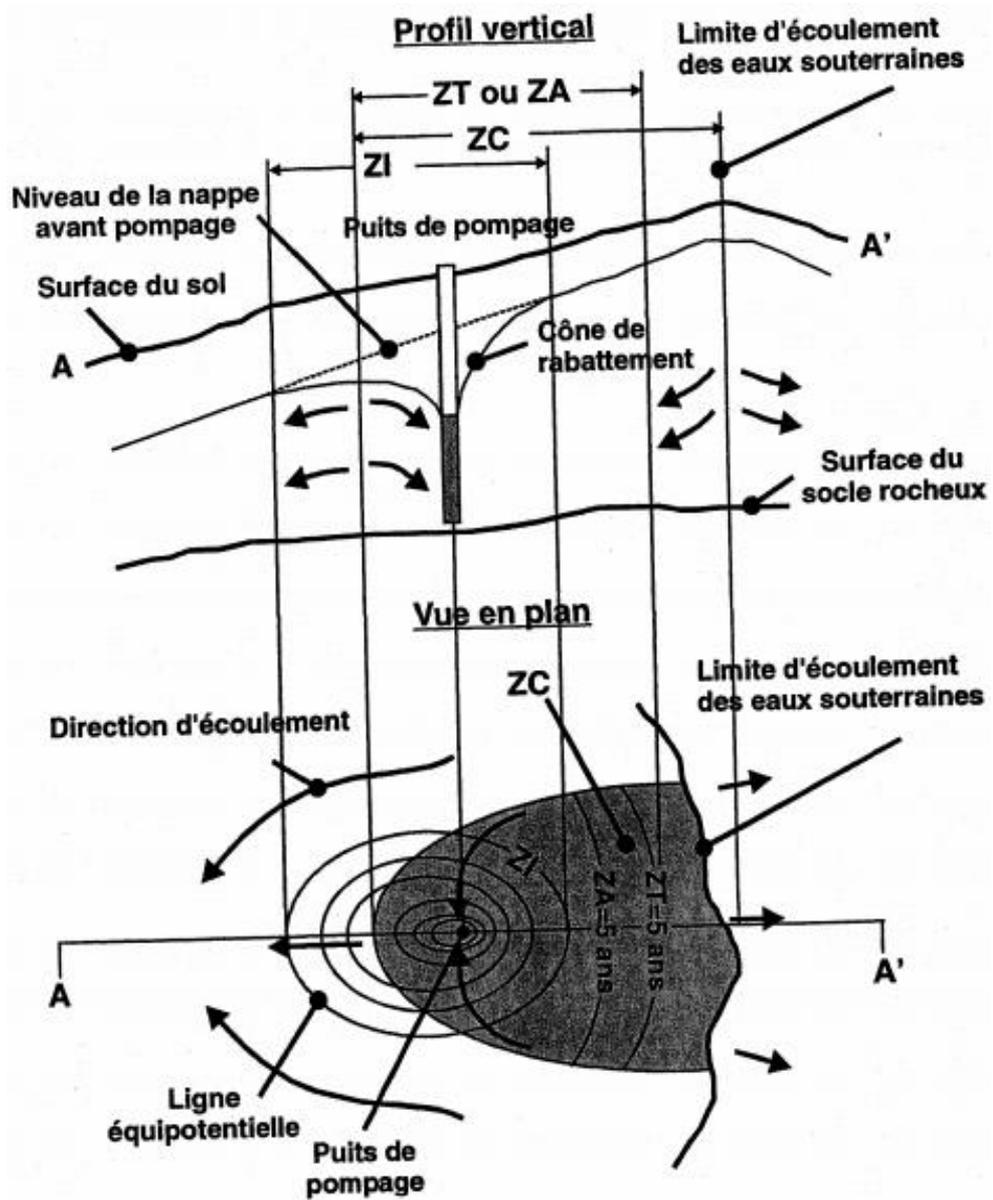


Figure I.9: Relation entre la zone d'influence (ZI), la zone de contribution (ZC), la zone de transport (ZT) et la zone d'atténuation (ZA), (d'après USEPA 1987).

1.8.1. Temps de transport

Le temps de transport est défini par le temps nécessaire à l'eau ou à un contaminant pour se déplacer d'un point d'entrée, à la surface du sol ou dans l'aquifère, jusqu'à son arrivée à l'ouvrage de captage, à l'intérieur de la zone de contribution du captage, on définit des courbes de temps de transport égaux appelées isochrones, Les aires formées par les différents isochrones sont appelées zones de transport (ZT) (Figure I. 9).

Le temps de transport peut tenir compte du transport en zone non-saturée et en zone saturée, Généralement le temps de transport en zone non-saturée est négligé et est utilisé comme coefficient de sécurité. Généralement, seul le temps de transport advectif est considéré, cependant, lorsque la dispersion d'un contaminant est importante, le temps de première arrivée devrait être utilisé.

Selon le nouveau Règlement sur le captage des eaux souterraines, le ministère de l'environnement du Québec (MENVQ, 2002) définit deux temps de transport pour la ZT en fonction du type de contamination, la ZT est défini comme une distance du puits équivalente à une durée nécessaire à la dégradation naturelle des bactéries (200 jours) ou des virus (550 jours) [6].

1.8.2. Limites d'écoulement

La détermination des PDP basée sur ce critère consiste à utiliser les caractéristiques géomorphologiques, géologiques, hydrologiques et géochimiques de l'aquifère, ce critère permet de définir la zone de contribution (ZC) ou l'aire d'alimentation d'un ouvrage de captage (Figure I.9).

Le volume d'eau contenu à l'intérieur de la zone de contribution correspond à la quantité d'eau disponible pour l'ouvrage de captage, il s'agit de la protection maximale attribuable à un captage.

1.8.3. Capacité d'atténuation du sol

La capacité d'atténuation des contaminants par le sol permet la réduction des PDP si la concentration du contaminant peut être réduite à un niveau acceptable avant d'atteindre l'ouvrage de captage, Les phénomènes permettant l'atténuation des contaminants sont la dilution, la dispersion, l'adsorption, la précipitation chimique et la dégradation biologique.

Les aires de protection définies par ce critère sont appelées zones d'atténuation (ZA), s'il n'y a pas d'atténuation, la forme que prend la zone d'atténuation est la même que la zone de transport pour un temps donné, s'il y a atténuation la zone aura la même forme que la zone de transport, mais sera plus petite en proportion de l'atténuation du contaminant (Figure I.9) [6].

En pratique, cette approche est irréaliste à cause de la difficulté à caractériser les propriétés chimiques de plusieurs contaminants. Cependant, si seulement un ou deux contaminants sont en présence, cette approche peut être très précise.

Généralement le pouvoir d'atténuation du sol est négligé et utilisé comme coefficient de sécurité [6].

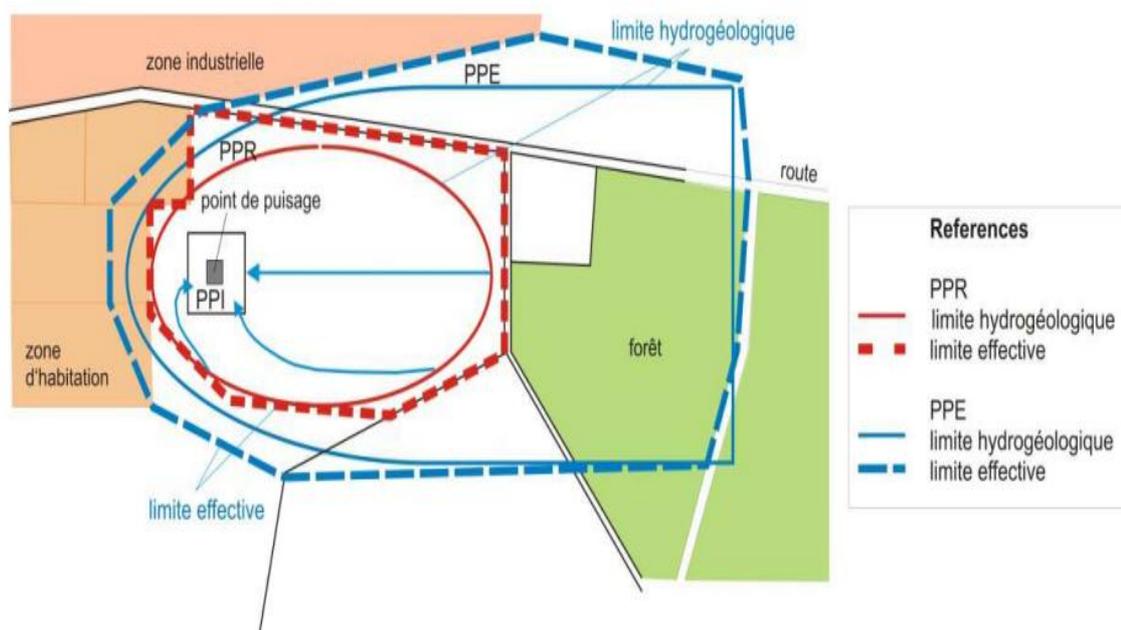


Figure I.10 : Délimitation pratique des zones de protection.

1.9. Transfert des polluants dans les eaux souterraines

Il s'agit d'une pollution diffuse de type agricole ou d'une pollution accidentelle, le schéma général de contamination des eaux souterraines est le même le point de départ est la surface du sol jusqu'à la nappe en passant par la zone non saturée, puis le cheminement horizontal avec étalement progressif du panache de pollution, comme indiqué dans la figure (I.11) :

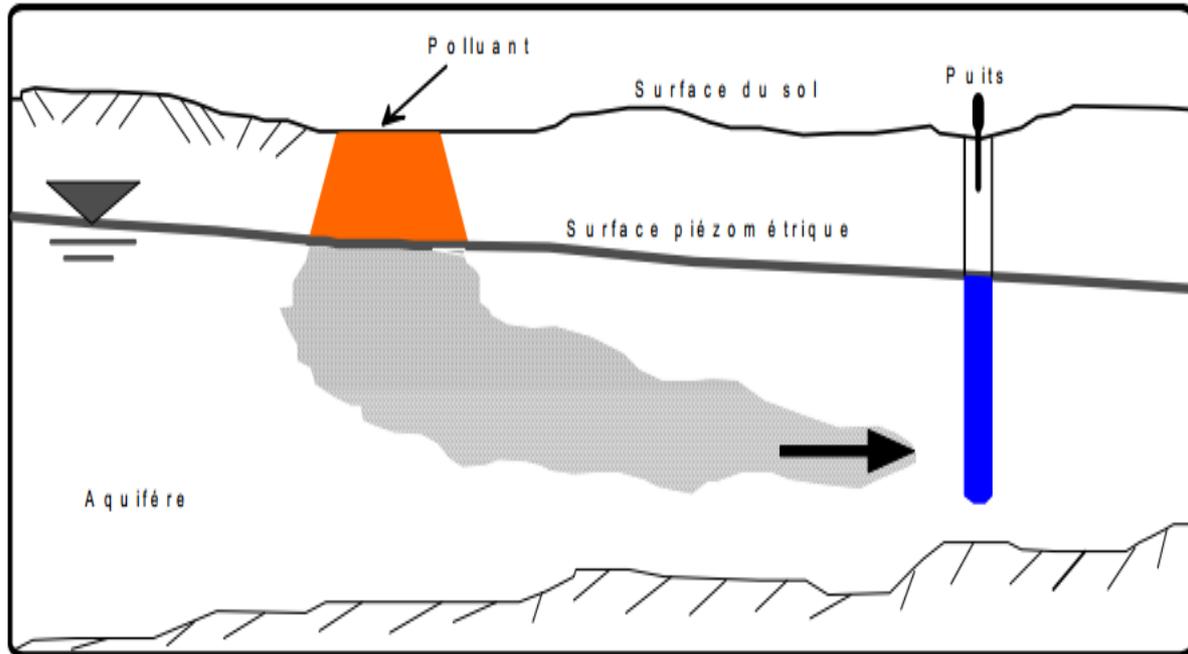


Figure I.11: Schéma simplifié de migration des polluants dans les formations géologiques

1.9.1. Mécanismes de transfert des polluants dans les eaux souterraines

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

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

1.10. Elaboration des périmètres de protection

L'élaboration du périmètre de protection immédiate on a besoin de la carte de situation de l'ouvrage.

Pour l'élaboration des périmètres de protection rapprochée on aura besoin des données telles que le réseau hydrographique, données climatiques, carte de qualité d'eau occupation du sol, carte géologique et essais de pompage.

A partir d'une carte structural, carte des points d'eau et mesure de qualité, occupation du sol, carte isohyète et le réseau hydrographique en peut élaborer des périmètres de protection éloignée.

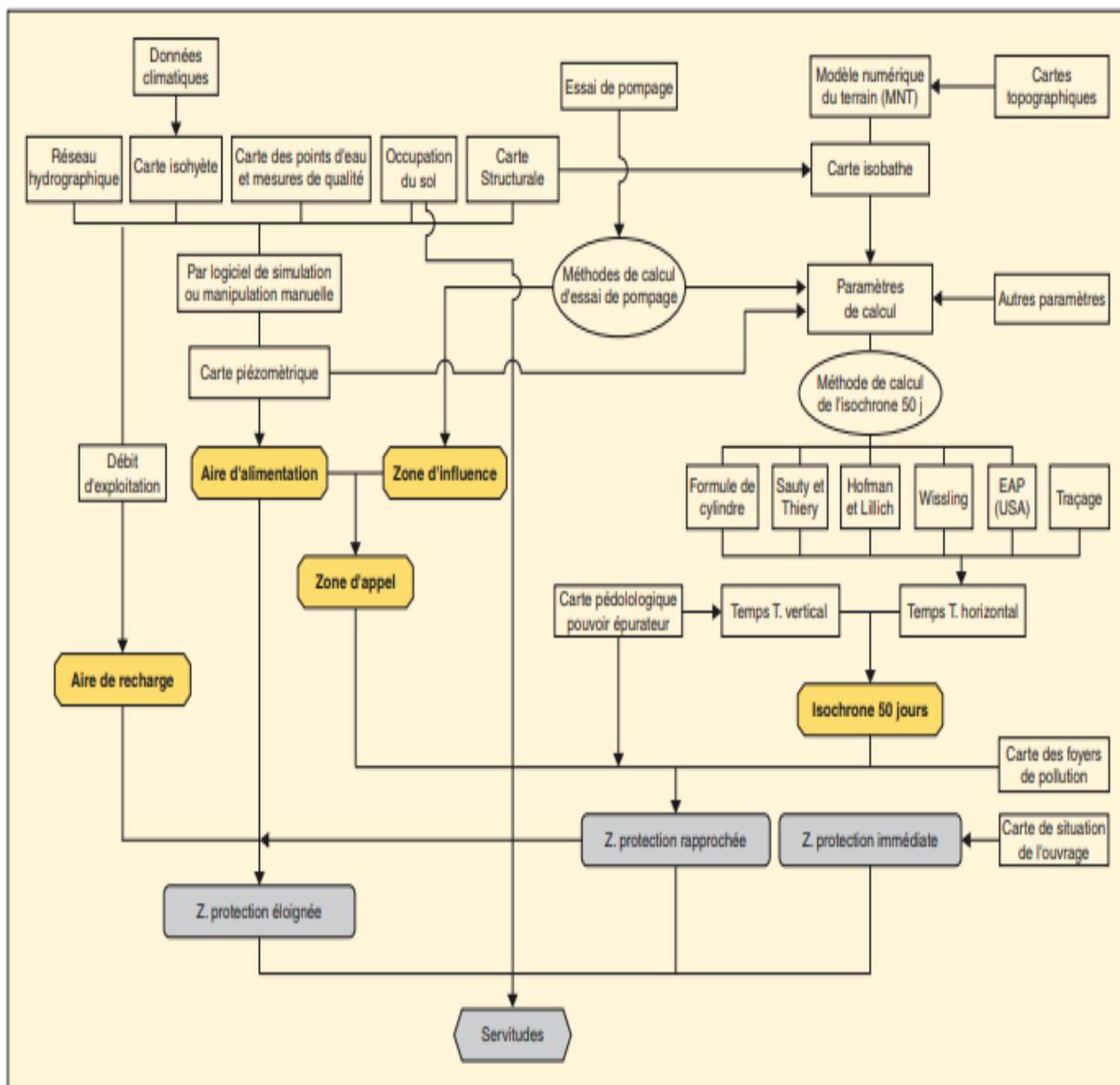


Figure I. 12: Organigramme pour l'élaboration des périmètres de protection des ressources en eau souterraines

1.11. Réglementation des activités à l'intérieur des périmètres

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

- l'exécution des puits ou forages.
- l'exploitation, des carrières.
- l'installation de canalisations, réservoirs et dépôts d'hydrocarbures.
- l'installation de canalisations des eaux usées de toute nature.
- l'établissement de toutes constructions.
- l'épandage de fumier, engrais et tous produits destinés à la fertilisation des sols et à la protection des cultures.
- les dépôts d'ordures, immondices, détritiques, produits radioactifs et d'une manière générale, tout produit et matière susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.
- la circulation des véhicules automoteurs.
- l'installation des stations de service de distribution de carburant.
- toute activité sur les plans d'eau, telle que pêche, chasse, navigation, lavage et nettoyage.
- toute autre activité susceptible d'altérer la qualité des eaux.
- sont interdites toutes réalisations de nouveaux puits ou forages ou toutes modifications des installations existantes, visant à augmenter les débits prélevés.
- une limitation des débits d'exploitation ou à la mise hors service d'un certain nombre de points de prélèvement.
- des plans d'aménagements antiérosifs.
- Sont interdits tout déversement ou rejet d'eaux usées de toute nature dans les puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics, oueds à sec et canaux.
- A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'administration chargée des ressources en eau se réserve le droit d'effectuer, à tout moment et en tout lieu, toute observation, mesure et/ou contrôle destinés à suivre l'évolution qualitative des ressources en eau.

1.12. Les méthodes de détermination des périmètres de protection

Des méthodologies simples et faciles à comprendre seront présentées exigent seulement la connaissance du débit annuel de la source ou du débit d'exploitation du forage, et se basent sur des principes généraux et sur des paramètres spécifiques, la détermination des périmètres de protection plus adaptés aux conditions hydrogéologiques locales qui seront souvent de moindre dimension, et fréquemment plus réduits en taille, est possible si des données hydrogéologiques spécifiques de l'endroit sont connues, comme l'épaisseur saturée de l'aquifère, le gradient hydraulique, la conductivité hydraulique et la porosité efficace sont connus, ces données seront le résultat d'une étude technique qui doit être effectuée par des spécialistes en hydrogéologie. A cette fin, la méthode de Wyssling est relativement facile, applicable à la délimitation des périmètres de protection sur base de la connaissance des propriétés hydrogéologiques.

Une méthode plus avancée pour la délimitation des périmètres de protection est la modélisation numérique où les conditions et le comportement hydrodynamique local sont simulés avec des techniques numériques programmées par ordinateurs. Son application permet de représenter les conditions locales plus précisément, mais exige l'intervention d'un expert et la disponibilité des données supplémentaires (notamment une description de la géologie de la zone, la composition lithologique de l'aquifère, et une carte des linéaments et/ou fractures entre autres). Dans les prochaines sections, les démarches à suivre pour déterminer les périmètres de protection pour les forages sont présentés, sans et avec données hydrogéologiques, il est indispensable de connaître au moins le débit d'exploitation du forage, La méthode à suivre pour délimiter ces périmètres est représentée de façon schématique à la Figure(I.13).

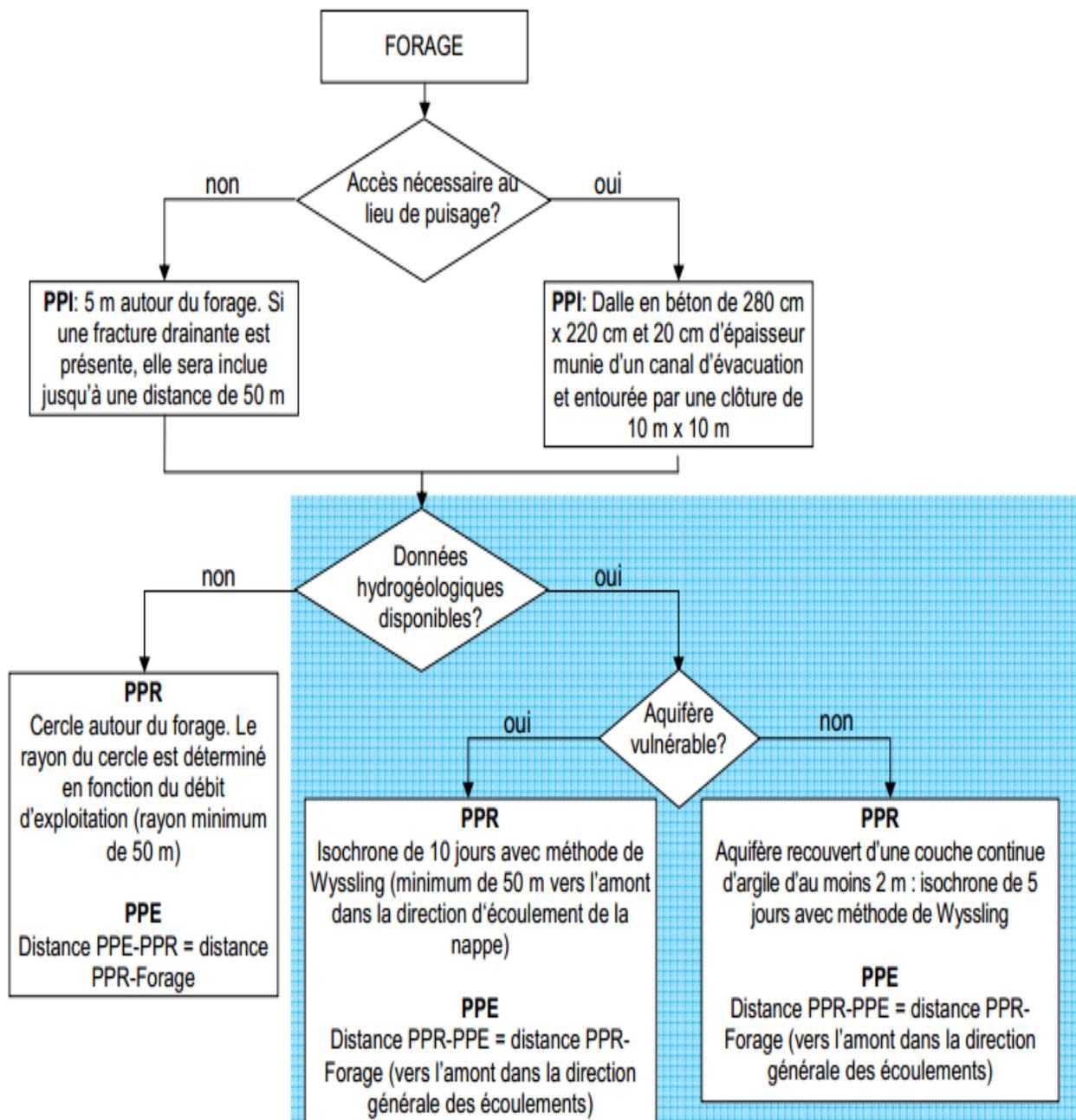


Figure I. 13: Diagramme explicatif pour la délimitation des périmètres de protection des forages

NB : La partie indiquée en bleu résume la méthodologie à suivre quand les données hydrogéologiques sont disponibles

1.13. Conclusion

De cette étude bibliographique il en ressort les points suivants :

Le périmètre de protection a pour but protégé la qualité des captages d'eau destinée à la consommation humaine et garantir la santé publique, la méthodologie d'instauration du périmètre de protection dépend en grande partie du type d'aquifère (poreux, karstique ou fissuré), la délimitation du bassin d'alimentation de captage est très difficile et complexe dans un aquifère karstique qui revient à l'hétérogénéité du terrain, les méthodes de dimensionnement des périmètres de protection des captages des Eaux souterraines ne sont pas bien définies dans les textes législatifs concernant la protection des ressources d'eau en Algérie, dans les chapitres qui suies nous sommes intéressés à la protection du captage d'el Asnam.

Chapitre 2: Application des méthodes de détermination des périmètres de protection des forages

2.1. Introduction

Les activités humaines, agricoles, industrielles ou commerciales, peuvent contribuer à la dégradation de la qualité des eaux souterraines. Les risques de contamination reposent principalement sur des activités qui se déroulent à la surface du sol.

Pour mettre fin aux risques de contamination, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance du système d'écoulement des eaux souterraines, cela en délimitant des zones et en enserrant un puits de production dans lequel les sources potentielles de contamination sont gérées d'une manière efficace, la délimitation d'une zone des têtes de puits de protection varie selon le degré de complexité et le coût, elle peut être particulièrement difficile dans les aquifères fracturés en raison de leur hétérogénéité et de leur anisotropie.

L'intégration de plus de caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la zone d'étude augmente la précision de toute méthode donnée.

2.2. Plateau d'el Asnam et le réseau piézométrique

Ces points présentent les puits et forages dont la majorité est destinés à l'alimentation en eau potable de la population.

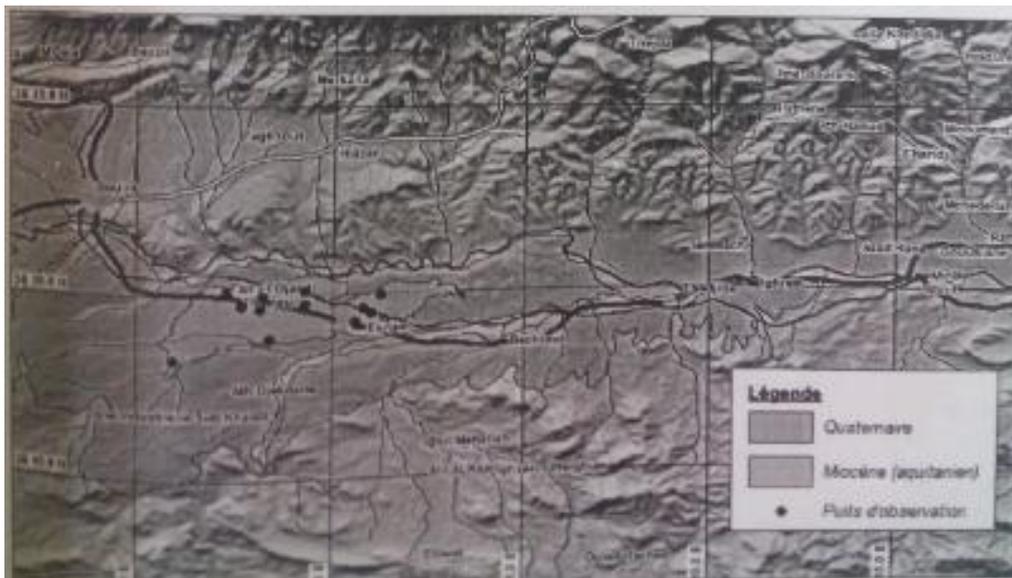


Figure II. 1: Plateau d'el Asnam et le réseau piézométrique.

2.3. Situation géographique et géomorphologique

Le plateau d'el Asnam est localisé dans le bassin versant de l'oued zaiane (figure N:II.1), ce dernier possède une superficie de 1005.4 km^2 et un périmètre total de 165.88 km.

Le plateau correspond à un bassin sédimentaire d'orientation, Il est limité au nord par l'oued eddous, au sud par le foret du ksenna, cette plaine abrite une nappe d'eau alluviale importante exploitée pour les besoins en eau potable des principales des agglomérations de la zone Bouira-Bechloule et el Asnam.

L'extension des alluvions d'el-Asnam présente une superficie de 21.34 km^2 et un périmètre de 36.60 km.

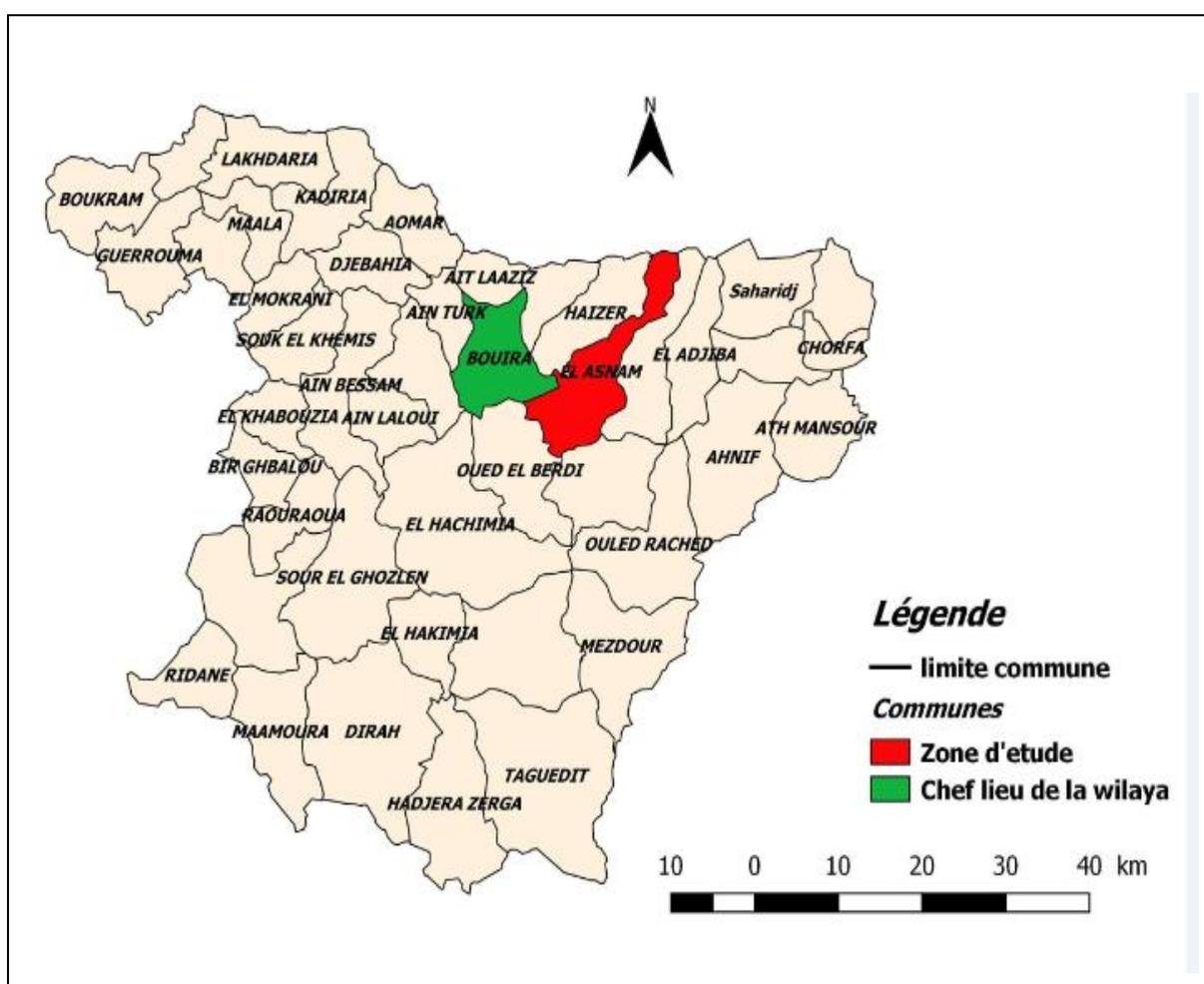


Figure II. 2: Situation géographique d'el Asnam

2.3.1. Aperçu climatique

La situation géographique de la plaine alluviale d'el Asnam jouit d'un climat de type méditerranéen (semi-aride), avec une température moyenne annuelle de 20° C , des précipitations moyennes annuelles varient de 400 à 600 mm mais l'évaporation avoisine 94%.

La saison pluvieuse dans la plaine d'el Asnam s'étend du mois d'octobre au mois de mars et le reste de l'année hydrologique (correspondant à la période d'étiage) s'étendant du mois juin en septembre.

2.4. Géologie et hydrogéologie

2.4.1. Aperçu géologique

Du point de vue géologique, la région d'étude est couverte par la feuille d'el Asnam N°89 au 1/50.000^{eme}.

La zone recelée des potentialités en eau souterraines importantes du fait de la présence des terrains perméables pouvant contenir une nappe d'eau qui circule à travers cet aquifère.

En effet, il existe deux formations géologiques perméables à savoir :

A. Alluvions récentes des vallées (quaternaires) :

Basse plaine, plus ou moins bien conservée, dans les vallées importantes, avec alluvions limono-sableuses et caillouteuses mélangées.

B. Poudingues et argiles rouges (miocène) :

Sont mêlés des lits ou des assises de galets, de sables, d'argiles sableuses ou épaisseur maximale est plus de 150m à la bordure Nord de la feuille. Elle se réduit progressivement vers le sud, où il n'y a souvent plus qu'une pellicule de terres rougeâtres.

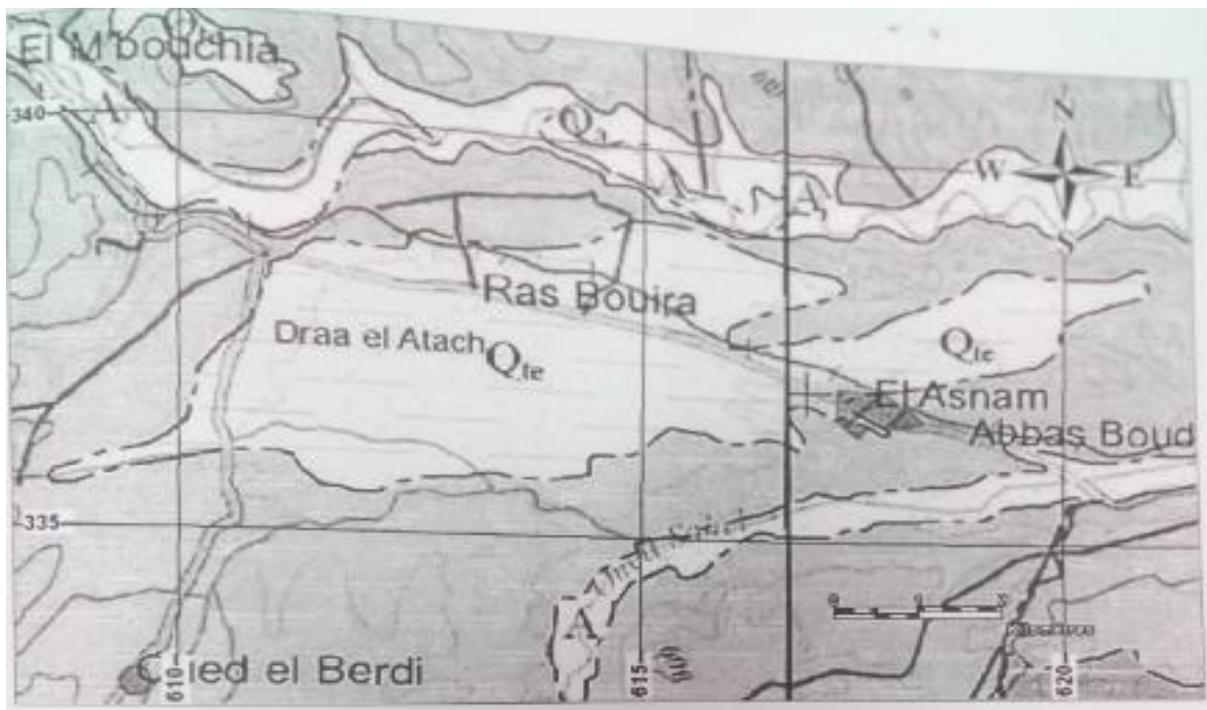


Figure II. 3: Extrait de la carte géologique du plateau d'el Asnam

2.4.2. Hydrogéologie

On note dans le plateau d'el Asnam, la présence de deux nappes superposées, l'une phréatique forme par des alluvions récentes peu épaisses, de 0 à 8 m de profondeur.

La deuxième, plus importante, est la nappe des poudingues de l'aquitainien gravies, et d'argiles brunes.

Les argiles sont généralement parsemées de gravies, donc il s'agit d'une formation semi perméable.

2.5. La nappe de poudingue

2.5.1. Structure de la nappe des poudingues

La structure de ces formations a été mise en évidence par l'étude géophysique. Dans cette étude on note que l'épaisseur d'ouest en Est de 36 à 140 m. et du sud vers Nord de 90 m à 50m. Les poudingues forment une grande plage tout le long de la route nationale N05.

A. Caractéristiques hydrodynamiques

Les essais de pompages effectués dans la région, donnent une valeur de transmissivité de $6 \cdot 10^{-3} m^2/s$ la perméabilité est de $1.5 \cdot 10^{-4} m^2/s$ pour une épaisseur moyenne de 40 m de l'aquifère.

B. Evolution piézométrique

La hausse du niveau statique des eaux de la nappe de plateau d'el Asnam est due aux infiltrations directes des eaux de pluies, Rappelons que cette nappe capte les eaux du miocène inférieur qui constituent l'importante ressource en eau d'irrigation de la commune de oued el-berdi.

En, effet l'établissement d'une carte de fluctuation piézométrique est lié au nivellement de tous les points d'eau et l'intégration des forages qui sont à l'arrêt dans le réseau de suivi pour une meilleure approche hydrogéologique des écoulements d'eau souterrains.

2.5.2. Chimie des eaux

L'étude hydro-chimique a porté sur l'analyse de sept 7 échantillons prélevés chaque période (basse et hautes eau) de l'année 2012-2013 au niveau du plateau d'el Asnam.

L'interpolation des résultats d'analyses permet de comprendre l'évolution chimique des eaux souterraines et sa qualité physico-chimique au fil du temps.

A. Caractéristiques physico-chimique des eaux souterraines :

Le potentiel d'hydrogène (PH) des eaux souterraines de la zone étudiée est compris entre 7.4 et 8.1, ces valeurs de PH indiquent que les eaux s'éloignent de la neutralité et deviennent basique.

B. Conductivité électrique

La conductivité permet une estimation de la minéralisation des eaux, elle est d'autant plus élevée que la qualité des matières minérales, les valeurs de la conductivité mesurées varient entre 1100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, traduisant ainsi des eaux peu minéralisées.

Dans la partie nord-est de la zone d'étude, les conductivités sont fortes telles que les eaux du piézomètre PZ2AS. (C.E = 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en période des basses eaux et de 2510 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en période des hautes eaux).

C. Le résidu sec

Les résidus secs des eaux souterraines du plateau d'el Asnam sont compris entre 800 mg/l et 2020 mg/l. nous constatant la même évolution dans l'espace que pour la conductivité, c'est-à-dire une augmentation du résidu –sec suivant le sens d'écoulement, à l'est du plateau d'el Asnam, nous notons un résidu de 1200 mg/l, en effet, la carte des résidus-secs montre une nette augmentation des concentrations des seuils vers l'est du plateau.

2.6. Choix des méthodes

Il existe plusieurs méthodes de détermination des PDP, ces méthodes varient de simple d'application à des méthodes très complexes et dispendieuses, de façon générale, plus la méthode permet l'intégration des caractéristiques géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques du milieu, plus elle est précise, Pour cette étude, La méthode privilégiée est celle qui a la capacité de simplifier le système d'écoulement tout en préservant ses caractéristiques, Les méthodes se divisent en deux catégories : le périmètre rapproché et le périmètre éloigné, à partir d'études antérieures et d'une revue de littérature.

Ces méthodes peuvent être classées selon leur procédure d'application ou le type d'équations résolues.

Tableau II.1 : Méthodes de détermination des PDP utilisées pour les puits et forage

Méthodes	Type	Périmètre
Temps de transport (Bear et Jacobs, 1965)	Calcule simple	Rapproché
Temps de transport (Loi de Darcy)	Calcule simple	Rapproché
Équation du cylindre (USEPA, 1987)	Calcule simple	Rapproché
Écoulement uniforme (Todd, 1980)	Calcule simple	Eloigné
Équation d'infiltration (USEPA, 1987)	Calcule simple	Eloigné
Piézométrie (EPA, 1991)	Cartographie hydrogéologique	Eloigné
Méthode 3A2E	Méthodes combinées	Eloigné et rapproché
whaem (Haitjeima et al 1994)	Semi-analytique	Eloigné et rapproché
CAPZONE/GWPATH (Bair et al, 1991)	Analytique	Eloigné et rapproché
MODFLOW/MODPATH (McDonald et Harbaugh, 1988)	Numérique	Eloigné et rapproché

2.6.1. Méthodes avec calculs simples

Dans les méthodes avec calculs simples, nous retrouvons trois types de méthodes:

Les équations analytiques simples, (2) les équations de bilan de masse et (3) les relations empiriques, ces méthodes requièrent généralement peu d'information set sont faciles d'utilisation.

Parmi les équations analytiques simples, l'équation d'écoulement uniforme (Todd, 1980) l'équation du temps de transport avec la loi de Darcy et l'équation du temps de transport de Bear et Jacobs (1965) ont été utilisées, les équations d'écoulement uniforme et de temps de transport de Bear et Jacobs sont deux solutions proposées pour déterminer les PDP éloigné et rapproché (MEF' 1995).

D'autres solutions analytiques simples existent pour représenter l'écoulement, Par exemple, Javandel et Tsang (1986) ont fait la superposition d'équations analytiques simples développées pour un seul puits pour obtenir la zone de transport d'un champ de puits à un temps infini, Grubb (1993) a généralisé les équations de Bear et Jacobs (1965) en

termes de débit potentiel pour dériver des solutions analytiques simples dans des aquifères confinés, semi-captifs et de surface, cette dernière solution permet de déterminer la zone de transport d'un puits en régime permanent à un temps infini, Yang et al. (1995) ont adapté les travaux de Grubb (1993) pour déterminer la zone de transport d'un puits à un temps fini, ainsi que la zone de transport d'un champ de puits à un temps infini. Dans les équations de bilan de masse, l'équation d'infiltration et l'équation du cylindre ont été utilisées, ces deux équations sont les équations de bilan de masse les plus couramment utilisées. La seule méthode empirique utilisée est celle de Civita (1995), cette méthode utilise les caractéristiques d'un hydrogramme de source pour définir les PDP immédiat et rapproché d'une source, cette méthode a été développée en Italie.

A. Écoulement uniforme

L'équation d'écoulement uniforme permet de calculer la zone de contribution d'un puits de pompage en régime permanent dans un champ d'écoulement uniforme, Les hypothèses de base du modèle sont les suivantes :

- l'aquifère est homogène, isotrope et infini latéralement. l'écoulement est en régime permanent.
- la couche formant la base de l'aquifère est parfaitement imperméable.
- l'aquifère ne reçoit aucune recharge verticale.
- la dispersion hydrodynamique est négligée.
- les gradients verticaux sont négligeables.
- le puits de pompage pénètre complètement l'aquifère et est ouvert sur toute l'épaisseur saturée de l'aquifère.
- le débit de Pompage est constant, L'équation générale représentant la limite de la zone de contribution du puits de pompage est la suivante (Todd, 1980) :

$$\frac{-y}{x} = \tan[(2\pi k b i_{reg} / Q_{forage}) y] \quad \text{Equation II-1}$$

x et y sont des coordonnées spatiales.

- Les équations II.2, II.3 et II.4 sont dérivées de l'équation précédente et permettent de calculer la distance à la limite aval (A), la largeur maximale de la zone de contribution en amont par rapport à la direction d'écoulement (L) et la largeur de la zone de contribution au niveau du Puits B.
-

Tableau II. 1: Caractéristique des forages (Voire annexe III)

Non	F8 bis El-Asnam
Date de travaux	21 - 02 - 2009, 24 - 05 - 2009
Coordonner	X = 615.200
	Y = 337.760
Débit	12 l/s
Diamètre	13 ³ / ₈ pouces d = 340 mm
Profondeur	150 m
Niveau statique	14.72 m
Niveau dynamique	52.08 m
Conductivité	1100 µs/cm - 3000 µs/cm
Transmissivité	0.006 m ² /s
Perméabilité	0.00015 m/s

Distance à la limite aval (A)

La distance entre le puits de pompage et la limite aval de l'aire d'alimentation est donné par l'équation :

$$A = \frac{Q_{\text{puit}}}{2\pi k b i_{\text{reg}}} \quad \text{Equation II-2}$$

Q_{puit} : Débit de pompage [m³/s].

i : gradient hydraulique.

b : épaisseur saturée de l'aquifère [m]

K : conductivité hydraulique [m/s].

Gradient hydraulique i :

Le gradient hydraulique est la différence de charge hydraulique entre deux points d'un aquifère par unité de distance, selon une direction donnée, elle a la signification d'une différence de potentiel par unité de longueur, l'équation est donnée par la relation suivante :

$$i = \frac{\Delta h}{l}$$

Le calcul de gradient hydraulique régional :

Tableau II. 2: Les cordones des forages H14, H17

Forage	H14	H17
X	615,500	614,15
Y	337,250	337,700
La charge(h)	72,46 m	60 m

$$i_{\text{reg}} = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 72,46 - 60 = 12,46$$

$$\Delta L = (x_1 - x_1)^2 + (y_1 - y_2) = 142\text{m}$$

$$i_{\text{reg}} = 0,08$$

AN :

$$A = \frac{0.012}{2 * 3.14 * 1.5 * 10^{-4} * 40 * 0.08} = 4 \text{ m}$$

La largeur maximale de la zone de contribution en amont (L)

$$L = \frac{Q_{\text{puit}}}{kb i_{\text{reg}}}$$

Equation II-3

$$L = \frac{0.012}{1.5 * 10^{-4} * 40 * 0.08} = 25 \text{ m}$$

La largeur de la zone de contribution au niveau de forage (B)

$$B = \frac{L}{2}$$

Equation II-4

$$B = \frac{25}{2} = 12.5 \text{ m}$$

La forme de la zone de contribution est une parabole qui s'étend sur une distance A en aval du puits. À la hauteur du puits, le périmètre atteint une largeur B, Vers L'amont, la parabole atteint une largeur maximale de L, Pour simplifier le tracé, on estime que la largeur maximale est atteinte à une distance amont égale à L, Au-delà de cette distance, la zone de captage se prolonge à une largeur constante jusqu'à la ligne de partage des eaux souterraines (Figure II- 4).

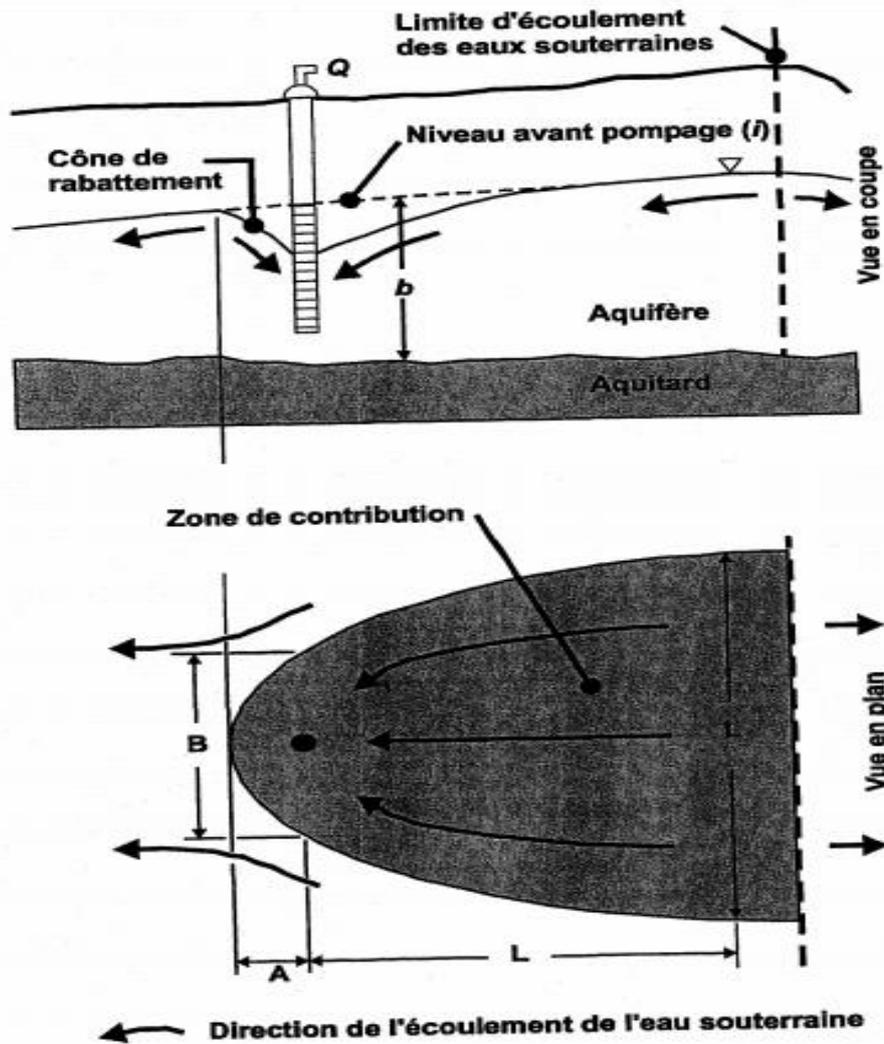


Figure II. 4: Zone de contribution déterminée par l'équation d'écoulement

B. Temps de transport (Bear et Jacobs. 1965) :

Pour les mêmes hypothèses simplificatrices que l'équation d'écoulement uniforme, mais pour un temps fini, l'équation du temps de transport de Bear et Jacobs (1965) est utilisée pour déterminer les zones de transport. Pour un temps donné t' la position d'un point D en amont sur un axe parallèle à la direction d'écoulement régional est déterminée par l'équation (II.7).

Cette distance détermine le rayon d'un arc de cercle dont le centre est le puits de pompage et dont les limites latérales sont la zone de contribution [6].

$$T = \frac{nd}{ki_{reg}} - \frac{q_{puit} n}{2\pi K^2 I_{reg}^2 b} \ln \left[1 + \frac{2kbi_{reg} \cdot d}{Q_{puit}} \right] \quad \text{Equation II-5}$$

AN: $T = 1.5$ jour

C. Temps de transport avec la loi de Darcy :

La loi de Darcy (Équation II.5) décrivant la vitesse moyenne interstitielle peut être utilisée avec la relation temps-distance-vitesse pour calculer les zones de transport à partir du temps de transport (Équation 2.6).

$$v_{moy} = k * i_{loc}/n \quad \text{Equation II-6}$$

$$v_{moy} = 4.35 * 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$d = v_{moy} * t = t * i_{loc}/n \quad \text{Equation II-7}$$

$$d = 58.70 \text{ m}$$

L'équation II.6 est utilisée lorsqu'une carte piézométrique ou au moins trois points de mesure du niveau piézométrique disposés en triangle sont disponibles pour calculer le sens de l'écoulement et le gradient hydraulique.

D. Équation d'infiltration :

L'équation d'infiltration est un bilan de masse entre le volume d'eau extrait par l'ouvrage de captage et le volume d'eau rechargeant la partie de l'aquifère délimitée par la zone de contribution du captage. Cette équation assume un écoulement en régime permanent. Dans le cas d'un puits, le volume d'eau extrait correspond au volume exploité (ou débit d'exploitation), tandis que dans le cas d'une source ce volume correspond au volume d'eau d'infiltration.

Ce volume d'infiltration est calculé à partir d'un hydro gramme de source. La forme de la zone de contribution d'un puits est un cercle de rayon défini par l'équation II.8, tandis celle d'une source est un arc de cercle de rayon défini par l'équation II.9 (Figure II.4). La forme en arc de cercle de la zone de contribution d'une source est ajustée en fonction des limites physiques de l'aquifère et de la configuration de l'écoulement.

$$r = \sqrt{\frac{Q_{puit}}{\pi R}} \quad \text{Equation II-8}$$

AN: $r = 139.36 \text{ m}$

E. Équation du cylindre :

L'équation du cylindre est un bilan de masse entre le volume d'eau extrait par l'ouvrage de captage pour un temps donné et le volume d'eau contenu à l'intérieur d'un cylindre équivalent de l'aquifère entourant le captage. La forme de la zone de contribution d'un puits est un cercle de rayon défini par l'équation (II.9), tandis que celle d'une source est un arc de cercle de rayon défini par l'équation (II.10), La forme en arc de cercle de la zone de

contribution d'une source est ajustée en fonction des limites physiques de l'aquifère et de la configuration de l'écoulement.

$$R = \sqrt{\frac{tQ_{\text{puit}}}{\pi bn}}$$

Equation II-9

AN: R = 6.42 m

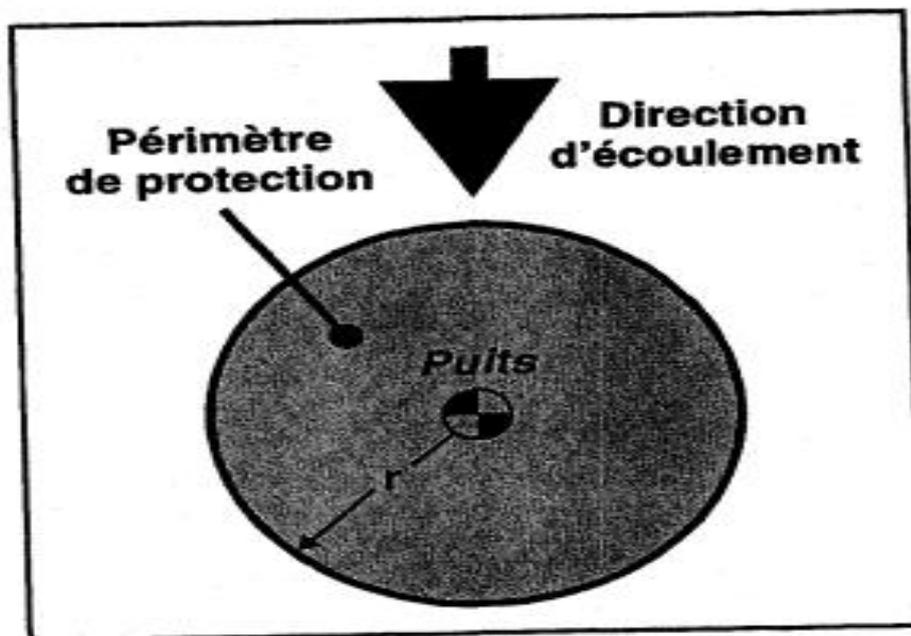


Figure II. 5: Forme générale des PDP déterminée par les équations d'infiltration et du cylindre

Caractéristiques de trois autres forages de la même région: (Annexe I...VI)

Tableau II. 3: Caractéristiques des forages

Caractéristique		El-Asnam	SABA	El-Asnam
		H 14	H 19	H 17
Cordonner	X	615.500	614.700	614.150
	Y	337.250	337.200	337.700
Débit		22 l/s	5 l/s	18 l/s
Diamètre		340 mm	340 mm	340 mm
Profondeur		96 m	125 m	160 m
Niveau statique		13.39 m	42.72 m	27 m
Niveau dynamique		58.76 m	117.40 m	60 m

Le calcul des périmètres de protection des forages avec calcul simple :

Tableau II. 4: Calculs de périmètre de protection

Méthodes de calcul		El-Asnam	SABA	El-Asnam
Nom de forage		H 14	H 19	H 17
Écoulement uniforme	Distance à la limite aval (A)	21.8 m	1.65 m	8.84m
	largeur max en amont (L)	133.62 m	10.41 m	55.55 m
	La largeur b	66.8 m	4.87	25.75m
Temps de transport Bear et Jacobs	(T)	5.84 jours	4 jours	1 jour
Temps de transports loi Darcy	D	238 m	150.33 m	37.58 m
	v_{moy}	$4.35 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$4.35 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$4.35 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
Equation infiltration	R	59.76 m	28.44m	53.97 m
Équation du cylindre	R	27 m	6.95 m	7.81 m

2.6.2. Cartographie hydrogéologique :

Dans bon nombre d'aquifères, les limites d'écoulement et le temps de transport peuvent être cartographiés par l'étude de la géologie, par des mesures piézométriques, par l'application de méthodes géophysiques et par des essais de traceurs, les limites d'écoulement peuvent être de type géologique ou hydraulique, Les limites géologiques sont définies par des variations de lithologie ou des contrastes de perméabilité à l'intérieur de l'aquifère, tandis que les limites hydrauliques sont définies par l'écoulement de l'eau souterraine.

A. Piézométrie (EPA, 1991)

La piézométrie est une méthode de cartographie hydrogéologique basée sur l'utilisation d'une carte piézométrique qui permet de visualiser les niveaux d'eau dans le sous-sol, ces niveaux sont représentés par des courbes d'égale altitude, ou hydro isohypses, qui rejoint les

niveaux piézométriques identiques, elles sont tracées grâce à des méthodes d'interpolations. Une carte piézométrique est donc une représentation spatiale des niveaux piézométriques. Elle se présente classiquement avec les hydro isohypses tracés sur un fond blanc et entourés par les limites de la nappe d'eau ou de l'aquifère étudié. Dans certains cas, un fond en dégradé noir et blanc ou de couleur représentant les variations entre les hydro isohypses peuvent être ajoutées pour plus de précision.

Cette méthode permet de définir la zone de contribution d'un ouvrage de captage.

NB : Nous n'avons pas utilisé cette méthode dans notre mémoire, voir la non disponibilité des données

2.6.3. Méthodes combinées

Cette catégorie de méthodes regroupe toutes les méthodes qui utilisent de façon complémentaire les méthodes avec calculs simples et la cartographie hydrogéologique.

La méthode combinée utilisée pour cette étude est une adaptation d'une méthode proposée par la Cape Cod Planning and Economic Development Commission (USEPA, 1987). Le nom donné à cette méthode est un acronyme formé des 5 étapes qu'exige cette méthode (Aval, Amont, Aire, Écoulement, ellipse), la méthode originale a été modifiée pour être utilisée sans carte piézométrique et pour permettre la définition des PDP éloignés en plus des PDP rapprochés. Ainsi, la carte piézométrique et le planimètre, originellement utilisés pour le calcul de la superficie du PDP, sont remplacés par une ellipse dont la superficie se calcule soit par l'équation d'infiltration ou par celle du cylindre, selon le type de PDP.

A. La méthode 3A2E :

La détermination du périmètre de protection rapproché et éloigné se fait en cinq étapes :

Étape 1 : implique la détermination de la limite aval, Les équations d'écoulement uniforme, de temps de transport avec la loi de Darcy ou la cartographie hydrogéologique peuvent être utilisées.

Étape 2 - implique la détermination de la distance amont, Les équations de temps de transport de Bear et Jacobs (1965), de temps de transport avec la loi de Darcy ou la cartographie hydrogéologique peuvent être utilisées.

Étape 3 - implique le calcul de l'aire du PDP. Les équations d'infiltration et du cylindre sont respectivement utilisées pour la détermination des périmètres éloignés et rapprochés.

Étape 4 - implique la détermination de la direction de l'écoulement régional à l'aide d'une

carte piézométrique ou d'au moins trois mesures de niveaux d'eau dans trois puits d'observations disposés en triangle.

Étape 5 - implique le dessin d'une ellipse de superficie totale correspondante à celle calculée à l'étape 3 et dont les extrémités d'un des axes de l'ellipse sont orientées dans le sens de l'écoulement régional déterminé à l'étape 4 et correspondent aux limites aval (étape1) et amont (étape 2).

Tableau II. 5: Calcule effectuée pour la méthode 3A2E

	Bis el Asnam	H14	H19	H17
Etape 1	A = 4 m d = 58.70 m v_{moy} = 4.35 $\ast 10^{-4}$ m/s	A = 21.8 m d = 238 m v_{moy} = $4.35 \ast 10^{-4}$ m/s	A = 1.65 m d = 150.33 m v_{moy} = 4.35 $\ast 10^{-4}$ m/s	A = 8.84 m d = 58.70 m v_{moy} = $4.35 \ast 10^{-4}$ m/s
Etape 2	L = 25 m T = 1.5 jour v_{moy} = 4.35 $\ast 10^{-4}$ m/s	L = 133.62 m T = 5.84 jour v_{moy} = 4.35 $\ast 10^{-4}$ m/s	L = 10.41 m T = 4 jour v_{moy} = 4.35 $\ast 10^{-4}$ m/s	L = 55.55 m T = 1 jour v_{moy} = 4.35 $\ast 10^{-4}$ m/s
Etape 3	A = $4 m^2$ $R_i = 139.36$ m $R_c = 6.42$ m	A = $21.8 m^2$ $R_i = 59.76$ m $R_c = 27$ m	A = $1.65 m^2$ $R_i = 28.44$ m $R_c = 6.95$ m	A = $0.32 m^2$ $R_i = 53.97$ m $R_c = 7.81$ m
Etape 4	la direction d'écoulement			
Etape 5	implique le dessin d'une ellipse			

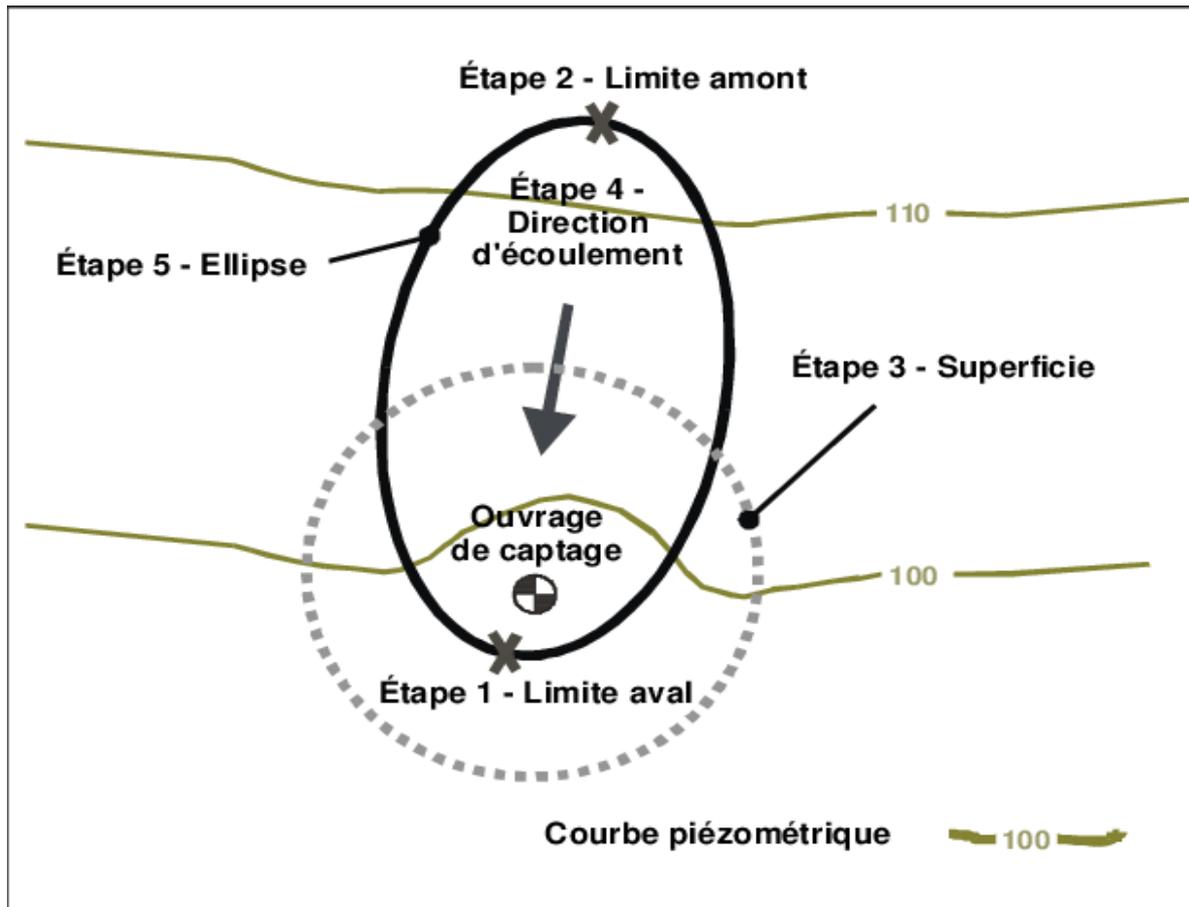


Figure II. 6: La détermination d'un périmètre de protection par la méthode 3A2E

2.6.4. Modèles semi-analytiques

Certains types de modèles semi-analytiques utilisent des techniques numériques pour approximer spatialement et temporellement les solutions analytiques d'écoulement, les logiciels de modélisation par éléments analytiques font partie de cette catégorie, d'autres types de modèles semi-analytiques utilisent des solutions exactes pour représenter l'espace avec une approximation numérique pour discrétiser le temps ou une approximation numérique pour l'espace avec des solutions exactes pour le temps

Pour le calcul des vitesses d'écoulement, tous les modèles semi-analytiques sont jumelés à des algorithmes de traçage de particules inverses ou font appel à une résolution numérique, ces modèles nécessitent l'utilisation d'un ordinateur pour le calcul des PDP [6].

A. CAPZONE/GWPATH (Bair et al, 1991) :

Bair et al. (1991) ont mis au point un modèle analytique pouvant être utilisé pour créer des modèles représentatifs d'écoulement des eaux souterraines pour des systèmes d'écoulement bidimensionnels caractérisés par des conditions d'écoulement isotropes et homogènes confinées, confinées ou non confinées.

CAPZONE calcule les distributions d'abaissement aux nœuds d'une grille définie par l'utilisateur dans des aquifères confinés ou des aquifères non confinés en utilisant l'équation de Theis (Theis, 1935) et dans des aquifères confinés en étanchéité en utilisant l'équation de Hantush-Jacob (**Hantush et Jacob, 1954**).

La répartition du rabattement peut être superposée sur une surface potentielle de fond non pompe afin d'inclure les effets d'un champ d'écoulement régional uniforme ou non uniforme.

L'utilisation de GWPATH (Shafer, 1990), un programme de modelage, est nécessaire pour tracer les zones de capture.

NB : Ce logiciel n'est pas gratuit.

WhAEM :

Le logiciel wellhead Analytic Element Model (whAEM) est utilisé comme une méthode de comparaison, voir (chapitre III).

2.6.5. Modèles numérique

Les modèles numériques utilisent des techniques numériques pour approximer spatialement et temporellement les équations d'écoulement de l'eau souterraine et de transport des solutés, une grande variété de modèles numériques est disponible commercialement ou sous licence publique, L'utilisation des modèles numériques pour déterminer les PDP se fait généralement en deux étapes (Figure 2.9),

La première étape consiste à calibrer le modèle numérique d'écoulement, Pour ce faire, nous devons d'abord:

- (1) – Définir les limites impose, les sollicitations et discrétiser le modèle par un maillage ou un réseau d'éléments.
- (2) - Imposer les propriétés hydrauliques de l'aquifère.
- (3) - Calibrer le modèle par ajustement des paramètres avec des charges et des débits mesurés, la seconde étape consiste à calculer les PDP à l'aide d'un modèle numérique de transport ou d'un algorithme de traçage de particules utilisant le modèle numérique d'écoulement calibré précédemment. cette seconde étape peut aussi être subdivisée :
 - ✓ imposer les paramètres de transport et/ou les particules.
 - ✓ Tracer les lignes d'écoulement.

Les modèles numériques sont particulièrement utiles pour déterminer les PDP lorsque les limites et le contexte hydrogéologique sont très complexes, ces modèles sont généralement

très flexibles et permettent la représentation de tous les paramètres d'écoulement et de transport, ces modèles donnent généralement un bon degré de précision et peuvent aussi être utilisés pour prédire la dynamique des PDP résultantes de causes naturelles ou humaines.

A. MODFLOW / MODPATH :

MODFLOW-2000 (Harbaugh et autres 2000) est un programme informatique qui résout numériquement l'équation tridimensionnelle de l'écoulement souterrain pour un milieu poreux en utilisant une méthode de différences finies. (Sauf indication contraire, les références à MODFLOW font référence à la version MODFLOW-2000 du programme USGS).

MODFLOW peut être chargé d'enregistrer les résultats de la simulation dans des fichiers de liste de texte et des fichiers de sortie de budget binaire cellule par cellule. MODPATH version 6 est un «modèle de post-traitement de suivi des particules qui calcule des trajets d'écoulement tridimensionnels à l'aide des simulations d'écoulement des eaux souterraines produites par MODFLOW, le modèle d'écoulement des eaux souterraines par différences finies» (Pollock 2012), les fichiers de sortie de flux cellule par cellule générés par MODFLOW fournissent la vitesse de l'eau souterraine dans chaque cellule du modèle et sont utilisés dans MODPATH pour calculer des trajets de «particules» imaginaires d'eau traversant le système d'écoulement d'eau souterraine.

Les emplacements de départ des particules peuvent être générés automatiquement par MODPATH ou définis dans un fichier d'entrée. MODPATH calcule également la longueur du chemin d'écoulement et le temps de parcours des particules se déplaçant dans le système d'écoulement. MODPATH peut être configuré pour produire des fichiers de sortie répertoriant les emplacements de départ et d'arrivée de toutes les particules, le chemin de chaque particule ainsi que la distance et le temps de trajet total de chaque particule.

NB : Ce logiciel n'est pas gratuit sur site

2.7. Conclusion

L'élaboration des périmètres de protection du champ captant présente une tâche primordiale pour assurer la préservation de la qualité de ces eaux destinées à l'a consommation, s'effectue en trois étapes :

- 1- L'étape technique : qui consiste à établir le dossier technique en rassemblant tous les données nécessaires pour le calcul des périmètres de protection.

- 2- L'étape administrative : cette phase exige la consultation des administrations et les services concernés pour la mise en place des périmètres de protection.
- 3- L'étape de surveillance : il s'agit d'un suivi et gestion de ces périmètres. Elle présente la phase la plus délicate surtout au niveau de la zone de protection rapproché suite aux contraintes imposées aux occupants de l'espace.

La réussite de ces trois phases va garantir une bonne conservation de ces ressources souterraines qui deviennent de plus en plus rares. Notre travail est limité au niveau de la phase technique, qui consiste en plusieurs méthodes de calcul.

Notre calcul est basée sur quartes forages situant dans la même région avec des débits et des profondeurs différents (selon l'information récupérée).

Chapitre 3: Application sur WhAEM et comparaison des méthodes de protection

3.1. Introduction

La délimitation de la zone de protection du tête de puits est souvent un compromis entre la science et la compréhension technique de la hydrogéologie et du transport des contaminants, une présentation couvrira les deux bases opérations de modélisation et pratiques de modélisation.

Nous utiliserons une étude de cas de délimitation de zone de capture pour illustrer une stratégie de modélisation progressive.

3.2. WHAEM 2000

WhAEM 2000 est un modèle d'écoulement des eaux souterraines du domaine public conçu pour faciliter la délimitation et la cartographie des zones de capture en appui aux programmes de protection des têtes de puits et de planification des sources d'eau aux États-Unis. , WhAEM2000 fournit un environnement informatique interactif pour la conception de zones de protection basées sur des méthodes de rayon, des solutions de flux uniformes et des méthodes de modélisation hydrogéologique. Les zones de protection sont conçues et superposées au graphe numérique du US Geological Survey ou à d'autres cartes de base électroniques. Les cartes de base d'un projet peuvent être sélectionnées à partir d'une carte d'index graphique pour l'État. La modélisation hydrogéologique des puits de pompage permanent, y compris l'influence des limites hydrologiques, telles que les rivières, la recharge et les contacts sans écoulement, est réalisée à l'aide de la méthode de l'élément analytique.

3.3. Utilisation WHAEM :

Lancez WhAEM2000 et familiarisez-vous avec l'interface graphique, à partir du bouton Démarrer, accédez à Programmes, démarrez WhAEM 2000 pour Windows (The \ About WhAEM2000 pour Windows), écran de démarrage (voir Figure III. 1) apparaîtra brièvement et des crédits sont donnés.

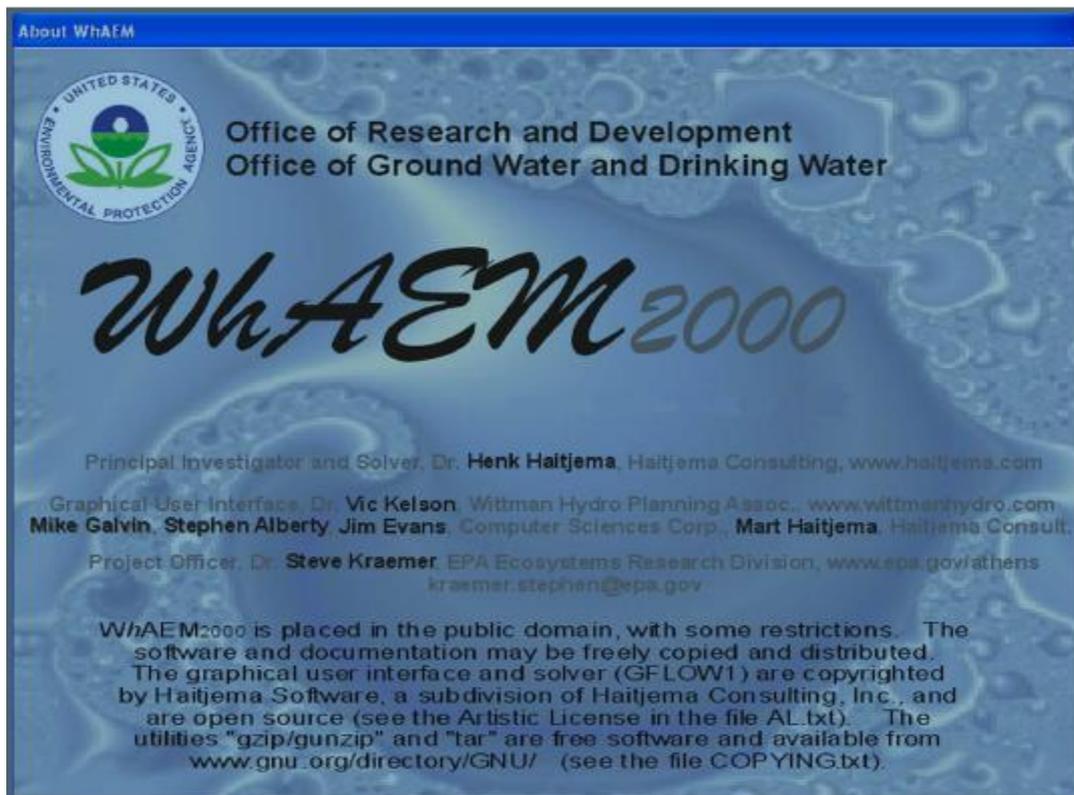


Figure III. 1: Ecran de démarrage de whaem 2000

Sélectionnez le "Start WhAEM" option sur l'écran de bienvenue (voir Figure III. 2).

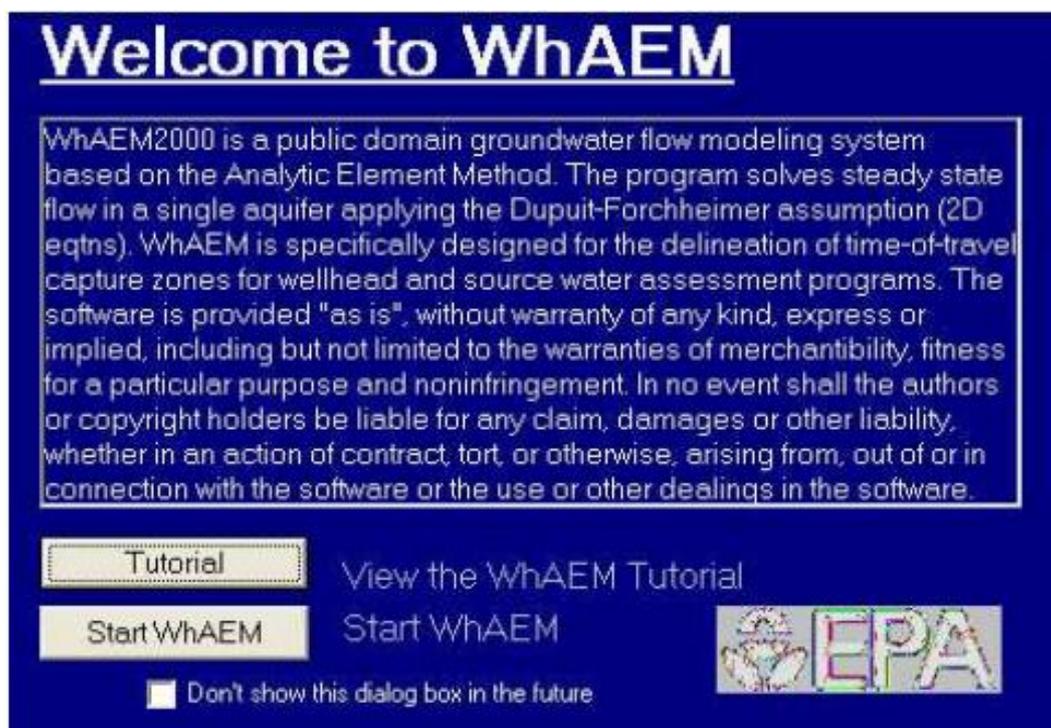


Figure III. 2: Start whaem 2000

L'espace de travail de WhAEM 2000 possède des fonctionnalités Windows standard, une barre de menus en haut, barre d'icônes intelligente sous la barre de menus, et barre d'état

au bas de la fenêtre (Figure III. 3).

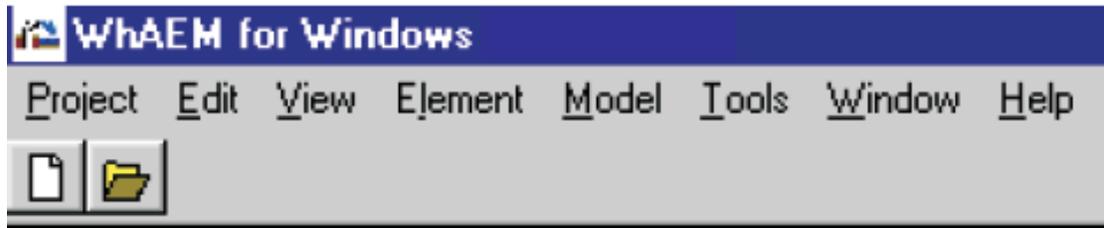


Figure III. 3: Menu barre de whaem2000

Apurait crée un nouveau projet (new database).

En clique sur Ajouter une carte (addmap), Puis cliquez sur Ouvrir. Ce fichier sera affiché dans la boîte, (Voir la figure III. 4).

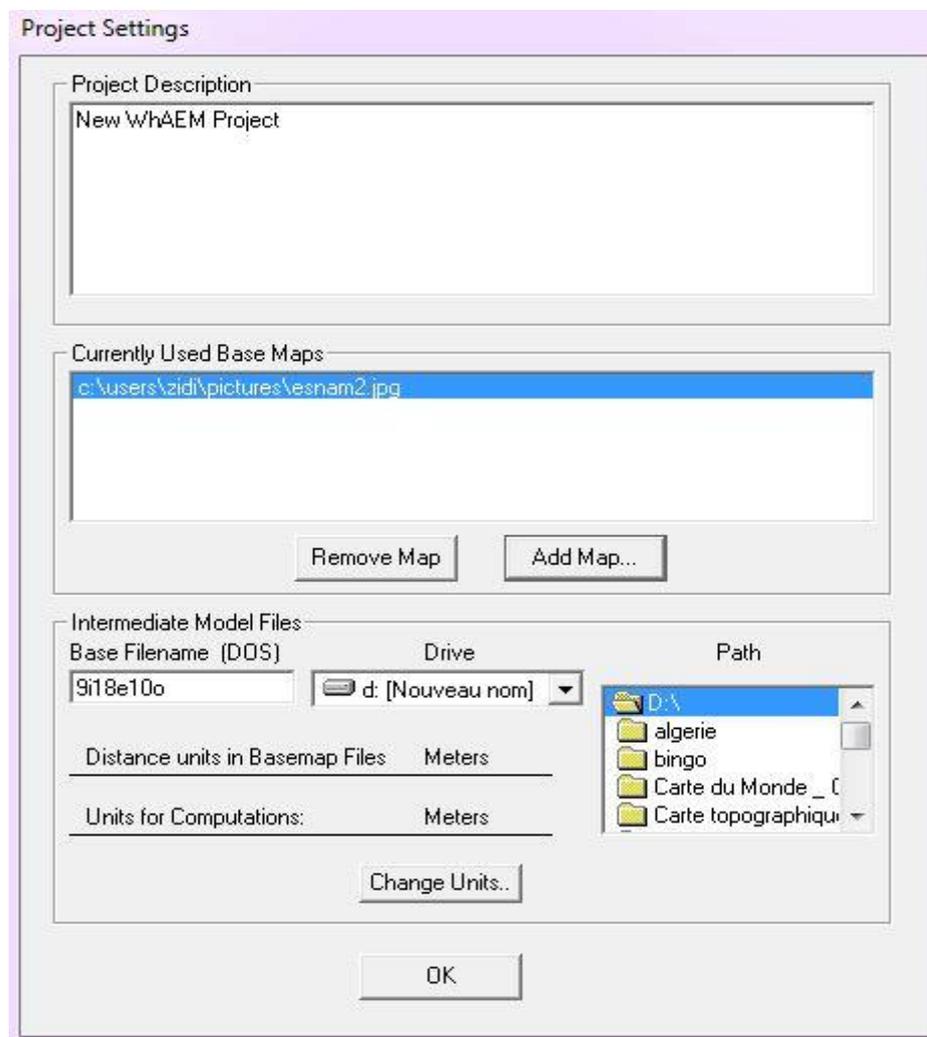


Figure III. 4: Boite de dialogue

Pour créer un puits, à partir du menu, sélectionnez Élément, puis sélectionnez New et cliquez sur Puits, Déplacer le curseur et cliquez sur le bouton gauche de la souris. Une boîte

de dialogue s'ouvre comme dans la figure III. 4, Tapez un nom pour une étiquette, par exemple "well 1", Entre les données de puits, cliquer OK, la zone de protection de la tête de puits s'affichera sous la forme d'un cercle, (Voir la figure III.5).

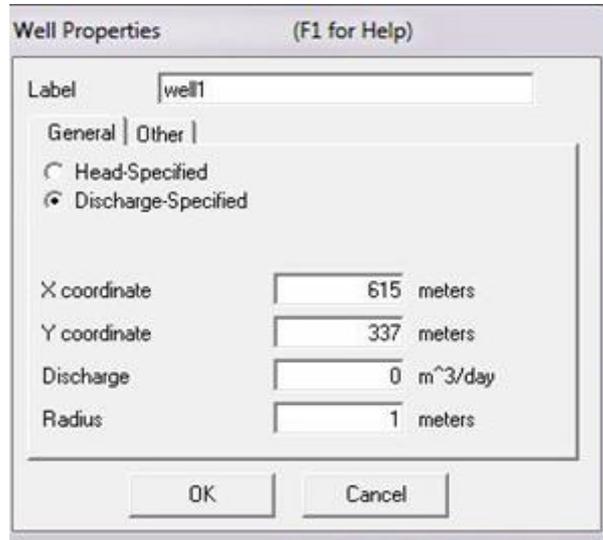


Figure III. 5:Boite de dialogue

La zone de protection de la tête des forages s'affichera sous la forme d'un cercle,(Voir la figure III. 6).

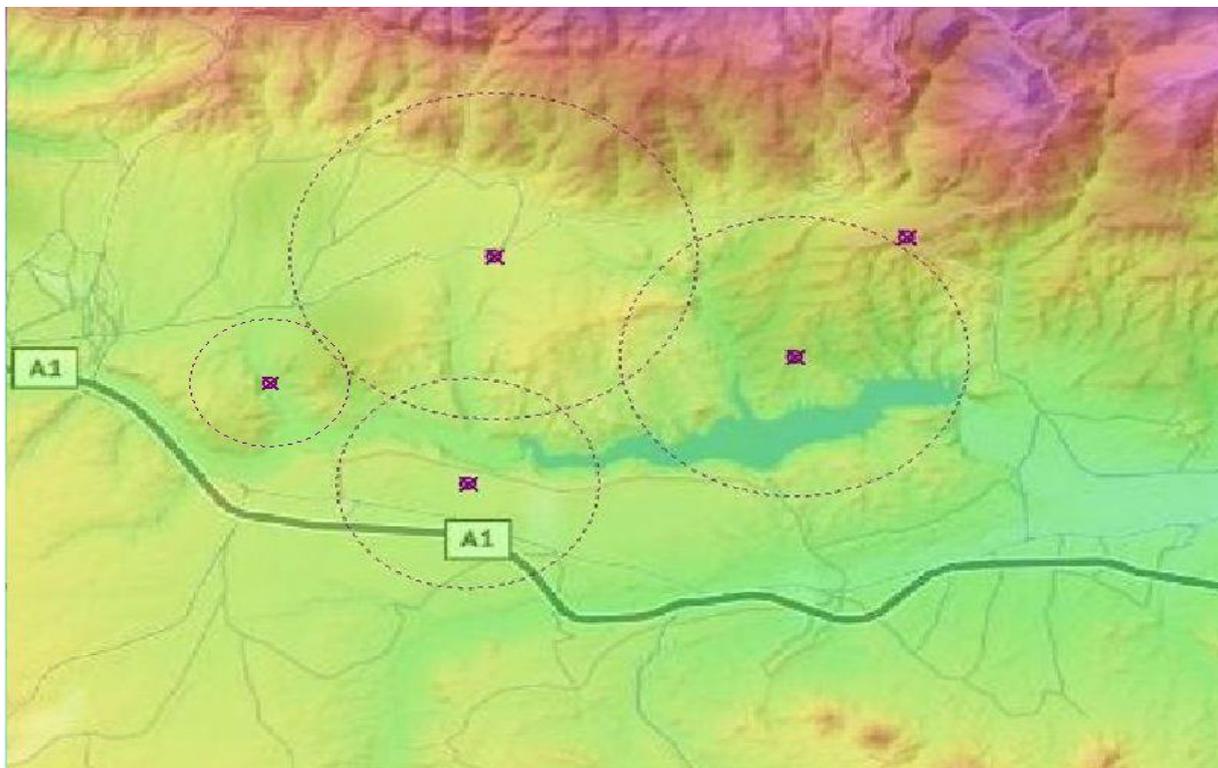


Figure III. 6:Périmètres de protection des forages

La surface de l'équations cylindrique et infiltration (figure III. 7) :

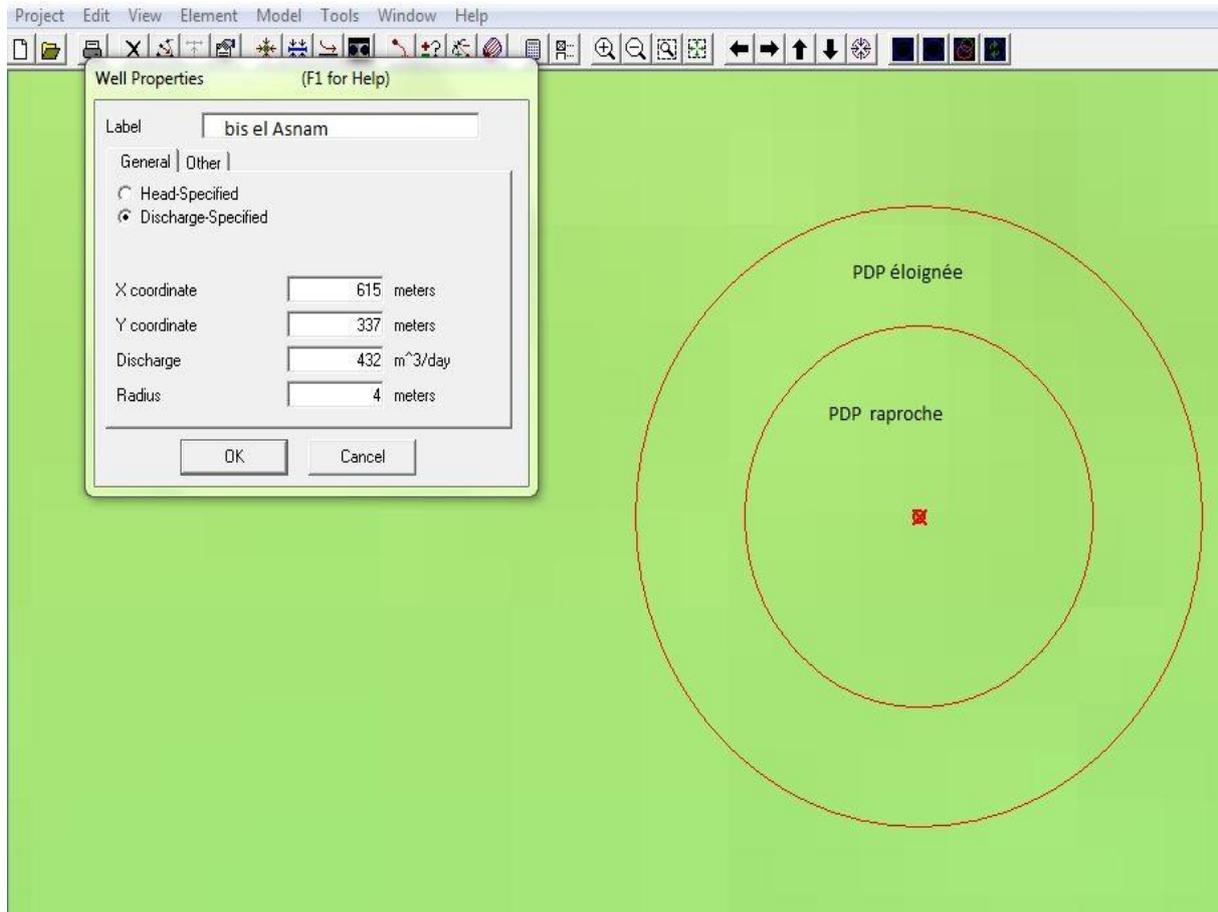


Figure III. 7:PDP rapproché et éloignée de forage bis el Asnam

3.3. Comparaison entre les méthodes de protection

Cette partie porte sur la comparaison des méthodes de détermination des périmètres de protection (PDP) pour les forages municipaux el Asnam, l'analyse de ces méthodes est réalisée séparément pour les périmètres éloignés et rapprochés et conjointement pour site à l'étude, l'évaluation des méthodes de détermination des PDP est réalisée par la comparaison des périmètres obtenus par les différentes méthodes avec le périmètre servant de référence. Pour les périmètres éloignés la comparaison est effectuée avec équation uniforme, alors que pour les périmètres rapprochés la comparaison est effectuée avec le temps de transport Baer jacobs.

Le tableau suivant représente les superficies de PDP rapproché et éloignée de quatres forages (bis el Asnam, H 14, H17, H 19).

Tableau III. 1:La superficie de PDP rapproché et éloigné

Forage : Bis el Asnam			
Méthodes	Superficie (m²)rapproché	Méthodes	Superficie (m²) éloignée
Temps de transport Bear Jacobs	2640	Ecoulement Uniforme	6140
équation cylindrique	129.6	Equation infiltration	6090
Forage : H14			
Temps de transport Bear Jacobs	3780	Ecoulement Uniforme	12070
équation cylindrique	879.12	Equation infiltration	11210
Forage : H17			
Temps de transport Bear jacobs	1108.62	Ecoulement Uniforme	4146
équation cylindrique	190	Equation infiltration	9146
Forage : H19			
Temps de transport Bear jacobs	709	Ecoulement Uniforme	7000
Equation cylindrique	150	Equation infiltration	2539.73

- Pour les périmètres de protection rapprochés :

Les résultats de superficie protégée obtenu par l'équation de cylindre sont très supérieurs par rapport à l'équation de temps de transport Bear Jacobs.

- Pour les périmètres éloignés :

Pour l'équation d'écoulement uniforme, la superficie à protéger est supérieur à la superficie protégé établit par l'équation d'infiltration.

Les méthodes de calcul se varient les unes des autres, chaque une a des avantages et des inconvénients présenter si dessus :

Tableau III. 2: Comparaison entre les méthodes de calcul

Méthode	Paramétré	Avantagé	inconvenantes
Calculs simples : Equation d'infiltration (USEPA ,1987) Equation du cylindre (USEPA ,1987)	. Recharge .Temps de transport . Volume d'extraction . épaisseur saturé	- peu dispendieuse - Facile et rapide d'implantation . Connaissances technique minimales	.Ne tient pas compte de l'écoulement - Trop de simplification
Calculs simples : Ecoulement uniforme(todd,1980) TDT(Baer et Jcob) TDT(loi de Darcy)	. Aucune recharge .Gradient hydraulique . conductivité hydraulique	Bilan de masse	bilan de masse
Semi analytiques	. Limité d'écoulements simples . variabilité des paramètres limités	- Basé sur représenter idéalisée de l'hydrogéologie - représente des limité d'écoulement -Une recharge simple	- Assume des conditions homogènes et isotropes - Assume un aquifère infini
Méthodes combinées 3A2E	. idem calcule simple . limites physique et hydrauliques du système	. peut dispendieuse . Facile et rapide d'implantation pour des aquifères simple . bonne précision pour des aquifères granulaires	. Limite la forme des PDP en milieux granulaires
Modélisation numérique MODFLOW/MOPAH (McDONALD et Harbaugh 1988 Pollock 1994	-Tous les paramètres hydrogeologiques -Limites physiques et hydraulique complexes -variabilité des paramètres	Peut représenter la plupart des contextes hydrogéologique -permet de faire des protections dans le temps	-requiert un bon modèle conceptuel -nécessite beaucoup de données et d'expertise (dispendieuse) -faible résolution dans zone de fort gradier

L'approche utilisée pour la validation des méthodes de détermination des PDP consiste, à faire le choix de la méthode qui représente le mieux, le contexte hydrogéologique des sites et à utiliser ce périmètre comme base de comparaison pour le PDP éloigné, l'aire d'alimentation déterminée par les méthodes utilisées (écoulement uniforme, équation infiltration) Le périmètre éloigné, pour le PDP rapproché, la comparaison est faite avec la zone de transport, déterminée par Cette méthode est la Plus précise des méthodes utilisées pour déterminer le périmètre rapproché car la Modélisation numérique intègre l'ensemble des caractéristiques hydrogéologiques du Milieu. Les modèles numériques développés pour chacun des sites sont aussi appuyés sur une bonne caractérisation des propriétés hydrogéologiques en plus d'être calibré avec plusieurs points de mesure piézométriques.

3.4. Conclusion

L'application de certaines méthodes simples, comme l'équation du temps de transport de Bear et Jacob(1965), l'équation d'écoulement uniforme ou des méthodes plus complexes comme la modélisation par éléments analytiques (WhAEM), a montré que ces méthodes ne donnent pas toujours les PDP. Ceci est expliqué par le fait que les hypothèses de ces méthodes ne s'accordent pas avec les caractéristiques hydrogéologiques des sites étudiés. En effet, même si les aquifères étudiés sont relativement homogènes et isotropes par rapport à leurs propriétés hydrauliques (conductivité hydraulique), il en n'est pas de même pour leurs géométries et leurs limites qui sont beaucoup plus complexe.

Conclusion générale

A travers ce mémoire nous avons exposé une thématique d'une envergure s'est importante car jusqu'à maintenant la satisfaction envisagé porte toujours le caractère quantitatif (assurer l'approvisionnement en eau) et pour remédier à sauvegarder le caractère qualitatif des eaux souterraines, plusieurs méthodes de détermination des PDP existent et diffèrent tant par leur degré de complexité d'application que par leurs coûts. Une méthode est d'autant plus exacte si elle permet l'intégration des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la région étudiée. de ce point reste la méthode des cartes piézométriques qui englobe le moteur d'écoulement vers le captage en dépendant des caractéristique de l'aquifère et ses limites que soient leurs natures.

Aucune étude comparative de périmètres de protection n'a jusqu'à lors été faite pour notre zone d'étude (même pas la détermination de ces derniers) et voir l'absence des cartes hydrogéologique, on s'est trouvé obliger d'utiliser les différentes méthodes et pour choix des valeurs obtenues nous avons jugé de prendre pour chaque périmètre immédiat, rapproché et éloigné les valeurs supérieurs, basé sur une logique de disponibilité du terrain et l'enjeu des risques parcourus.

Annexe I

29 point d'eau de nappe d'el Asnam (wilaya de Bouira).

Point	désignation	X	Y	PR/SOL	PROF	NATURE	OBS
P4 AS	SAADOUI HOCINE	585976	4020730				SEC
	STATION HOTEL SAID	5905592	4020049		40	FORAGE	NOUVEAU FORAGE
P10 AS	F.DJAADA ESSANAM	585722	4021516	0.92	15	PUITS	
P6AS	H17(STA REPRISE	587081	4021294		70	FORAGE	
P12 AS	H3	586310	4020851			FORAGE	
	H17	587120	4020881			FORAGE	à l'arrêt
	H KSEUR	586564	4020887			FORAGE	
	H12	587371	4020877			FORAGE	
		H14	4020059			FORAGE	
	ORAC SUD	592693	4020404			FORAGE	
	ORAC2	591208	4021342	0.13		FORAGE	
	ORAC1	591584	4020721			FORAGE	
	ORAC3	590927	4020735			FORAGE	
	H15 EL ASNAM	587371	4019194			FORAGE	
	H2	568253	4020388			FORAGE	ABANDONNE
	H6	585976	4020730				SEC
	H13	588142	4021199		125	FORAGE	
	H11	587716	4021404			FORAGE	
P8 AS	H8 amar	588687	4021610			FORAGE	
	H chato d'eau	588997	4021424			FORAGE	A l'arrêt
	H prés H11	587949	4021646			FORAGE	A l'arrêt
	H NOUVEAU	587408	4021378			FORAGE	
P9AS	H	586998	40201378			FORAGE	
H EL KASAR		586469	4020642			FORAGE	
H2		568253	4020388			FORAGE	abandonné
H3		585895	4020733				abandonné
P7 AS	PUIT ANCIEN FERME	583727	4020905	0.26	10	PUIT	
P5AS	MOUMOU	587371	4018120			FORAGE	
P13	H15	587395	4019180			FORAGE	

Annexe II

Forage H19 :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

DIRECTION DES SERVICES HYDRAULIQUE DE LA WILAYA DE BOUIRA

ENTREPRISE DE REALISATION SARL OUADHYFOR
BP 68/A ROUIBA
W. ALGER
Téléphone: 061.99.86.83/52.48.52

ESSAIS DE POMPAGE

FORAGE N° : **SABA N°2 (H19)** COMMUNE D'IMPLANTATION : BOUIRA
 CORDONNEES LAMBERT : X: 614.7m Y: 397.2m Z: AU :
 PERIODE DES ESSAIS DU : **29/04/2002** N.S./COTE TOPOGRAPHIQUE :
 N.S./SOL : **46,72** **125m**
 COTE D'ASPIRATION POMPE : **125m**

PALIER N°02 : **05 L/s**

DATE ET HEURE LEGALES	TEMPS			NIVEAU DYNAMIQUE(m)	DEBIT		OBSERVATIONS
	HEURES	MINUTES	SECONDES		l/s	m3/h	
29/04/02 à 12H00		01		53.16	08.33		Réglage vanne
		02		58.68	08.33		
		03		63.90	08.33		
		04		68.40	07.14		Réglage vanne
		05		73.31	07.14		
		06		78.02	06.25		
		07		81.63	06.25		
		08		85.80	06.25		
		09		89.28	06.25		
		10		93.40	06.25		
		11		95.72	06.25		
		12		98.85	05.55		
		13		101.87	05.55		
		14		104.64	05.55		
		15		107.68	05.26		
		17		112.74	05.00		
		20		117.34	05.00		
		22		117.42	02.85		
		25		117.38	02.85		
		30		117.38	02.63		
	35		117.36	02.63			
	40		117.37	02.63			
	45		117.39	02.63			
	50		117.37	02.63			
	55		117.36	02.63			
13H00	01	00		117.39	02.63		

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

DIRECTION DES SERVICES HYDRAULIQUE DE LA WILAYA DE BOUIRA

ENTREPRISE DE REALISATION SARL OUADHYFOR
BP 68/A ROUIBA
W. ALGER
Téléphone: 061.99.86.83/52.48.52

ESSAIS DE POMPAGE

FORAGE N° : **SABA N°2 (H19)** COMMUNE D'IMPLANTATION : BOUIRA
 CORDONNEES LAMBERT : X: 614.7m Y: 397.2m Z: AU :
 PERIODE DES ESSAIS DU : **27/04/2002** N.S./COTE TOPOGRAPHIQUE :
 N.S./SOL : **39,44** **125m**
 COTE D'ASPIRATION POMPE : **125m**

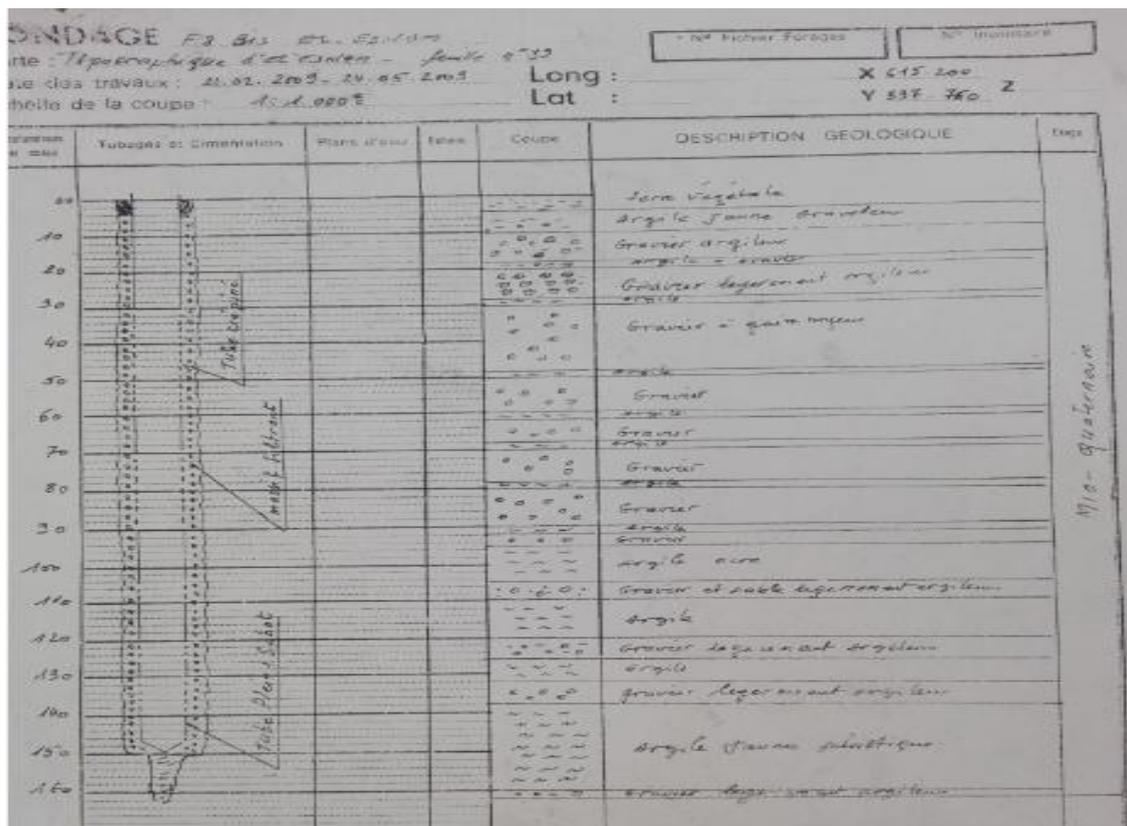
PALIER N°01 : **05 L/s**

DATE ET HEURE LEGALES	TEMPS			NIVEAU DYNAMIQUE(m)	DEBIT		OBSERVATIONS
	HEURES	MINUTES	SECONDES		l/s	m3/h	
27/04/02 à 09H00		01		45.50	06.25		Réglage vanne
		02		48.25	05.55		Réglage vanne
		03		49.55	05.55		
		04		50.42	05.55		
		05		50.50	04.77		Réglage vanne
		06		50.57	04.77		
		07		50.72	04.77		
		08		50.94	04.77		
		09		51.10	04.77		
		10		51.32	04.77		
		11		51.50	04.77		
		12		51.68	04.77		
		13		51.87	04.77		
		14		52.08	04.77		
		15		52.30	04.77		
		17		52.85	04.77		
		20		53.67	04.77		
		22		54.26	04.77		
		25		55.30	04.77		
		30		75.17	04.77		
	35		60.20	04.77			
	40		61.42	04.77			
	45		63.36	04.77			
	50		64.87	04.77			
	55		67.13	04.77			
10H00	01	00		68.98	04.77		

DATE ET HEURE LEGALES	TEMPS			NIVEAU DYNAMIQUE(m)	DEBIT		OBSERVATIONS
	HEURES	MINUTES	SECONDES		l/s	m ³ /h	
27/04/02 10H00	01	05		70.60	04.77		
		10		73.12	04.77		
		15		73.93	04.77		
		20		75.34	04.77		
		30		77.91	04.77		
		40		80.35	04.77		
		50		82.10	04.77		
11H00	02	00		83.52	04.77		
		10		86.10	06.25		Réglage vanne
		20		88.41	05.88		Réglage vanne
		30		109.30	04.34		Réglage vanne
		40		117.24	04.34		
		50		117.26	03.33		Réglage vanne
12H00	03	00		117.27	03.33		
		15		117.29	03.33		
		30		117.37	03.33		
		45		117.31	03.33		
13H00	04	00		117.31	03.33		
		20		117.31	03.33		
		40		117.32	03.33		
14H00	05	00		117.31	03.33		
		30		117.32	03.33		
15H00	06	00		117.33	03.33		
16H00	07	00		117.33	03.33		
17H00	08	00		117.30	03.33		
18H00	09	00		117.33	03.33		
19H00	10	00		117.35	03.33		
20H00	11	00		117.35	03.33		
21H00	12	00		117.35	03.33		
22H00	13	00		117.36	03.33		
23H00	14	00		117.35	03.33		
28/04/02 00H00	15	00		117.35	03.33		
01H00	16	00		117.36	03.33		
02H00	17	00		117.36	03.33		
03H00	18	00		117.37	03.33		
04H00	19	00		117.37	02.03		
05H00	20	00		117.37	02.03		
06H00	21	00		117.36	02.03		
07H00	22	00		117.36	02.03		
08H00	23	00		117.37	02.03		
09H00	24	00		117.37	02.03		

Annexe III

Forage bis el Asnam :



REMONTÉE (0511)

Date et Heures Légales	TEMPS		ND (m)	Observation
	Heures	Minutes		
29.07.2007 à 18 h	00	00	130	
		05		
		10		
		15		
		20		
		25		
		30		
		35		
		40		
		45		
		50		
		55		
	01	00	92,75	
		10		
		20		
		30		
		40		
		50		
	02	00	65,20	
		15		
		30		
		45		
	03	00	27,52	
		30		
	04	00	25,20	
		30		
	05	00	22,12	
	06	00	19,05	
	07	00	18,00	
25.07.2007 à 18 h	08	00	17,15	

L'ENTREPRISE
 Entreprise de forage et travaux liés
M - Aoudjit
 Bechlaoui - Bouling
 RC N°1423838 A03

	05	00		
	06	00		
	07	00	101,15	
	08	00		
	09	00		
	10	00		
	11	00	105,35	13,00
	12	00		
	13	00		
	14	00		
	15	00		
	16	00	109,10	
	17	00		
	18	00		
	19	00		
	20	00	115,95	
	21	00		
	22	00		
	23	00		
20 07 2007 à 10 h	24	00	117,50	13
	25	00		
	26	00		
	27	00		
	28	00		
	29	00		
	30	00		
	31	00		
	32	00		
	33	00		
	34	00		
	35	00		
	36	00		
	37	00	121,20	13,00
	38	00		
	39	00		
	40	00		

(SUITE 02)

	41	00		
	42	00		
	43	00		
	44	00	124,60	
	45	00		
	46	00		
	47	00		
25 07 2008 à 10 h	48	00		
	49	00		
	50	00	127,30	13,00
	51	00		
	52	00		
	53	00		
	54	00		
	55	00		
	56	00		
	57	00		
	58	00		
	59	00		
	60	00		
	61	00		
	62	00		
	63	00		
	64	00		
	65	00		
	66	00		
	67	00		
	68	00		
	69	00		
	70	00		
	71	00	129,92	
29 07 2007 à 10 h	72	00	130,00	13,00

L'ENTREPRISE

Entreprise de Forage et Travaux Buraux
M - AOUJIT
 Bechloul - Bogira
 R.C.N° 1423835/A03

Annexe IV

Forage H 14 :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

WILAYA DE BOUIRA
D.D.A.H.A.
S.D.E.G.R.
S.E.

ESSAIS DE POMPAGE

ENTREPRISE DE REALISATION
QUADRYFER - SARL

FORAGE N° : EL-ASNAH H14 COORDONNEE D'IMPLANTATION : EL-ASNAH
COORDONNEES LANCHEUR : X : 615.500 Y : 337.850
PERIODE DES ESSAIS : DU 13/09/91 AU 14/09/91
FS/SOL : 14 IS/COTE TOPOGRAPHIQUE : _____
COTE D'ASPIRATION POMPE : 96M
PALIER N° 01

DATE ET HEURES ESSAIS	T E M P S			NIVEAU DYNAMIQUE I m	D E B I T		OBSERVATIONS
	HEURES	MINUTES	SECONDES		L / S	XV / H	
13/09/91 15H	00	00		13.40			
		01		22.35			
		02		25.40			
		03		28.37			
		04		30.30			
		05		33.13			18
		06		35.50			
		07		36.23			
		08		38.20			
		09		39.50			
		10		40.63			
		11		41.20			
		12		42.20			
		13		43.25			
		14		44.55			
		15		45.20			
		16		46.40			
		17		47.50			
		18		48.50			
		19		49.53			18
20		50.53					
21		51.20					
22		51.67					
23		52.03					
24		52.20					
25		52.49			18		
26		52.72					

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

WILAYA DE BOUIRA
D.D.A.H.A.
S.D.E.G.R.
S.E.

ESSAIS DE POMPAGE

ENTREPRISE DE REALISATION
QUADRYFER - SARL

FORAGE N° : EL-ASNAH H14 COORDONNEE D'IMPLANTATION : EL-ASNAH
COORDONNEES LANCHEUR : X : 615.500 Y : 337.850
PERIODE DES ESSAIS : DU 13/09/91 AU 14/09/91
FS/SOL : 14 IS/COTE TOPOGRAPHIQUE : _____
COTE D'ASPIRATION POMPE : 96M
PALIER N° 01

DATE ET HEURES ESSAIS	T E M P S			NIVEAU DYNAMIQUE I m	D E B I T		OBSERVATIONS
	HEURES	MINUTES	SECONDES		L / S	XV / H	
13/09/91 16H	00	01	45	52.98			
		02	40	53.40			
		03	15	53.30			
		04	20	53.44			
		05	10	53.30			
		06	40	54.15			18
		07	30	54.44			
		08	00	54.20			
		09	10	55.05			
		10	20	55.53			18
		11	30	55.22			
		12	40	55.20			
		13	50	56.18			
		14	00	56.55			
		15	15	56.42			
		16	30	56.22			
		17	45	57.20			
		18	00	57.58			
		19	20	57.20			
		20	40	57.00			
21	00	58.01					
22	10	57.40					
23	20	57.05					
24	30	57.52					
25	40	58.00					
26	50	58.46					
27	00	58.26					

WILAYA DE BOUIRA

D.D.A.H.A.

S.D.S.C.A.

SRC.

ESSAIS DE FORAGE

ENTREPRISE DE FORAGE

QUADRYER - SARL

FORAGE N° : EL ASNAD H14 COURSE D'IMPLANTATION : EL ASNAD

COORDONNEES LAURENCE : X : 615.500 Y : 337.250

PERIODE DES ESSAIS : DU 15/03/91 AU 17/03/91

IS/SOL : _____ IS/COTE TOPOGRAPHIQUE : _____

COTE D'ASPIRATION POMPE : 96.9

FALIER N° 02 2^e Dég.

DATE ET HEURES LEGALES	T E M P S			NIVEAU DYNAMIQUE en m.	D E B I T		OBSERVATIONS
	HEURES	MINUTES	SECONDES		L / S	M ³ /H	
<u>15/03/91 à 14H00</u>	00	00		13.30			
		01		24.00			
		02		30.52			
		03		36.56			
		04		41.60			
		05		45.46			
		06		49.21			
		07		52.43			
		08		55.29			
		09		58.54			
		10		01.06			
		11		02.53			
		12		03.29			
		13		05.50			
		14		07.00			
15		08.27					
16		09.30					
17		10.46					
18		11.29					
19		12.29					
20		13.32					
21		14.38					
22		15.38					
23		16.40					
24		17.23			22		
25		18.25					
26		19.25					
27		20.40					
28		21.28					
29		22.23			22		
30		23.23					
31		24.23					
32		25.28					
33		26.40					
34		27.25					
35		28.40					
36		29.28					
37		30.28					
38		31.28					
39		32.23					
40		33.23					
41		34.23					
42		35.28					
43		36.23					
44		37.23					
45		38.23					
46		39.23					
47		40.23					
48		41.23					
49		42.23					
50		43.23					
51		44.23					
52		45.23					
53		46.23					
54		47.23					
55		48.23					
56		49.23					
57		50.23					
58		51.23					
59		52.23					
60		53.23					
61		54.23					
62		55.23					
63		56.23					
64		57.23					
65		58.23					
66		59.23					
67		00.23					
68		01.23					
69		02.23					
70		03.23					
71		04.23					
72		05.23					
73		06.23					
74		07.23					
75		08.23					
76		09.23					
77		10.23					
78		11.23					
79		12.23					
80		13.23					
81		14.23					
82		15.23					
83		16.23					
84		17.23					
85		18.23					
86		19.23					
87		20.23					
88		21.23					
89		22.23					
90		23.23					
91		24.23					
92		25.23					
93		26.23					
94		27.23					
95		28.23					
96		29.23					
97		30.23					
98		31.23					
99		32.23					
100		33.23					
101		34.23					
102		35.23					
103		36.23					
104		37.23					
105		38.23					
106		39.23					
107		40.23					
108		41.23					
109		42.23					
110		43.23					
111		44.23					
112		45.23					
113		46.23					
114		47.23					
115		48.23					
116		49.23					
117		50.23					
118		51.23					
119		52.23					
120		53.23					
121		54.23					
122		55.23					
123		56.23					
124		57.23					
125		58.23					
126		59.23					
127		00.23					
128		01.23					
129		02.23					
130		03.23					
131		04.23					
132		05.23					
133		06.23					
134		07.23					
135		08.23					
136		09.23					
137		10.23					
138		11.23					
139		12.23					
140		13.23					
141		14.23					
142		15.23					
143		16.23					
144		17.23					
145		18.23					
146		19.23					
147		20.23					
148		21.23					
149		22.23					
150		23.23					
151		24.23					
152		25.23					
153		26.23					
154		27.23					
155		28.23					
156		29.23					
157		30.23					
158		31.23					
159		32.23					
160		33.23					
161		34.23					
162		35.23					
163		36.23					
164		37.23					
165		38.23					
166		39.23					
167		40.23					
168		41.23					
169		42.23					
170		43.23					
171		44.23					
172		45.23					
173		46.23					
174		47.23					
175		48.23					
176		49.23					
177		50.23					
178		51.23					
179		52.23					
180		53.23					
181		54.23					
182		55.23					
183		56.23					
184		57.23					
185		58.23					
186		59.23					
187		00.23					
188		01.23					
189		02.23					
190		03.23					
191		04.23					
192		05.23					
193		06.23					
194		07.23					
195		08.23					
196		09.23					
197		10.23					
198		11.23					
199		12.23					
200		13.23					
201		14.23					
202		15.23					
203		16.23					
204		17.23					
205		18.23					
206		19.23					
207		20.23					
208		21.23					
209		22.23					
210		23.23					
211		24.23					
212		25.23					
213		26.23					
214		27.23					
215		28.23					
216		29.23					
217		30.23					
218		31.23					
219		32.23					
220		33.23					
221		34.23					
222		35.23					
223		36.23					
224		37.23					
225		38.23					
226		39.23					
227		40.23					
228		41.23					
229		42.23					
230		43.23					
231		44.23					
232		45.23					
233		46.23					
234		47.23					
235		48.23					
236		49.23					
237		50.23					
238		51.23					
239		52.23					
240		53.23					
241		54.23					
242		55.23					
243		56.					

WILAYA DE BOUIRA

D.D.A.H.A.
S.D.H.O.E.

ESSAIS DE FORAGE

ENTREPRISE DE REALISATION

QUADRYFAC - SARL

SRE

FORAGE N° : EL ASNAT H14 COORDONNEE D'EMPLANTATION : EL ASNAT

COORDONNEES LAMBERT : X : 615.500 Y : 337.250

PERIODE DES ESSAIS : DU 15/03/99 AU 17/03/99

YS/SOL : _____ YS/COTE TOPOGRAPHIQUE : _____

COTE D'ASPIRATION POMPE : 969

PALIER N° 02 2^e Dég. 1

DATE ET HEURES LOCALES	T E M P S			NIVEAU DYNAMIQUE IS. M.	D E B I T		OBSERVATIONS
	HEURES	MINUTES	SECONDES		L/S	M ³ /H	
<u>15/03/99 à 14H00</u>	00	00		13.30			
		01		24.00			
		02		30.53			
		03		36.56			
		04		41.60			
		05		45.46			
		06		49.21			
		07		52.29			
		08		55.29			
		09		58.84			
		10		60.02			
		11		62.23			
		12		63.29			
		13		65.60			
		14		67.02			
		15		68.27			
		17		70.30			
		19		71.46			
		22		72.21			
		25		74.32			
	30		75.78				
	35		76.80				
	40		77.23		22		
	45		77.75				
	50		78.10				
	55		78.28				
<u>15H</u>	01	00		78.63		22	

Annexe IV

Forage H17 :

(SUITE 01)

	05	00	54,48	
	06	00	54,59	
	07	00	54,71	
	08	00	54,82	
	09	00	54,93	
	10	00	55,05	18
	11	00	55,16	
	12	00	55,27	
	13	00	55,36	
	14	00	55,47	
	15	00	55,56	
	16	00	55,65	
	17	00	55,77	
	18	00	55,87	
	19	00	55,99	
	20	00	56,10	
	21	00	56,21	
	22	00	56,32	
	23	00	56,42	
17.11.2001	24	00	56,51	
	25	00	56,62	
	26	00	56,72	
	27	00	56,83	
	28	00	56,93	18
	29	00	57,03	
	30	00	57,13	
	31	00	57,24	
	32	00	57,34	
	33	00	57,45	
	34	00	57,54	
	35	00	57,64	
	36	00	57,73	
	37	00	57,82	
	38	00	57,91	
	39	00	58,03	
	40	00	58,10	

ESSAI DE DEBIT

NOM DU FORAGE : H 17 EL- ESNAM
 COMMUNE D' IMPLANTATION : EL -ESNAM
 COORDONNEES LAMBERT : X = 04.110 , Y = 337.700
 PERIODE D'ESSAI , DU : 16.11.2001 , AU : 19.11.2001
 COTE D 'ASPIRATION DE LA POMPE : 160 m
 NS/SOL : 27 m

PALIER N° 01 : DESCENTE (72 H)

Date et Heures	TEMPS		N.L.D (m)	DEBITS (l/s)	OBSERVATIONS
	Heures	Minutes			
16.11.2001 à 7 H	00	00	27,00		
		05	29,51	18	
		10	31,20		
		15	32,12		
		20	33,24		
		25	34,38		
		30	35,50		
		35	36,42		
		40	37,58		
		45	38,44		
		50	39,40		
		55	40,29		
	01	00	41,65		
		10	42,89		
		20	43,38		
		30	44,42	18	
		40	45,35		
		50	46,48		
	02	00	47,59		
		15	48,61		
		30	49,70		
		45	50,55		
	03	00	51,47		
		30	52,35		
	04	00	53,24		
		30	54,36		

REMONTEE (08 H)

Date et Heures Légales	TEM PS		ND (m)	Observation	
	Heures	Minutes			
19.11.2001	00	00	60,00		
		05	56,82		
		10	52,73		
		15	48,69		
		20	46,71		
		25	44,56		
		30	42,53		
		35	40,70		
		40	38,66		
		45	36,49		
		50	34,51		
		55	32,72		
		01	00	31,25	
			10	30,28	
			20	29,77	
			30	29,60	
	40		29,50		
	50		29,41		
	02	00	29,32		
		15	29,21		
		30	29,12		
	03	45	29,03		
		00	28,95		
		30	28,90		
	04	00	28,86		
		30	28,80		
	05	00	28,73		
	06	00	28,67		
	07	00	28,60		
	08	00	28,52		

L'ENTREPRISE

رسالة من السيد المهندس
 في الحفر والانشاء الريحية
 في شارع بدير محمد - أمزاز
 رقم ت: 41.50.17 / 99

Référence Bibliographique

- [1] : Daniel Paradis, Richard Martel, Yves Michaud² et René Le Febvre
[https://www.researchgate.net/publication/258022427 Etude comparative des methodes de determination des perimetre](https://www.researchgate.net/publication/258022427_Etude_comparative_des_methodes_de_determination_des_perimetre), in the Research Gate, Octobre1995, consulté le20/09/2018.
- [2] : journal officiel de la république algérienne N:60,
http://www.droitafrique.com/upload/doc/algerie/Algerie-Loi-2005-12_eau.pdf, 04 septembre2005, consulté le 21/09/2018.
- [3] : Julie Gauthier, <http://grenville.ca/wp-content/uploads/2017/07/%C3%89tude-hydrog%C3%A9ologique.pdf>, 26 mai 2017, consulté le 22/10/2018.
- [4: KanJean KOUAME, Jean Patrice JOURDA, Serge Kouakou DEH, Edoukou Jacques DJEMIN, Mahaman Bachir SALEY, Abenan Tawa ANANI et Jean BIEMI ,
[https://www.researchgate.net/publication/272330862_Apport_des_methodes_mathematiques dans la delimitation des perimetres de protection autour des ouvrages de captage des e aux souterraines d%27Abidjan Cote d%27Ivoire](https://www.researchgate.net/publication/272330862_Apport_des_methodes_mathematiques_dans_la_delimitation_des_perimetres_de_protection_autour_des_ouvrages_de_captage_des_eaux_souterraines_d%27Abidjan_Cote_d%27Ivoire), Mars 2014, consulter 21/20/2018
- [5] : SFERDJLI Fouzia, les périmètres de protection des ouvrages de captage des eaux souterrains, thèse de master en science de la terre et de l'université de Telemcen, 29 octobre2015.
- [6] : DANIEL Paradis, «comparaison des méthodes de détermination des périmètres de protection des ouvrage de captage d'eau dans les aquifères granulaires du piémont laurentien», thèse de grade de maître des sciences, université du Québec, septembre2000.
- [7] : GILBERT Karanta, « étude comparative des méthodes de détermination des périmètres de protection autour des ouvrages de captage dans les aquifères captifs fracturés du sud-ouest du Québec», », thèse de grade de maître des sciences, université du Québec, octobre2002
- [8] : Nassah et Omdi, Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines Cas du champ captant du N'Fis(Maroc), mémoire fin d'études licence science et technique eau et environnement, université du Marrakech, 28 juin 2011.
- [9] :Salim FRIOUA, localisation et caractérisation des zones sources de pollution des ressources en eau de la ville de biskra a l'aide de S.I.G, Mémoire de master, Mohamed Khider Biskra, 2014
- [10] : BRGM 2005 guide méthodologique, cartographie de la vulnérabilité en vue de la délimitation des périmètres de protection en milieu karstique, mars 2010

Résumé

Les activités humaines, qu'elles soient des rejets d'eaux usées, industrielles ou agricole sont souvent la cause de la dégradation des sources d'eau potable (forage, puits, source), ce qui nécessite des périmètres de protection comprenant la surface et le sous-sol au tour d'un ouvrage de captage.

Notre travail se base sur une étude comparative des méthodes de détermination des périmètres de protection des forages.

Dans un premier temps, nous avons commencé par une étude bibliographique, afin de donner un ensemble de définition théorique très importante qui nous permet de bien aborder le sujet.

Puis, une application des méthodes de détermination des périmètres de protection des forages. Finalement, nous avons utilisé le logiciel wharm tout en offrant une comparaison des méthodes de protection

Il existe plusieurs méthodes de détermination des périmètres de protection variant de simple d'application à des méthodes complexes, pour cela notre mémoire se base sur l'application et la comparaison des résultats, afin d'utiliser la méthode la plus précise et de garantir la meilleure qualité de l'eau.

Abstract

Human activities are rejections of waste, industrial water or agricultural, they are often the cause of the degradation of the sources of drinking water (drilling, well, source), which requires perimeters of protection understanding the surface and the basement in the tour of a work of harnessing.

Our work is based on a comparative study of methods for determining types of protection perimeters. At first, we started with a bibliographic study, in order to give a very important definition which allows us to have a good approach on the subject. Then, we talked about the application of methods for determining of protection perimeters. Finally, we used the wharm software while offering comparisons of protection methods.

There are several methods of determination of the perimeters of protection, this method are different some of them are simple and others are quite complicated, for this reason our memory bases on the application and the comparison of the results, to use the most precise method and guarantee the best quality of the water.

المخلص

إن تدهور حالة المياه الجوفية (أبار, ينابيع, بئر) ناتجة عن رمي النفايات الصناعية أو الزراعية أو قنوات الصرف الصحي فالمتسبب الرئيسي في تلوثها هو الإنسان و هذا ما دفعنا إلى تحديد محيط الحماية سواء على المستوى السطحي أو في جوف الأرض. حيث يعتمد عملنا على دراسة مقارنة لطرق تحديد محيط حماية الآبار. في البداية، قمنا بدراسة بيليوغرافية، من أجل تقديم تعريفات نظريتي التي نسمح لنا بتكويين منهج جيد حول هذا الموضوع، ثم تطبيق طرق تحديد محيط حماية الآبار. وأخيراً، استخدمنا أيضاً برنامج وام و قمنا بالمقارنة بين النتائج المتحصل عليها.

توجد عدة طرق لحساب محيط الحماية تختلف هذه الطرق فيما بينها في صعوبتها و دقتها ما دفعنا إلى وضع مقارنة حسابية تهدف إلى الحصول على طريقة دقيقة في حساباتها من أجل ضمان جودة المياه.

