

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider- Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique



جامعة محمد خيضر – بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري

Ref : /2020

Mémoire de Master

Option : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

THEME

**PERIMETRES DE PROTECTION DE LA NAPPE
ALLUVIALE DE OUED BISKRA**

Etudiant :

Khaled DEFFA

Encadreur :

Dr. Abdallah LABADI

PROMOTION : Juil 2020

DEDICACE

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ma mère et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur

Encouragement

A ma chère femme et à mes enfants

GHANEM et SALEM

A mes frères

A mes amis et mes camarades

Sans oublier tout les professeurs et les enseignements

Et a mon encadreur ABDALLAH LABADI

et

FAYCAL LATER

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au Département d'hydraulique de l'université de Biskra, dirigé par Monsieur A. LABADI et qu'il soit ici vivement remercié.

Nous tenons également à présenter nos vifs remerciements et notre gratitude à monsieur A .LABADI, notre encadreur, pour avoir accepté de diriger ce travail malgré ses occupations professionnelles et à Monsieur Fayçal LATER, le co-encadreur qui nous a dirigés de près et nous a beaucoup aidés afin de réussir ce travail.

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué, à notre aide soit de près ou loin pour que notre travail soit à la hauteur, et particulièrement le chef du Département de Génie Civil et d'Hydraulique, et tous mes enseignants, mes amis et collègues de l'Université de BISKRA

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

Notions d'hydrogéologie

I.1	Introduction	3
I.2	Les types de nappe.....	3
I.2.1	Aquifère à nappe libre.....	3
I.2.2	Aquifère à nappe captive.....	4
I.2.3	Aquifère à nappe semi-captive ou à drainance.....	5
I.3	Une grande variété de réservoirs d'eau souterraine.....	6
I.4	Les variations du niveau des nappes.....	7
I.4.1	Les nappes d'eau souterraine fluctuent.....	7
I.4.2	Les cycles de recharge et de vidange des nappes	8
I.4.3	Influence des activités humaines sur le niveau des nappes.....	8
I.5	la piézométrie	9
I.5.1	Le piézomètre	9
I.5.2	La mesure piézométrique	9
I.6	Les paramètres hydrodynamiques	10
I.7	La perméabilité.....	11
I.7.1	Quelques ordres de grandeurs de vitesses d'écoulement selon le type de porosité	11
I.7.2	Le coefficient de perméabilité (de Darcy)	12
I.7.3	Quelques ordres de grandeurs de coefficients de perméabilité	13
I.7.4	La transmissivité.....	13
I.7.5	Le coefficient d'emmagasinement.....	13
I.8	Aquifères alluviaux.....	14
I.8.1	Généralités sur les relations nappes rivières	16
I.9	Conclusion.....	17

Chapitre II

Périmètres de protection

II.1	Introduction	19
II.2	Les captages d'eau souterraine	19
II.2.1	Les puits	19
II.2.2	Les forages	20
II.2.3	Les sources	21
II.3	Généralités sur les polluants et la pollution des eaux souterraines.....	22
II.3.1	Naturel.....	22
II.3.2	Agricole.....	23
II.3.3	Industriel	23
II.3.4	Résidentiel.....	24
II.3.5	Transfert des polluants dans les eaux souterraines	25
II.4	Les périmètres de protections.....	25
II.4.1	Objectif des périmètres de protection	26
II.4.2	Les types de périmètre de protection	26
II.4.2.1	Périmètre de protection immédiat (PPI)	27
II.4.2.2	Périmètre de protection rapproché (PPR)	27
II.4.2.3	Périmètre de protection éloigné (PPE).....	28
II.4.3	Détermination du bassin d'alimentation du captage.....	28
II.4.4	Détermination du cône de rabattement ou de la zone d'appel	29
II.4.5	Délimitation des zones de protection.....	30
II.4.5.1	Sources	30
II.4.5.2	Forage	33
II.4.5.3	Sans données hydrogéologiques.....	36
II.4.6	Méthode de Wyssling	36
II.4.6.1	Grandeurs spécifiques (hydrogéologiques	37
II.4.6.2	Grandeurs à calculer	37
II.5	La protection des eaux souterraines selon la législation algérienne	38
II.5.1	Loi n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux.....	39
II.5.2	Loi n°05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau.....	39
II.5.3	Décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007	40
II.5.4	Décret exécutif n°10-73 du 06 février 2010.....	41
II.6	Conclusion.....	41

Chapitre III

Notions sur les essais de pompage

III.1	Introduction	43
III.2	Notions fondamentales sur les essais de pompage	43
III.3	Principaux types d'essais de pompage.....	44
III.3.1	Essai par paliers	45
III.3.2	Essai à débit constant	45
III.3.3	Essai de remontée	45
III.4	Préparatifs de l'essai de pompage	45
III.4.1	Équipement d'observation de base	46
III.4.1.1	Observation du niveau d'eau.....	46
III.4.1.2	Observation des débits de pompage	48
III.4.1.3	Autre équipement disponible.....	49
III.4.1.4	Récolte d'informations.....	50
III.5	Essai par paliers	51
III.6	Détermination des caractéristiques hydrodynamiques à partir des essais de pompage	52
III.6.1	Le pompage longue durée ou essai de nappe	53
III.6.2	Régime d'équilibre ou régime permanent : essais de pompage	56
III.6.3	Régime transitoire.....	56
III.6.4	Détermination de la transmissivité par la méthode de JACOB	57
III.7	Conclusion.....	58

Chapitre IV

La nappe alluviale de Oued Biskra

IV.1	Description générale de la zone d'intervention	60
IV.1.1	Localisation de la zone d'étude	60
IV.1.2	Contexte administratif.....	61
IV.1.3	Cadre climatique.....	61
IV.1.4	Contexte physique	62
IV.2	Cadre géologique	62
IV.3	Contexte hydrogéologique de la zone d'étude	63
IV.3.1	Lithologie et géométrie de l'aquifère.....	64
IV.3.2	Porosité efficace	65
IV.3.3	Perméabilité.....	67
IV.4	Prélèvements pour l'AEP	68
IV.5	Vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale	71
IV.5.1	L'épaisseur de la zone non saturée	71

IV.5.2	La nature de la zone non saturée	71
IV.5.3	Le type de nappe.....	71
IV.5.4	La perméabilité de l'aquifère	72
IV.5.5	La relation avec le réseau hydrographique.....	72
IV.6	Etat des forages de oued Biskra.....	74
IV.7	Les perimetres de protection	77
IV.7.1	Périmètre de protection immédiat.....	78
IV.7.2	Périmètres de protection sans données hydrogéologiques	78
IV.7.3	Méthode de Wyssling	79
IV.8	Conclusion.....	82
Conclusion générale.....		83
Références bibliographiques		85

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma de l'aquifère à nappe libre, (d'après G. CASTANY, 1982).	4
Figure I.2 : Schéma de l'aquifère à nappe captive (d'après G. CASTANY, 1982).	5
Figure I.3 : Schéma de la drainance.....	6
Figure I.4 : Principaux types d'aquifères (extrait de l'ouvrage « les eaux souterraines en France »).....	7
Figure I.5 : Profondeur de la nappe (BRGM).....	9
Figure I.6 : Nivellement Général	10
Figure I.7 : Repère de mesure.....	10
Figure I.8 : Vitesse d'écoulement en fonction de la porosité.....	12
Figure I.9 : Coefficient d'emmagasinement.....	14
Figure I.10 : Schéma hydrodynamique simplifié de l'équilibre des échanges au sein d'une nappe alluviale en terrains perméables (D'après MEGNIEN, 1979)	15
Figure I.11 : Echanges nappe-rivière - A- la nappe alimente la rivière - B - la rivière alimente la nappe (Winter et al., 1998).....	16
Figure I.12 : Relation d'une nappe alluviale avec les terrains encaissants	16
Figure I.13 : Relations hydrodynamiques entre la nappe et la rivière (BRGM)	17
Figure II.1 : Puits maçonné de 2m de diamètre.....	20
Figure II.2 : Un forage en cours de réalisation [2].....	21
Figure II.3 : Source naturelle.....	22
Figure II.4 : Schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologiques.	25
Figure II.5 : Définition des périmètres de protection d'un captage d'eau potable [8].....	27
Figure II.6 : Zone d'appel (Daniele B. & al. 2012).	29
Figure II.7 : Périmètre de protection immédiat (PPI) pour une source (Vassolo 2014).	31
Figure II.8 : Périmètre de protection rapprochée d'une source (Vassolo 2014).	32
Figure II.9 : Délimitation du PPE d'une source (Vassolo 2014).....	33
Figure II.10 : Délimitation du périmètre de protection immédiat (PPI) pour les forages (Daniele B. & al. 2012).	34
Figure II.11 : Dimensionnement des zones PPR et PPE (Daniele B. & al. 2012).....	35
Figure II.12 : Schéma d'écoulement avec les grandeurs utilisées dans la méthode de Wyssling.....	38
Figure III.1 : Schéma de l'essai par paliers	52
Figure III.2 : Exemple de pompage longue durée	54
Figure III.3 : Évolution des rabattements en fonction du temps lors d'un essai à débit constant	55
Figure III.4 : Exemple d'interprétation simple d'un essai à débit constant	55
Figure IV.1 : Localisation générale de la zone d'étude	60
Figure IV.2 : Localisation de la zone d'étude	60
Figure IV.3 : Champ de captage de l'Oued Biskra (partie avale).....	61
Figure IV.4 : Altitude de la zone d'étude du champ de captage	62
Figure IV.5 : Coupe géologique synthétique de la région de Biskra.....	62

Figure IV.6 : Extrait de la carte géologique de la région de Biskra Echelle/1 :200 000 (ANRH d'après R.GUIRAUD, 1973).....	63
Figure IV.7 : Esquisse géologique de la nappe alluviale	64
Figure IV.8 : Coupe hydrogéologique schématique	65
Figure IV.9 : Carte des transmissivités de la nappe alluviale de oued Biskra	67
Figure IV.10 : Forages AEP en service.....	69
Figure IV.11 : Prélèvements moyens mensuels du champ captant de l'Oued Biskra (Source ADE 2018).	70
Figure IV.12 : Schéma d'écoulement avec les grandeurs mesurées par la méthode de Wyssling pour le forage B1, SIF4 et F1	81

Liste des photos

Photo IV.1 : Forages captant la nappe alluviale de oued Biskra	69
Photo IV.2 : Forage B1	75
Photo IV.3 : Forages sans abris	76
Photo IV.4 : Installation électrique des forages.....	77
Photo IV.5 : Décharge sauvage au sein même du lit de l'oued	78

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Quelques ordres de grandeurs des valeurs de porosités totale et efficace	11
Tableau I.2 : Quelques ordres de grandeurs de coefficients de perméabilité.....	13
Tableau IV.1 : Liste des forages AEP de la zone d'étude.....	68
Tableau IV.2 : Volumes annuels prélevés par l'ADE.....	70
Tableau IV.3 : Critères de vulnérabilité avec leurs notes pondérées.....	73
Tableau IV.4 : Correspondance entre la note pondérée et la classe de vulnérabilité	73
Tableau IV.5 : Les critères de vulnérabilité des forages étudiés dans la nappe alluviale de Oued Biskra.....	74
Tableau IV.6 : Caractéristique du forage B1.....	74
Tableau IV.7 : Estimation des PPR et PPE en fonction du débit de pompage.....	79

***INTRODUCTION
GENERALE***

INTRODUCTION GENERALE

La maîtrise des ressources en eau est un facteur capital pour le développement des activités sociales, économiques, agricoles et industrielles. Une exploitation rationnelle nécessite la connaissance de toutes les ressources en eau sous quelque forme que ce soit. Qu'elles fussent de surface ou souterraines.

Biskra, de par ses conditions physiques montre une grande hétérogénéité dans la répartition et le potentiel de ses ressources. Certaines régions apparaissent à priori défavorisées, d'autres n'exploitent peut être pas toutes les ressources disponibles. Dans tous les cas, la coordination de l'exploitation de toutes les ressources en eau est donc indispensable pour une mise en valeur optimale de ce patrimoine qu'est l'eau.

La nappe alluvionnaire de oued Biskra est une des nappes phréatiques qui sont traditionnellement exploitées dans les Zibans. Elle constitue, en outre, avec ses dizaine de forages d'exploitation une source non négligeable d'alimentation en eau potable d'une partie de la ville.

Le présent travail traite de l'étude des périmètres de protection de la nappe alluviale et de son importance dans la préservation de cet aquifère.

Pour ce faire, nous avons scindé notre étude en quatre principaux chapitres :

Nous avons voulu donner dans le premier chapitre les grands traits sur l'hydrogéologie, en passant en revue certaines définitions relatives à l'eau dans le sol et les mécanismes qui régissent l'écoulement des eaux souterraines.

Le second chapitre traite des périmètres de protection des forages. Après la définition et mise en valeur de l'importance des types de périmètre, nous avançons une synthèse des méthodes d'estimation et de mesure de ces périmètres.

Le troisième chapitre concerne les essais de pompages et les différentes méthodes de caractérisation hydrodynamique des aquifères, ainsi que leur importance dans la mesure et l'estimation des paramètres hydrodynamiques des terrains traversés par des forages.

Enfin, nous essayons dans le quatrième chapitre d'étudier l'aquifère alluviale de oued Biskra. Après la présentation de la nappe et l'historique de son exploitation, nous donnerons un bref aperçu sur la situation et l'état dans lequel se trouve cet aquifère.

Le fait marquant et navrant est l'absence de périmètres de protection, et ce qui est plus grave et dangereux est l'absence totale de périmètre de protection immédiat pour l'ensemble des forages.

Nous avons essayé d'estimer, avec l'aide de certaines méthodes, les dimensions et les grandeurs des périmètres de protection des forages existants au niveau de la nappe alluviale.

Chapitre I

Notions d'hydrogéologie

I.1 INTRODUCTION

L'hydrogéologie s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface.

Les études hydrogéologiques reposent sur les sciences de la terre : la géologie et l'hydrologie, mais aussi sur la physique, la chimie, la biologie, l'hydraulique souterraine, l'analyse numérique, les techniques de modélisation, mais aussi du forage (sondage, essais in-situ, Carottages, Piézomètres...)

Les études hydrogéologiques ont pour but, d'une part, de mettre en évidence les problèmes posés par la présence d'eau souterraine, et d'autre part, de fournir tous les éléments nécessaires de connaissance sur les nappes et les écoulements.

Une nappe d'eau souterraine est l'eau contenue dans les interstices ou les fractures ou fissures d'une roche du sous-sol.

La roche réservoir est une formation géologique suffisamment poreuse et/ou fissurée (pour stocker de l'eau) et perméable (où l'eau circule librement), contenant de façon temporaire ou permanente de l'eau mobilisable. On ne parle d'aquifère que si la formation est capable de restituer l'eau souterraine naturellement ou par exploitation (drainage, pompage,...).

I.2 LES TYPES DE NAPPE

I.2.1 Aquifère à nappe libre

La formation aquifère n'est pas saturée sur toute son épaisseur. Il existe entre la surface de la nappe et la surface du sol, ou la base de la formation argileuse supérieure lorsqu'elle existe, une zone de terrain non saturé contenant de l'air. Le niveau de la nappe est appelé niveau piézométrique. L'ensemble des niveaux piézométriques mesurés en différents points à une date donnée, détermine la surface piézométrique. Elle est représentée par des courbes d'égal niveau piézométrique ou courbes hydroisohypses. La surface piézométrique représente la limite supérieure de l'aquifère, c'est la limite hydrodynamique.

Dans le cas d'un aquifère à nappe libre, le niveau statique se trouve toujours sous le niveau du sol.

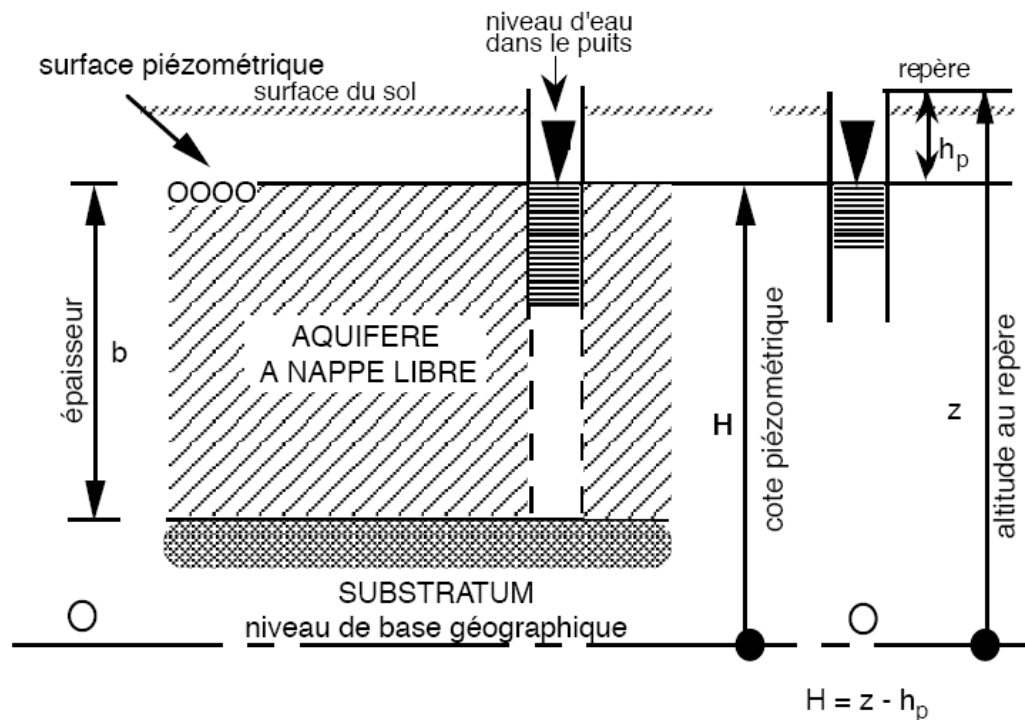


Figure I.1 : Schéma de l'aquifère à nappe libre, (d'après G. CASTANY, 1982).

I.2.2 Aquifère à nappe captive

La formation aquifère est saturée sur toute son épaisseur ; elle est limitée vers le haut par une couche imperméable ou semi-perméable. Le niveau statique est virtuel tant qu'un forage ou un piézomètre n'a pas atteint l'aquifère. Il se trouve toujours au-dessus de la base de la couche imperméable supérieure, le forage est dit artésien.

Lorsque le niveau statique se trouve au-dessus du sol, le forage est dit artésien jaillissant ; il s'écoule naturellement sans pompage. C'est notamment le cas des forages de la nappe dite albienne dont la base du toit est à une profondeur de plus de 1800 mètres dans la région de Biskra. Compte tenu de la situation en profondeur, l'aquifère subit une pression géostatique égale au poids de la colonne de terrain (densité moyenne de 2,5 bar par tranche de 10 m) qui le surmonte jusqu'à la surface du sol.

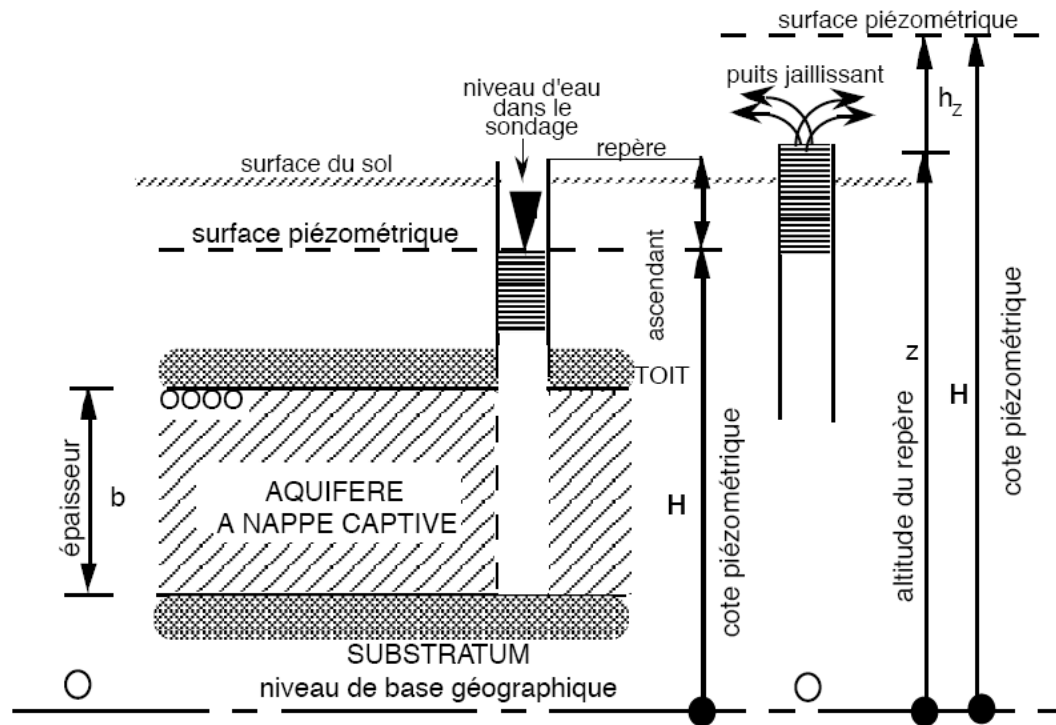


Figure I.2 : Schéma de l'aquifère à nappe captive (d'après G. CASTANY, 1982).

I.2.3 Aquifère à nappe semi-captive ou à drainance

L'importance du mécanisme de drainance repose sur le fait que des débits importants peuvent traverser des horizons imperméables ou semi-perméables lorsque la superficie de cet horizon est grande et qu'il existe une différence de pression de part et d'autre de cet horizon.

D'après G. CASTANY, le toit ou le substratum (ou les deux) de l'aquifère sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable. Celle-ci permet, dans certaines conditions hydrodynamiques favorables (différence de charge) des échanges d'eau avec l'aquifère superposé ou sous-jacent. Ce phénomène, appelé drainance, implique un aquifère de nappe semi-captive.

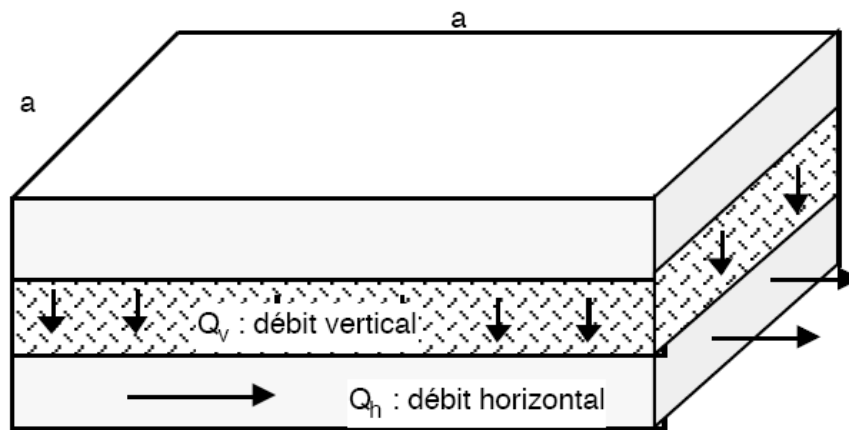


Figure I.3 : Schéma de la drainance

I.3 UNE GRANDE VARIETE DE RESERVOIRS D'EAU SOUTERRAINE

Les aquifères présentent des particularités liées à la nature géologique et à la géométrie des formations rocheuses qui les constituent.

La diversité des roches réservoirs, roches pouvant contenir de l'eau, combinée à celle des climats et des formes du relief entraîne une grande variété de nappes d'eau souterraine, à la fois en taille, en profondeur et en comportement (sigesbre.brgm).

Les formations géologiques, sédimentaires pour l'essentiel, qui composent le sous-sol ont, lorsqu'elles sont assez perméables et poreuses, la capacité de permettre les écoulements de l'eau et de l'emmagasiner. Elles constituent alors des aquifères dans lesquels le comportement des eaux souterraines est très variable selon les caractéristiques physiques et structurales des terrains.

Les aquifères se caractérisent principalement par leur lithologie, leur structure (épaisseur, morphologie des couches, plissements, fracturation...), leur porosité efficace et leur perméabilité.

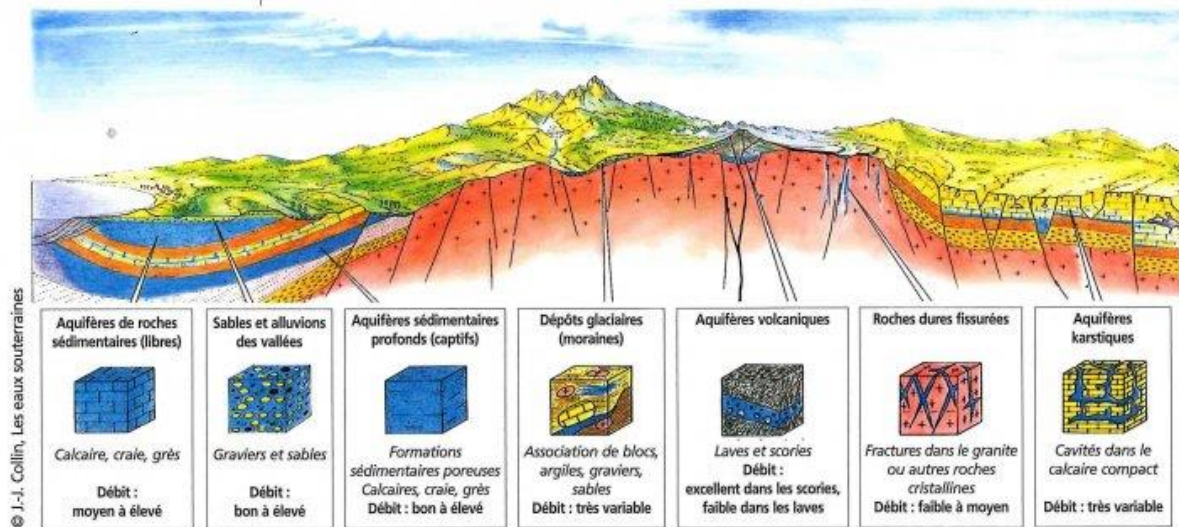


Figure I.4 : Principaux types d'aquifères (extrait de l'ouvrage « les eaux souterraines en France »)

I.4 LES VARIATIONS DU NIVEAU DES NAPPES

Le fonctionnement des nappes d'eau souterraine est lié à la nature géologique et à la géométrie de la roche réservoir, l'aquifère, mais aussi à leur caractère libre ou captif et aux autres milieux aquatiques avec lesquels elles échangent (sigesbre.brgm).

I.4.1 Les nappes d'eau souterraine fluctuent

Les réservoirs d'eau souterraines que constituent les aquifères sont caractérisés par leur capacité d'accumulation (quantifiée par le coefficient d'emmagasinement) et la vitesse de circulation des eaux (caractérisée par la perméabilité de la roche).

En revanche, l'alimentation des nappes est en générale irrégulière et discontinue. En particulier, dans le cas des nappes libres alimentées pour l'essentiel par l'infiltration des pluies.

Ainsi, les variations du stock d'eau des aquifères amortissent les écarts entre alimentation et émergences. Ces variations de la réserve en eau souterraine se manifestent par des fluctuations des niveaux, observables dans les forages et les piézomètres au cours de l'année.

I.4.2 Les cycles de recharge et de vidange des nappes

L'analyse des fluctuations des niveaux piézométriques annuelles et saisonnières permet de déterminer des cycles de recharge et de vidange de la nappe.

A la fin de la période estivale, pendant laquelle se vidange la nappe, la nappe atteint ainsi son niveau le plus bas de l'année : cette période s'appelle l'« **étiage** » ou **période de basses eaux**. Ces niveaux d'étiage sont généralement observés au cours des mois d'octobre à novembre. Les niveaux de **hautes eaux** sont en général enregistrés après la recharge hivernale, entre mars et mai. Ainsi, le niveau des nappes s'élève rapidement en automne et en hiver, jusqu'au milieu du printemps.

Les mesures du niveau de la nappe permettent de déterminer la variabilité de la nappe dans le temps et de calculer une amplitude entre les niveaux les plus bas et les plus hauts, aussi appelé « battement de la nappe ».

I.4.3 Influence des activités humaines sur le niveau des nappes

Tout captage local d'eau souterraine fait baisser le niveau de la nappe tout autour, avec une influence variant selon les terrains et les volumes prélevés. Si le débit de pompage est relativement continu et constant, la valeur de cet abaissement, le rabattement de la nappe, se stabilise, sans effacer les fluctuations naturelles de la nappe (dont le niveau évolue seulement plus profondément).

L'alimentation en eau potable, les prélèvements agricoles et industriels ne sont pas les seuls prélèvements d'eau souterraine. L'exploitation des mines et carrières, les projets d'aménagements urbains (sous-sols, parkings, voies de communication...) nécessitent généralement des pompages d'exhaure pendant les travaux, voire même des pompages permanents ou saisonniers pour maintenir la nappe à une cote inférieure.

L'eau souterraine contribue donc pour une large part à l'alimentation des cours d'eau et des rivières, et bien au-delà des seules sources et émergences bien connues. Cette fonction lui confère un rôle important dans le maintien des ressources en eau de surface et la préservation des zones humides.

I.5 LA PIEZOMETRIE

La piézométrie est indispensable à la compréhension du comportement d'un aquifère, à sa caractérisation, à l'évaluation de ses capacités... Elle permet également de déceler des interactions entre exploitation de différents ouvrages. Des piézométries peuvent être mesurées à différentes échelles : d'un ouvrage à plusieurs nappes, suivant les objectifs poursuivis.

La piézométrie est la mesure de profondeur de la surface de la nappe d'eau souterraine.

La profondeur de la nappe correspond à l'épaisseur de la zone non saturée, différence entre le niveau du sol et la surface de la nappe.

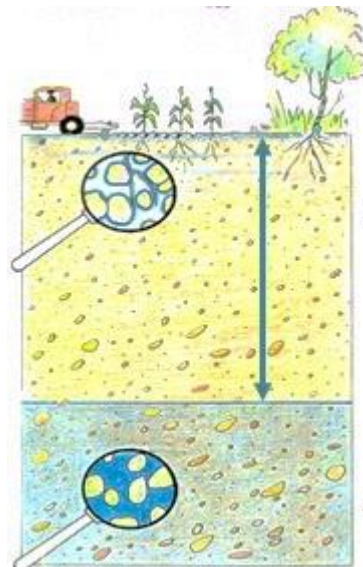


Figure I.5 : Profondeur de la nappe (BRGM)

I.5.1 Le piézomètre

Un piézomètre est un forage non exploité qui permet la mesure du niveau de l'eau souterraine en un point donné de la nappe.

Il s'agit d'un « dispositif servant à mesurer la hauteur piézométrique en un point donné d'un système aquifère, qui indique la pression en ce point, en permettant l'observation ou l'enregistrement d'un niveau d'eau libre ou d'une pression » (G. Castany, J. Margat (1977))

I.5.2 La mesure piézométrique

Le niveau piézométrique est exprimé soit par rapport au sol en mètre, soit par rapport à l'altitude zéro du niveau de la mer en mètre.

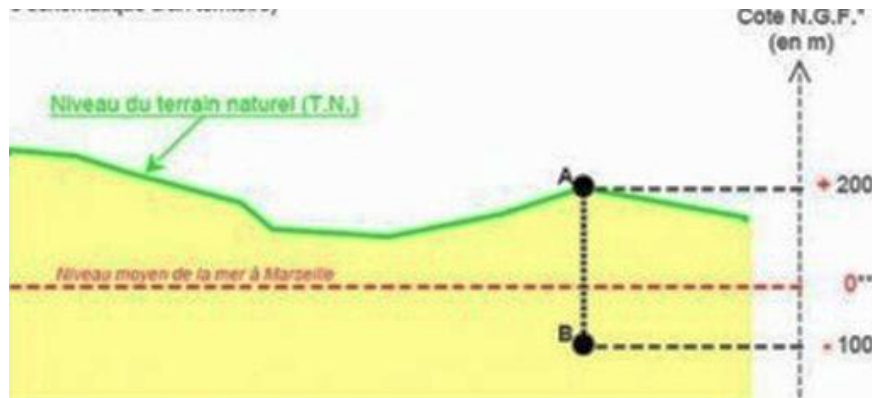


Figure I.6 : Nivellement Général

Le niveau peut être mesuré ponctuellement par une sonde manuelle ou suivi en continu à l'aide d'un enregistreur automatique :

- Capteur de pression
- Système de flotteur
- Le matériel de mesure peut être télétransmis permettant la récupération des données acquises à distance.

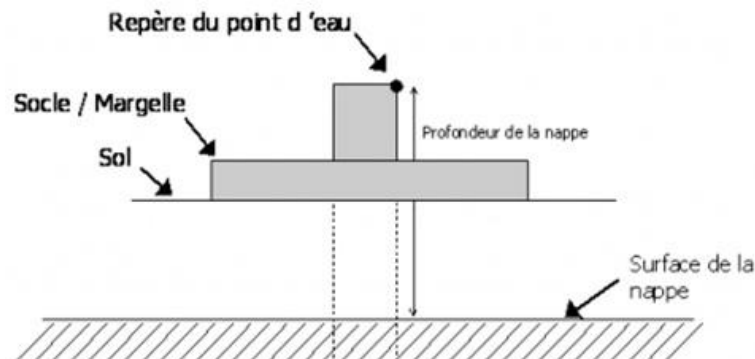


Figure I.7 : Repère de mesure

I.6 LES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

Par définition, un paramètre hydrodynamique est un paramètre physique définissant quantitativement le comportement d'un milieu ou d'un corps conducteur vis-à-vis d'un fluide, c'est-à-dire son aptitude à le contenir, à permettre son écoulement et à régir les propagations d'influence.

Les principaux paramètres régissant l'écoulement des eaux souterraines sont **la transmissivité, la perméabilité, le coefficient d'emménagement et la porosité efficace**. Certains paramètres sont indispensables pour connaître les débits exploitables par un forage. Ils peuvent être déterminés au laboratoire ou sur le terrain, notamment lors de test de pompages dans un puits.

Tableau I.1 : Quelques ordres de grandeurs des valeurs de porosités totale et efficace

	Porosité totale	Porosité efficace
Sables	20 à 40 %	10 à 25 %
Craie	10 à 40 %	1 à 5 %
Calcaires massifs fissurés	1 à 10 %	1 à 5 %
Argiles	40 à 50 %	1 à 2 %

I.7 LA PERMEABILITE

La perméabilité est l'aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide (liquide ou gaz).

L'eau ne circule pas en ligne droite dans une nappe et peut emprunter différents chemins pour aller d'un point A à un point B. La distance réelle parcourue par les eaux souterraines est donc plus importante que la distance en ligne droite entre le point A et le point B. Cette distance réelle est difficile à connaître et dépend de la porosité efficace de la roche traversée.

La notion de perméabilité permet d'appréhender la vitesse réelle des eaux souterraines, en prenant en compte la porosité efficace de la roche traversée. La perméabilité traduit l'aptitude de la roche à se laisser traverser par l'eau, sous l'effet d'une pression (ou gradient hydraulique). Plus la perméabilité est élevée, plus l'eau s'écoulera vite.

Cette perméabilité est due à l'existence d'une porosité efficace, c'est-à-dire à l'existence de vides interconnectés. Selon le type de porosité, il existe une perméabilité « en petit » (circulation dans les pores) et une perméabilité « en grand » (circulation dans les fissures, fractures, karsts...) qui peuvent cohabiter au sein d'une même roche (craie fissurée ou karstique par exemple).

I.7.1 Quelques ordres de grandeurs de vitesses d'écoulement selon le type de porosité

Dans les terrains formés de roches meubles (sables, graviers...), les eaux souterraines s'écoulent à travers les vides de façon lente et régulière. Au sein des roches compactes

présentant de larges fissures (calcaires, granite...), les circulations souterraines sont plus rapides et désordonnées.

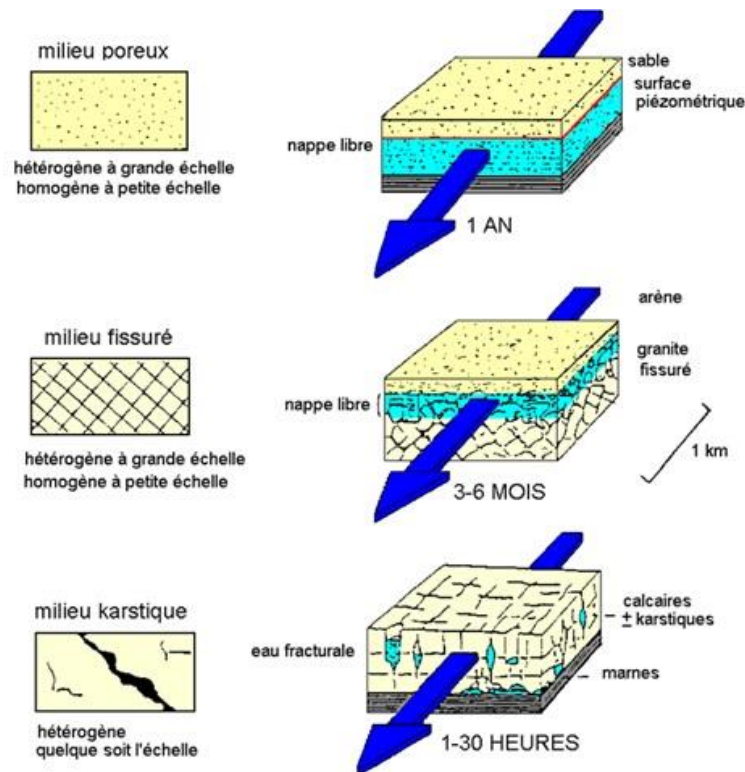


Figure I.8 : Vitesse d'écoulement en fonction de la porosité (GUILLEMIN et ROUX, 1992)

I.7.2 Le coefficient de perméabilité (de Darcy)

Le coefficient de perméabilité est un paramètre mesurant la perméabilité d'un corps (roche, matériau) assimilé à un milieu continu et isotrope vis-à-vis d'un fluide homogène déterminé, de densité et viscosité cinématique constantes, notamment de l'eau. Il exprime le volume de fluide qui traverse, en une unité de temps, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de surface orthogonale à la direction du flux dans des conditions de validité de la loi de Darcy. Il s'agit de la constante de proportionnalité k liant la vitesse de filtration au gradient hydraulique dans la loi de Darcy.

Pour l'eau, la perméabilité s'exprime grâce au coefficient de perméabilité (de Darcy). En 1956, Henri Darcy a réalisé diverses expériences sur le déplacement de l'eau dans un milieu poreux. Il a ainsi pu déterminer des lois régissant l'écoulement de l'eau à travers le sable. Aujourd'hui, les équations de Darcy sont toujours utilisées pour calculer les vitesses d'écoulement des eaux souterraines. Henri Darcy a défini un coefficient de perméabilité (k en

m/s), dépendant du milieu poreux, qui correspond au volume d'eau qui percole à travers une surface pendant un temps donné.

I.7.3 Quelques ordres de grandeurs de coefficients de perméabilité

La distinction entre roche perméable et roche imperméable a arbitrairement été choisie à 10^{-7} m/s. Les argiles sont ainsi considérées comme imperméables, malgré leur porosité totale élevée car ses pores petits et non interconnectés lui confèrent une porosité efficace très faible.

Tableau I.2 : Quelques ordres de grandeurs de coefficients de perméabilité

	Coefficient de perméabilité
Graviers	10^{-2} m/s
Sables	10^{-2} à 10^{-5} m/s
Craie	10^{-3} à 10^{-5} m/s
Argiles	10^{-9} à 10^{-13} m/s

Concernant les roches compactes et fissurées (perméabilité en grand), les valeurs perméabilité sont extrêmement variables.

I.7.4 La transmissivité

La productivité d'un captage dans un aquifère dépend du coefficient de perméabilité K et de l'épaisseur e de l'aquifère. La productivité peut être estimée à l'aide du paramètre T , transmissivité, par la formule $T = K \cdot e$ avec : T en m^2/s ; K en m/s ; e en m.

Le paramètre T correspond au débit d'une couche aquifère, sur toute son épaisseur par unité de largeur et sous l'effet d'un gradient hydraulique égal à l'unité. Il ne faut pas la confondre avec la conductivité hydraulique qui est calculée sur une épaisseur égale à l'unité.

La transmissivité T est calculée à partir des pompages d'essai longue durée, à la descente et à la remontée, au puits de pompage et sur les piézomètres.

I.7.5 Le coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement est une valeur sans dimension, notée S , qui représente le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné par unité de surface de l'aquifère à la variation unitaire de charge hydraulique, Δh , correspondante.

Pour une nappe libre, il s'agit du volume d'eau libéré par gravité (égouttage du terrain). S varie alors entre 1.10^{-2} et $2,5.10^{-1}$ et est assimilable à la porosité efficace de l'aquifère (ne).

Pour une nappe captive, il s'agit du volume d'eau expulsé par décompression de l'aquifère. S varie alors entre 1.10^{-3} et 1.10^{-4} . Le coefficient d'emmagasinement est calculé d'après les pompages d'essai longue durée uniquement sur les piézomètres.

La connaissance des paramètres T et S permet de prévoir le comportement d'un aquifère à long terme, notamment dans des configurations d'exploitation différentes

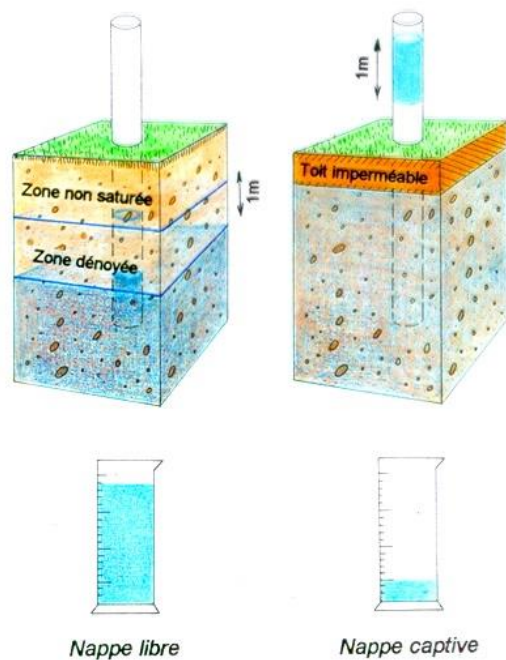


Figure I.9 : Coefficient d'emmagasinement

I.8 AQUIFERES ALLUVIAUX

Le réservoir aquifère alluvial est en général complexe et l'étude de ses caractéristiques géologiques est nécessaire à la compréhension des phénomènes hydrodynamiques et hydrochimiques qui s'y développent.

La productivité et la vulnérabilité des nappes alluviales sont très dépendantes de la nature pétrographique et de la granulométrie des roches meubles (non cimentés) constituant le réservoir.

Les hétérogénéités constatées s'expliquent par les régimes hydrologiques régnant au moment de l'alluvionnement quaternaire (alternance d'apports grossiers en période de hautes eaux - graviers, galets - et d'apports plus fins en période d'étiage - sables) et par la nature des matériaux « source » érodés, charriés puis déposés par les eaux vives.

Les nappes alluviales sont généralement en équilibre dynamique permanent avec trois autres systèmes distincts : **le substratum, les coteaux et le cours d'eau.**

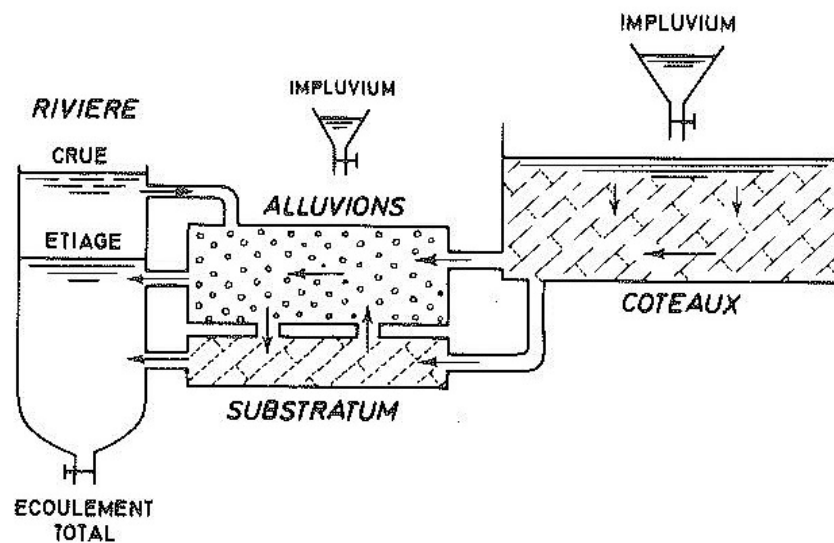


Figure I.10 : Schéma hydrodynamique simplifié de l'équilibre des échanges au sein d'une nappe alluviale en terrains perméables (D'après MEGNIEN, 1979)

Le **substratum** joue un rôle déterminant dans l'alimentation d'une nappe alluviale. S'il est imperméable, celle-ci n'est alimentée que par son impluvium propre. Au contraire, s'il est suffisamment perméable, le bassin d'alimentation est souvent beaucoup plus important que la seule surface alluviale en intégrant par exemple les coteaux des bordures et les formations sous-jacentes.

Les **coteaux**, constitués de formations perméables, contribue à l'alimentation de la nappe alluviale et du substratum.

Le **cours d'eau** joue un rôle primordial et variable au cours de l'année dans l'alimentation de la nappe alluviale et à l'inverse dans le drainage de la nappe. Les relations entre la nappe et le cours d'eau peuvent varier le long d'une même rive par suite de l'alternance de zones de dépôt/zones d'érosion et de l'intervention de l'homme sur son tracé.

I.8.1 Généralités sur les relations nappes rivières

La relation nappe-oued se définit comme un échange d'eau dans un sens ou dans l'autre entre une nappe d'eau souterraine et un cours d'eau. Suivant le niveau de l'oued et les saisons, la nappe alimente le cours d'eau ou est alimentée par celui-ci notamment lors des inondations.

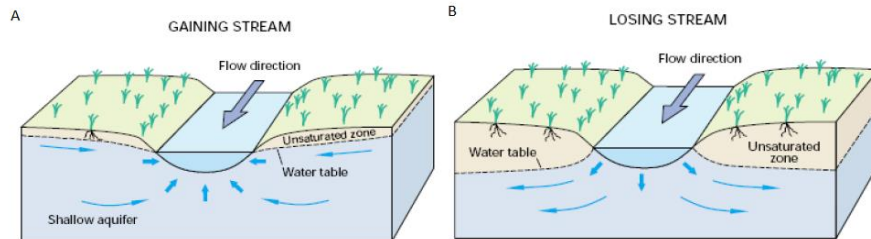


Figure I.11 : Echanges nappe-rivière - A- la nappe alimente la rivière - B - la rivière alimente la nappe (Winter et al., 1998)

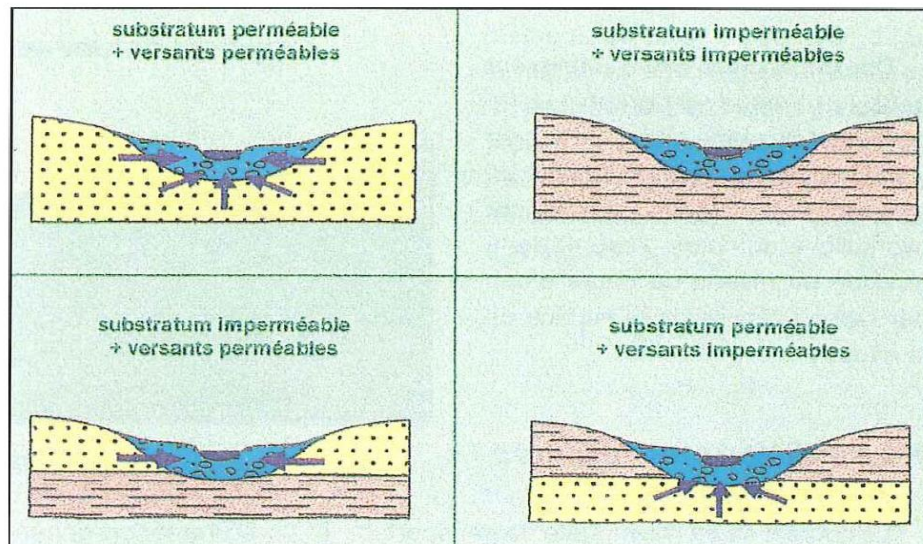


Figure I.12 : Relation d'une nappe alluviale avec les terrains encaissants (Daum et al., 1997 dans Vernoux et al., 2010)

Différents facteurs (nature des berges, des alluvions, des terrains encaissants,...) interviennent dans les relations nappe-oued. Ils sont illustrés par le schéma général de la figure 19.

On considère trois cas de relation hydrodynamique entre la nappe et l'oued :

- Cas 1 : la nappe et l'oued sont en relation : la nappe alimente l'oued (le niveau de la nappe est supérieur à l'altitude de l'oued) ;
- Cas 2 : la nappe et l'oued sont en relation : l'oued alimente la nappe (le niveau de la nappe est inférieur à l'altitude de l'oued) ;

- Cas 3 : pas d'échange entre l'oued et l'aquifère (formation imperméable entre le lit du cours d'eau et la nappe).

Ces trois types de relation peuvent se rencontrer le long d'un même cours d'eau (figure 20)

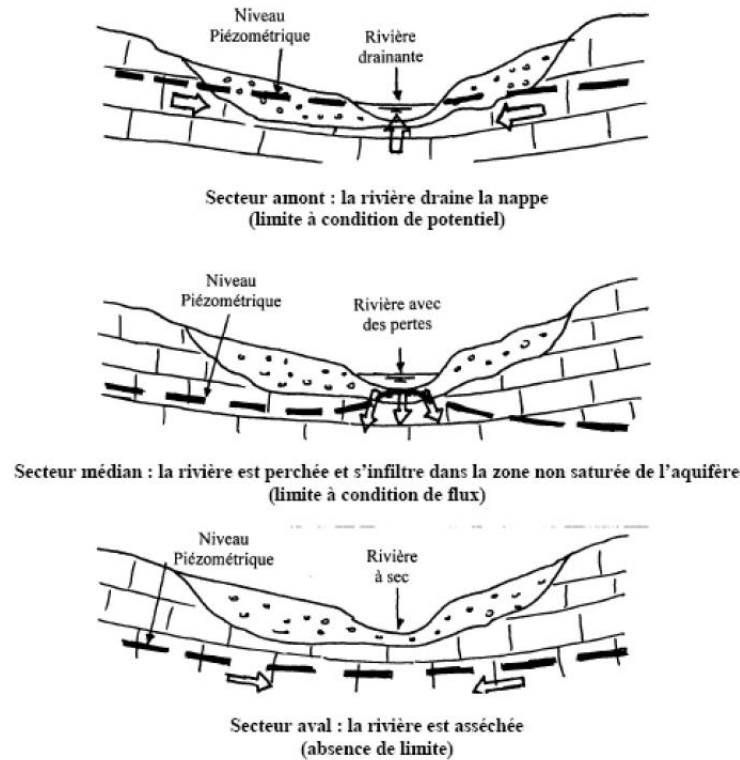


Figure I.13 : Relations hydrodynamiques entre la nappe et la rivière (BRGM)

I.9 CONCLUSION

Les eaux souterraines ne représentent qu'une très faible proportion des volumes d'eau répartis dans les différents réservoirs à la surface du globe (environ 0,31 %).

Pour utiliser au mieux ces volumes, il est important de définir aussi précisément que possible les différents paramètres qui régissent le stockage, la répartition et la circulation des eaux souterraines :

- nature de la nappe (libre ou captive),
- nature des apports et des écoulements (bilan de la nappe),
- perméabilité,
- porosité,

- coefficient d'emmagasinement,
- transmissivité,

La circulation des eaux souterraine est régie par la loi de Darcy. Elle permet, par l'intermédiaire du coefficient de perméabilité du réservoir, de calculer le débit d'une nappe d'eau.

L'évaluation de la ressource, du taux et de la durée du renouvellement de la réserve en eau sont également des grandeurs essentielles pour la « gestion » de l'aquifère. A partir de ces données, il est alors possible de définir une stratégie d'exploitation afin de rationaliser les prélèvements d'eau dans la nappe.

Chapitre II

Périmètres de protection

II.1 INTRODUCTION

Afin de protéger les eaux souterraines, les mesures d'organisation du territoire découpent le territoire en secteurs de protection des eaux et en zones et périmètres de protection des eaux souterraines. Les zones de protection des eaux souterraines constituent l'instrument de protection le plus important. Elles doivent entourer tous les captages d'intérêt public.

Par une restriction ciblée des activités, les zones de protection des eaux souterraines protègent contre d'éventuelles atteintes les installations servant à l'exploitation d'eau potable et les eaux souterraines environnantes. Elles comprennent les zones de captage), les zones de protection rapprochée) et les zones de protection éloignée, les prescriptions de protection devenant de plus en plus sévères à mesure que l'on s'approche du captage.

II.2 LES CAPTAGES D'EAU SOUTERRAINE

Un captage d'eau souterraine est un dispositif de prélèvement d'eau souterraine :

- Soit à partir d'une source qui sort naturellement de terre, source naturelle ou puits artésien.
- Soit à partir d'une nappe d'eau souterraine ou aquifère, le captage est alors un ouvrage permettant de mobiliser l'eau gravitaire du sol.

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

II.2.1 Les puits

Les puits sont des ouvrages verticaux peu profonds à parois maçonnées et réalisés en gros diamètre (figure II.1). Traditionnellement, ils traversent les niveaux d'altération des formations du socle sur quelques mètres de profondeur et recourent le toit de la nappe : les débits sont alors faibles et l'exploitation de l'eau repose sur l'effet capacitif de l'ouvrage.

Les puits sont très sensibles aux variations saisonnières : maximum de débit en hiver et minimum en automne, climatiques : baisse marquée des niveaux des nappes en période de sécheresse prolongée, pouvant aller jusqu'à l'assèchement temporaire de l'ouvrage et à la pollution de l'eau, principalement par les nitrates et pesticides (sigesrm.brgm.fr).



Figure II.1 : Puits maçonné de 2m de diamètre.

II.2.2 Les forages

Le forage est une technique ou opération permettant le creusement de trous généralement verticaux (figure II.2).

L'eau du forage est purifiée par un long parcours à travers le sol, les possibilités de pollution sont donc réduites, et surtout si l'extraction de l'eau se fait au moyen de pompe. Raison pour laquelle l'eau de forage est en général la meilleure pour la consommation humaine. La première et la plus importante étape pour la conception d'un bon forage est de réaliser la coupe de forage (détermination de la localisation exacte (profondeur) des couches perméables (aquifères), et la localisation de toute couche imperméable dans le forage).

A partir de la coupe de forage, on peut déterminer précisément la profondeur et la longueur de la crépine ainsi que la profondeur et l'épaisseur du massif filtrant et du joint d'étanchéité sanitaire (Luzolo Lutete, 2012).



Figure II.2 : Un forage en cours de réalisation [2].

II.2.3 Les sources

Une source est un lieu d'apparition et d'écoulement d'eau souterraine à la surface du sol, elle est toujours liée à l'existence d'une nappe et peut être située au mur ou au toit du réservoir aquifère (figure II.3).

Les sources présentent généralement les qualités de l'eau souterraine, tout en permettant une exploitation aisée. Leur présence est étroitement liée à la géologie du terrain. Un plancher rocheux imperméable, tel qu'un gisement d'argile est à la base d'une couche de sol ou roche saturée, alors, une source tendra à apparaître sur la pente où la couche d'argile affleure.

Les roches plutoniques sont également imperméables à l'eau, pourtant elles sont souvent fragmentées et les sources apparaissent généralement là où ces ruptures viennent en surface (Luzolo Lutete, 2012).



Figure II.3 : Source naturelle.

II.3 GENERALITES SUR LES POLLUANTS ET LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES

La plupart des contaminations des eaux souterraines est due à l'activité humaine. La contamination humaine des eaux souterraines peut être liée à l'évacuation des déchets d'une manière directe (systèmes privés d'évacuation d'eaux d'égout, élimination des déchets solides, eau usagée municipale, retenu d'eau usagée, propagation du cambouis dans la terre, formation de saumure dû à certaines industries de pétrole, élimination des eaux usées, les déchets radioactifs) ou de manière indirecte (accidents, certaines activités agricoles, exploitation, routes dégivrées, pluies acides, mauvais entretien des puits, sel de route) (www.lenntech.fr).

II.3.1 Naturel

Les eaux souterraines contiennent quelques impuretés, même si elles ne sont pas affectées par les activités humaines. Les types et les concentrations d'impuretés naturelles dépendent de la nature du matériel géologique par lequel les eaux souterraines se déplacent, et de la qualité de l'eau de recharge. Les eaux souterraines se déplaçant à travers les roches et les sols

sédimentaires, peuvent absorber un éventail de composés tels que le magnésium, le calcium, et les chlorures. Certaines couches aquifères ont des concentrations naturelles élevées en constituants dissous tels que l'arsenic, le bore, et le sélénium. L'effet de ces sources normales de contamination sur la qualité d'eaux souterraines dépend du type du contaminant et de ses concentrations.

II.3.2 Agricole

Les pesticides, les engrais, les herbicides et les déchets animaliers sont des sources agricoles de contamination des eaux souterraines. Les sources agricoles de contamination sont nombreuses et variées: débordement des engrais et des pesticides pendant la manipulation, écoulement du chargement et lavage des pulvérisateurs de pesticide ou de tout autre équipement d'application, utilisation de produit chimique... Une région agricole qui manque de drainage est considérée par beaucoup de fermiers comme étant terre perdue du point de vue du revenu. Ainsi, ils peuvent installer des tuiles de drain ou des puits de drainage pour rendre la terre plus productive. Les puits de drainage servent alors de conduit direct aux eaux souterraines pour les déchets agricoles.

Le stockage de produits chimiques agricoles près de conduits d'eaux souterraines, telles que les puits, les trous d'évier, est susceptible de s'accumuler et de provoquer une contamination. La contamination peut également se produire quand des produits chimiques sont stockés dans des secteurs découverts, non protégés du vent et de la pluie.

II.3.3 Industriel

Les industries de fabrication et de secteur tertiaire ont des demandes élevées en eau pour les procédés de refroidissement, de traitement ou de nettoyage. La pollution des eaux souterraines se produit quand l'eau utilisée est retournée au cycle hydrologique.

L'activité économique moderne exige le transport et le stockage de la matière employée dans la fabrication, le traitement, et la construction. De cette manière, une partie de ce matériel peut être perdue par débordement, par fuite, ou par mauvaise manipulation. L'élimination des pertes, associée aux activités ci-dessus, est une autre source de contamination des eaux souterraines. Certaines entreprises, habituellement sans accès aux réseaux d'égouts, se servent dans les eaux souterraines peu profondes. Elles emploient des fosses ou des puisards secs, ou

envoient l'eau usagée dans les réservoirs septiques. Tout ceci peut mener à la contamination des sources souterraines d'eau potable. Les fosses et les puisards secs provoquent l'infiltration des déchets directement dans le sol. Les systèmes septiques ne peuvent pas traiter les pertes industrielles. Les pratiques en matière de disposition d'eau usagée de certains types d'entreprises, telles que des stations service d'automobile, fabricants de composant électrique ou de machine, processeurs de photo, sont particulièrement concernés parce que les déchets qu'ils génèrent sont susceptibles de contenir des produits chimiques toxiques. Les autres sources industrielles de contamination incluent: le nettoyage des réservoirs ou la pulvérisation d'équipement sur la terre, l'évacuation de déchets dans les systèmes septiques ou les puits secs, et le stockage de matériaux dangereux dans des secteurs découverts ou dans les secteurs qui n'ont pas des garnitures avec des drains ou des bassins de captation. D'autre part, les souterrains et les réservoirs de stockage contenant des produits pétroliers, des acides, des dissolvants ou des produits chimiques peuvent avoir des fuites dus à la corrosion, à des défauts, à des problèmes dans les installations,... L'exploitation du carburant et des minerais non-combustibles peut créer une contamination des eaux souterraines. Les problèmes proviennent du processus d'extraction lui-même, de l'élimination des déchets, et du traitement des minerais et des déchets qu'il crée.

II.3.4 Résidentiel

Les systèmes résidentiels d'eau usagée peuvent être une source de différents types de contaminants, y compris des bactéries, des virus, des nitrates, et des composés organiques. Les puits utilisés pour l'évacuation des eaux domestiques usagées (les systèmes septiques, puisards, puits de drainage pour l'écoulement de précipitations exceptionnelles, puits de recharge d'eaux souterraines) sont particulièrement concernés par la qualité des eaux souterraines s'ils sont placés près des puits d'eau potable. Le stockage incorrect ou l'évacuation de produits chimiques ménagers tels que les peintures, les détergents synthétiques, les dissolvants, les huiles, les médicaments, les désinfectants, les produits chimiques de piscine, les pesticides, les batteries, l'essence et le carburant diesel peut mener à la contamination des eaux souterraines. Lorsqu'ils sont entreposés dans les garages ou les sous-sols, le nettoyage des planchers, les flaques et les inondations peuvent introduire de tels contaminants dans les eaux souterraines. Lorsqu'ils sont jetés dans les poubelles des particuliers, ces produits seront éventuellement introduits dans les eaux souterraines si les

déchetteries ne sont pas équipés pour traiter les matériaux dangereux. De même, les déchets vidés ou enterrés dans la terre peuvent souiller les sols et s'écouler dans les eaux souterraines.

II.3.5 Transfert des polluants dans les eaux souterraines

Le transfert d'un polluant étant indissociable de l'écoulement du fluide qui le véhicule, le comportement d'une pollution dans un milieu géologique donné dépend des lois et des paramètres de l'écoulement de la phase liquide. Différents facteurs influent sur ce comportement des polluants sur le transfert des polluants vers les ressources en eau souterraine. En effet, différentes propriétés des milieux traversés et celles des polluants jouent un rôle primordial sur le transfert de ces substances. En prenant en compte les éventuelles interactions entre le polluant et le milieu permettent une meilleure gestion des ressources souterraines. Qu'il s'agisse d'une pollution diffuse de type agricole ou d'une pollution accidentelle, le schéma général de contamination des eaux souterraines est le même le point de départ est la surface du sol jusqu'à la nappe en passant par la zone non saturée, puis le cheminement subhorizontal avec étalement progressif du panache de pollution, comme indiqué dans la (figure II.4) (Frioua, 2014).

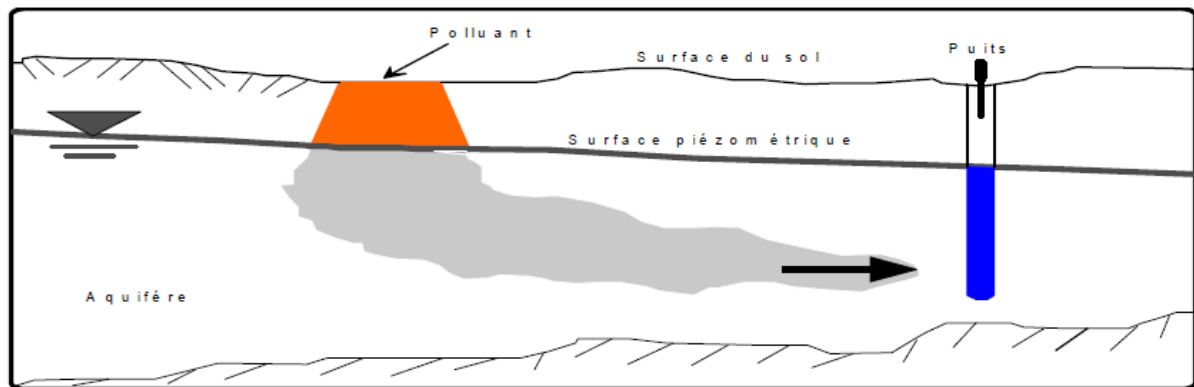


Figure II.4 : Schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologiques.

II.4 LES PERIMETRES DE PROTECTIONS

Selon leur composition minéralogique et la distribution granulométrique de leurs différents composants, les roches meubles possèdent d'une part un bon pouvoir filtrant, voire absorbant pour certaines substances. D'autre part, elles ne laissent l'eau s'écouler qu'à une vitesse

relativement lente, de sorte que certains polluants et agents pathogènes sont dégradés ou retenus avant d'avoir pu parcourir une grande distance.

Les zones de protection, doivent être conçus de telle sorte que l'eau provenant d'un aquifère poreux n'a en principe pas besoin d'être traitée pour alimenter le réseau d'eau potable.

II.4.1 Objectif des périmètres de protection

Le périmètre de protection est une zone particulière autour d'un captage d'eau potable (Source, Puits ou forage) pour limiter les risques de pollution de l'eau captage. Ce périmètre est un contour délimitant le domaine géographique à l'intérieur du quel est interdite ou réglementée toute activité susceptible de porter atteinte à la conservation qualitative des ressources en eau. Généralement, quand il s'agit de la protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, trois périmètres différents sont définis: le périmètre de protection immédiat, le périmètre de protection rapproché et le périmètre de protection éloigné.

Les périmètres de protection immédiats et rapprochés sont obligatoires pour tous les captages. En revanche, le périmètre de protection éloigné est nécessaire seulement dans des cas spécifiques et sur demande du Ministère ayant l'eau dans ses attributions.

Les zones de protection doivent pouvoir servir pour une protection préventive ainsi que pour un assainissement, dans le cas d'une contamination des eaux captages. 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 bien connaître la ressource et de la protéger (Marchal, 2007).

II.4.2 Les types de périmètre de protection

Le périmètre de protection est une zone particulière autour d'un captage d'eau potable (source ou forage) où des prescriptions sont établies pour limiter les risques de pollution de l'eau captée.

Le périmètre de protection est un contour délimitant le domaine géographique à l'intérieur duquel est interdite ou réglementée toute activité susceptible de porter atteinte à la conservation qualitative des ressources en eau.

Généralement, quand il s'agit de la protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, trois périmètres différents sont définis: le périmètre de protection immédiat, le périmètre de protection rapproché et le périmètre de protection éloigné.

Les périmètres de protection immédiats et rapprochés sont obligatoires pour tous les captages. En revanche, le périmètre de protection éloigné est nécessaire seulement dans des cas spécifiques et sur demande du Ministère ayant l'eau dans ses attributions (Vassolo S. & al., 2014).

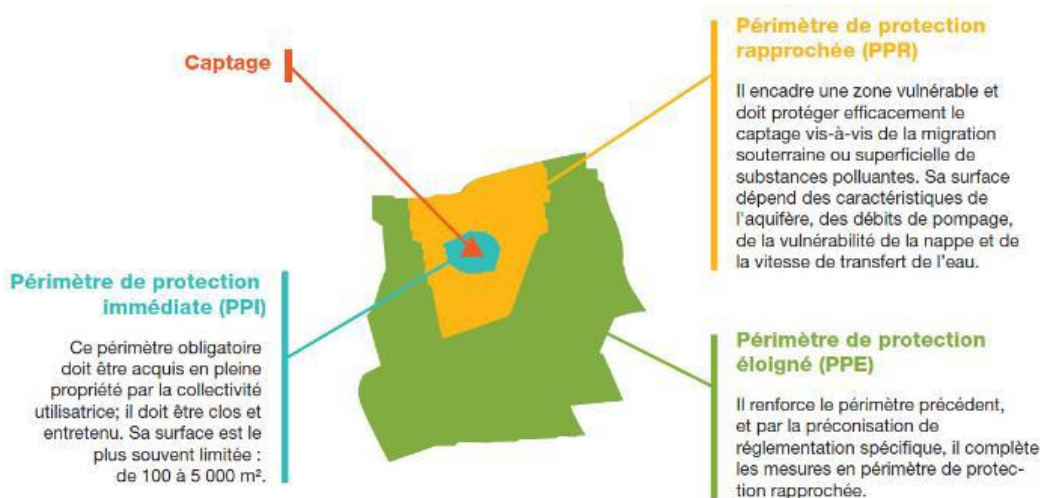


Figure II.5 : Définition des périmètres de protection d'un captage d'eau potable [8].

II.4.2.1 Périmètre de protection immédiat (PPI)

Le périmètre de protection immédiat (PPI) a pour but la protection de l'ouvrage et son entourage le plus proche. 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.

Aucune activité n'est tolérée à l'intérieur, à l'exception de celles qui sont liées à la maintenance des ouvrages.

II.4.2.2 Périmètre de protection rapproché (PPR)

Le Périmètre de Protection Rapproché (PPR) a comme fonction la protection de la qualité de la ressource en eau souterraine.

Le PPR doit être suffisamment large pour empêcher :

- que des germes pathogènes de même que des substances biodégradables parviennent au captage ;
- que les eaux souterraines soient polluées par des excavations et des travaux souterrains ou que de telles interventions réduisent le pouvoir filtrant du sol et du sous-sol ;
- que des polluants puissent parvenir rapidement et en grande concentration jusqu'au captage ;
- que des installations en sous-sol entravent l'écoulement des eaux souterraines.

II.4.2.3 Périmètre de protection éloigné (PPE)

Le Périmètre de Protection Éloigné (PPE), appelé aussi zone de vigilance, correspondrait théoriquement à l'ensemble du bassin d'alimentation du captage mais pour des raisons économiques et pratiques est généralement limité à une zone plus réduite.

Le Périmètre PPE forme une zone tampon autour de la zone PPR. Elle assure la protection contre les installations et les activités qui représentent un risque particulier pour les eaux souterraines (entreprises industrielles et artisanales utilisant des liquides de nature à polluer les eaux, extraction de matériaux, etc.) et doit garantir qu'en cas de danger imminent (en cas d'accident impliquant des substances pouvant polluer les eaux, p. ex.) on dispose de suffisamment de temps et d'espace pour intervenir et prendre les mesures d'assainissement qui s'imposent.

II.4.3 Détermination du bassin d'alimentation du captage

Le bassin d'alimentation d'un captage représente la zone d'où provient l'eau qui est prélevée au puits ou qui sort à la source. Des données sur l'étendue ou la surface du bassin d'alimentation permettent d'optimiser les investigations. Relevons que les zones destinées à protéger des sources à débit relativement faible peuvent couvrir pratiquement la totalité du bassin d'alimentation du captage.

II.4.4 Détermination du cône de rabattement ou de la zone d'appel

Le cône de rabattement qui se forme autour d'un puits de captage est déterminé non seulement par le débit prélevé, mais aussi par la perméabilité de l'aquifère et le gradient naturel de la nappe. Lorsque celle-ci possède une pente naturelle faible (faible gradient hydraulique), le cône de rabattement aura une forme pratiquement circulaire.

Si le gradient est élevé, il prendra la forme d'une parabole plutôt étroite et allongée. La structure du cône de rabattement définit la limite de la zone d'appel et la position du point de stagnation aval. L'étendue de la zone d'appel (qu'elle soit étroite ou large, voire circulaire) se retrouve dans la forme des zones de protection, en particulier des zones PPR et PPE.

Pour déterminer le cône de rabattement, on se fonde en général sur un essai de pompage à grande échelle pendant lequel on procède à toutes les mesures piézométriques requises aux alentours du puits. Des traçages fourniront des informations sur les conditions d'écoulement des eaux souterraines. Afin de compléter les études hydrogéologiques effectuées sur le terrain, on peut également recourir à un modèle numérique des eaux souterraines. Une synthèse des résultats issus des diverses méthodes appliquées fournira les données les plus probantes (Daniele B. & al. 2012).

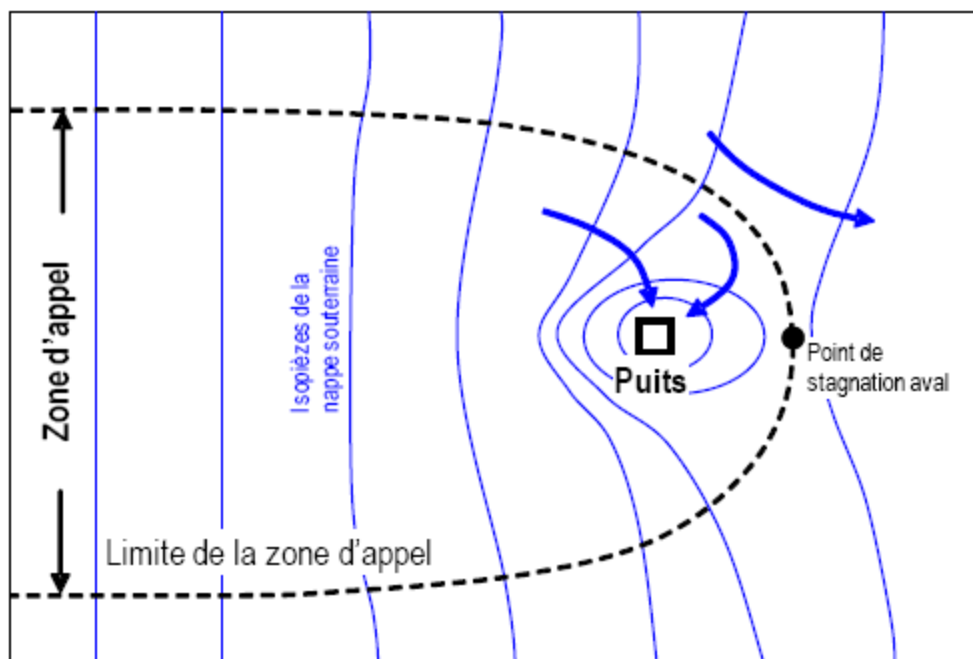


Figure II.6 : Zone d'appel (Daniele B. & al. 2012).

II.4.5 Délimitation des zones de protection

La délimitation de ces périmètres de protection est basée, d'une part, sur des critères hydrogéologiques qui permettent de justifier l'étendue de ces périmètres et, d'autre part, sur des critères environnementaux. Le contexte hydrogéologique doit constituer la base des justifications pour les prescriptions à mettre en place, dans un but de conserver la qualité de l'eau exploitée au niveau du captage.

II.4.5.1 Sources

La délimitation des périmètres de protection est impérative pour des sources avec un débit moyen annuel supérieur à 0,5 l/s. Les sources avec un débit inférieur à 0,5 l/s seront protégées seulement par un périmètre de protection immédiat (Vassolo 2014). Pour délimiter les périmètres de protection d'une source, il est indispensable de connaître le débit moyen annuel de la source. Cette détermination nécessite de procéder à une série de mesures mensuelles (au moins une mesure par mois) pendant une année. Ces mesures de débit peuvent être effectuées en utilisant :

- un seau et un chronomètre ;
- un compteur ;
- un débitmètre non intrusif.

PPI : Le PPI pour toutes les sources aura un minimum de 30 m vers l'amont topographique, 5m vers l'aval et 5 m à droite et gauche de la source (figure II.6).

Cette surface doit être limitée par bornage, haie vive, arbustes à enracinement peu profond.

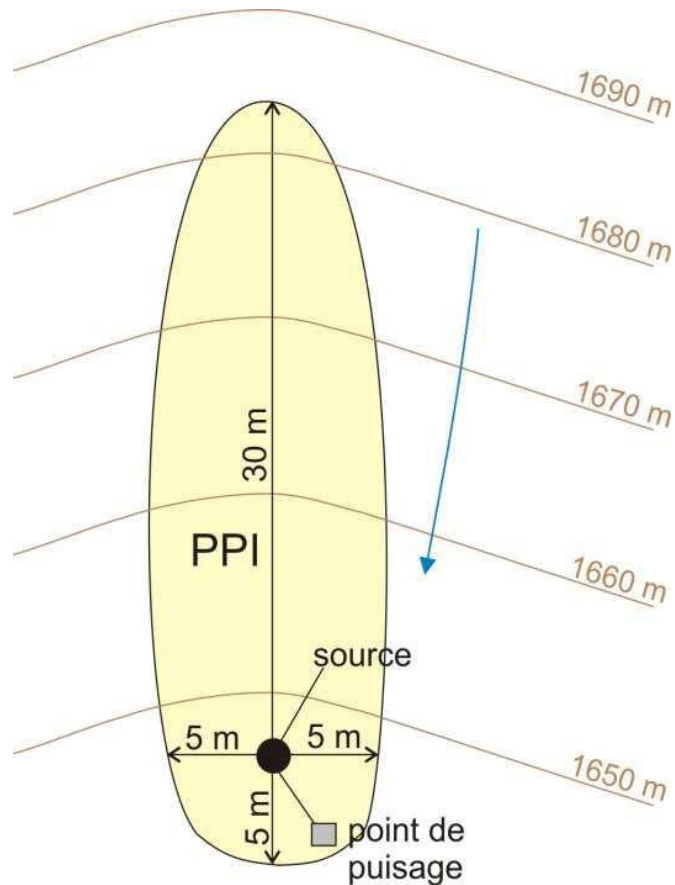


Figure II.7 : Périmètre de protection immédiat (PPI) pour une source (Vassolo 2014).

PPR : Sans données hydrogéologiques : Le PPR s'étendra jusqu'à au maximum 250 mètres à l'amont géographique, 5 m vers l'aval et aura la forme d'une parabole autour de la source (figure II.7) en fonction du débit annuel moyen.

La longueur de 250 m en amont est basée sur une vitesse d'écoulement de l'eau souterraine. La surface de la parabole a été déterminée afin qu'au moins la moitié du débit de la source soit rechargé dans cette zone. Si cette surface s'étend au-delà de la crête, elle sera réduite jusqu'à son sommet.

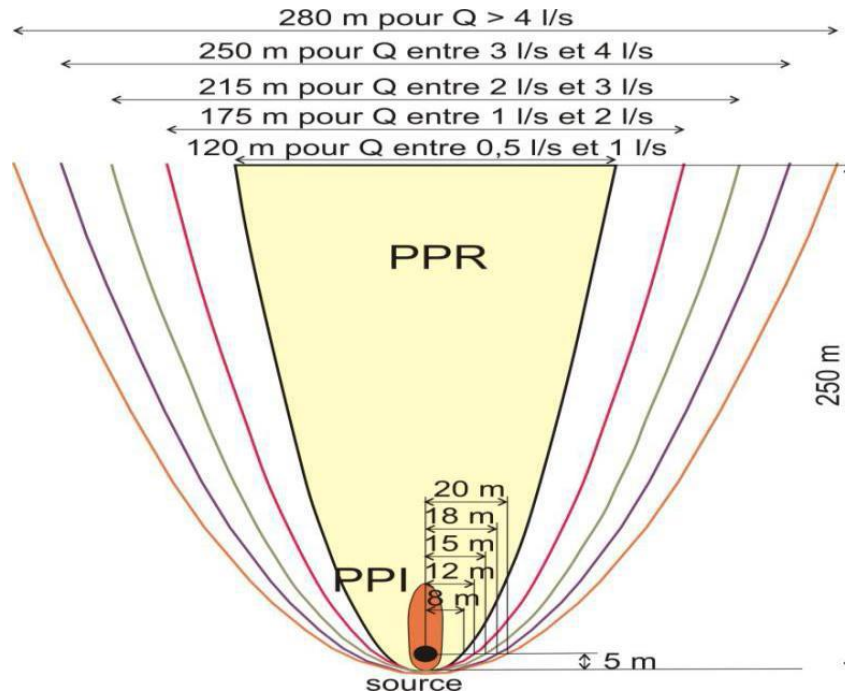


Figure II.8 : Périmètre de protection rapproché d'une source (Vassolo 2014).

Le PPR est défini comme l'isochrone de quelques jours, ce qui correspond au périmètre couvrant une surface dans laquelle toute goutte d'eau souterraine arrive au captage en moins de ses jours-là. La distance entre la source et la limite du PPR doit être au minimum égale à 50 mètres vers l'amont dans la direction générale des écoulements. Cette isochrone est déterminé afin de permettre l'élimination des bactéries pathogènes qui peuvent être transporté par l'eau.

Avec données hydrogéologiques : Une détermination plus précise du PPR requiert la connaissance de paramètres hydrogéologiques additionnels de l'aquifère qui nécessite la collecte et l'analyse de données supplémentaires et généralement l'intervention d'experts en hydrogéologie. Cela implique l'étude des points suivants : Suivi de débit(Q), température (T) et conductivité électrique (CE) lors d'évènements de crue. Afin de déterminer l'isochrone des jours que la goutte d'eau arrive au captage, la méthode de Wyss Ling peut être appliquée.

Pour appliquer la formule de Wyss Ling, il faut connaître :

- H : épaisseur de l'aquifère (m) ;
- k : conductivité hydraulique de l'aquifère (m/s) ;
- I_0 : gradient hydraulique ;

- n_e : porosité efficace ; et
- Q : débit moyen annuel de la source ($\text{m}^3/\text{s} = \text{l/s} * 0,001$).

PPE : En cas de manque absolu de données hydrogéologiques, le PPE s'étendra jusqu'à une limite située à 500 mètres vers l'amont géographique et de 5 m vers l'aval et aura la forme d'une parabole autour de la source (figure I.8) en fonction du débit annuel moyen. Si ce périmètre s'étend au-delà de la crête, il sera réduit jusqu'à sa cime.

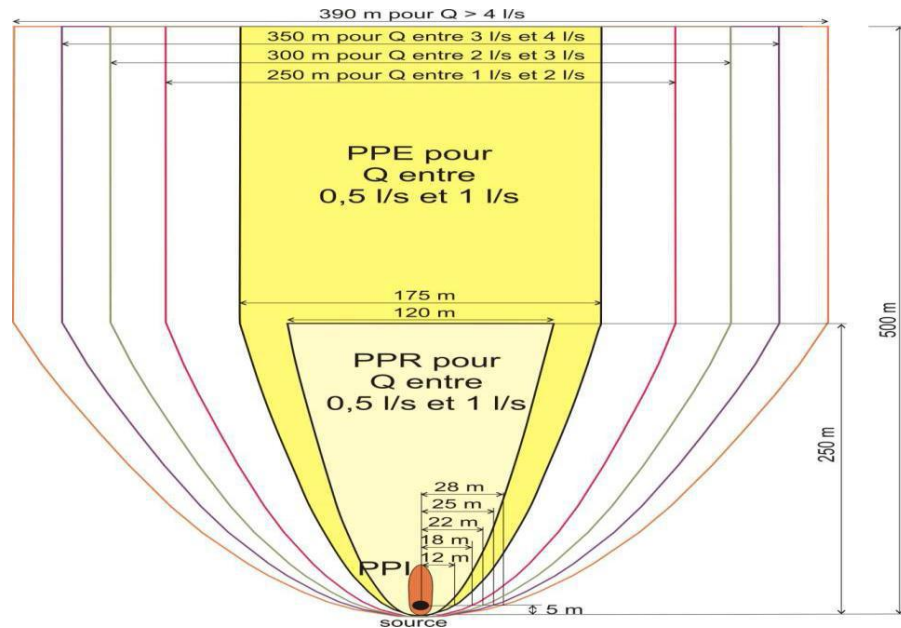


Figure II.9 : Délimitation du PPE d'une source (Vassolo 2014).

Avec des données hydrogéologiques disponibles et indépendamment de la vulnérabilité de la source, le PPE sera défini de façon à ce que la distance entre le PPE et le PPR soit la même que la distance entre le PPR et la source dans la direction générale des écoulements vers l'amont.

II.4.5.2 Forage

Pour délimiter les périmètres de protection des forages, il est indispensable de connaître au moins le débit d'exploitation du forage.

Périmètre de protection immédiat (PPI) : La zone englobe une bande de 10 m au moins autour de tous les éléments de l'installation de captage. Ces divers éléments sont :

- l'installation de captage, soit la tête de puits pour un puits filtrant vertical; la tête de puits et les drains pour un puits filtrant horizontal; pour une source captée, les drains et, si nécessaire, la chambre d'eau;

- les terrains superficiels directement touchés par les opérations de forage ou d'excavation;
- toute la surface correspondant à une installation d'alimentation superficielle, soit la surface d'infiltration prévue.

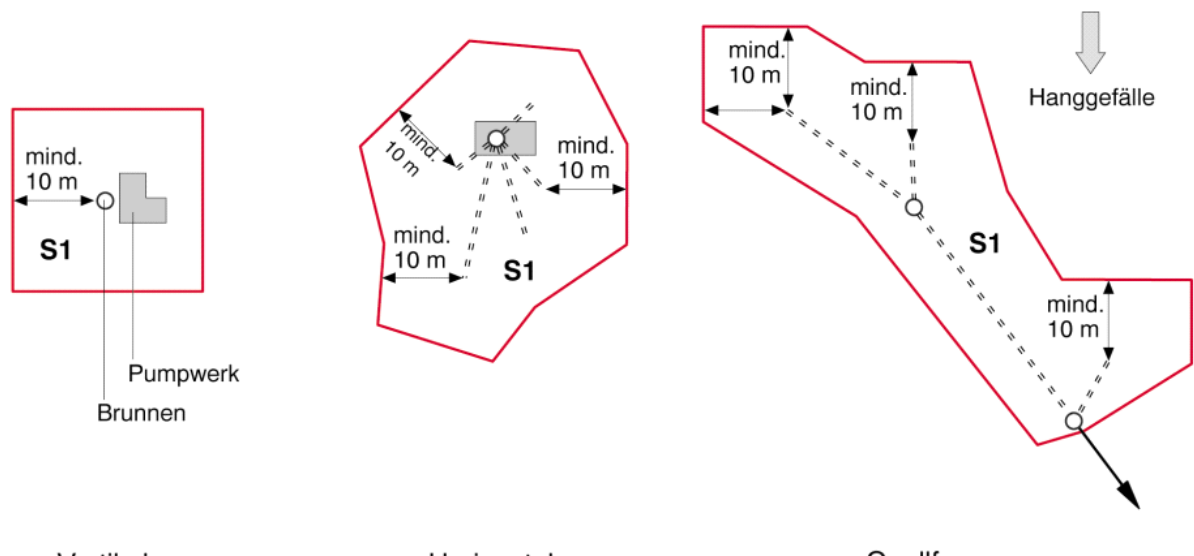


Figure II.10 : Délimitation du périmètre de protection immédiat (PPI) pour les forages (Daniele B. & al. 2012).

Périmètre de protection rapproché (PPR) : La zone est dimensionnée de telle sorte que :

- la durée d'écoulement (temps de séjour) des eaux souterraines entre la limite amont de la zone PPR et le captage soit d'au moins dix jours et que
- la distance entre la zone PPI et la limite amont de la zone PPR soit d'au moins 100 m dans le sens du courant.

Pour le dimensionnement les deux conditions ci-dessus devraient toujours être satisfaites.

Si l'isochrone 10 jours se situe à moins de 100 m de distance de la limite PPI/PPR, la règle des 100 m s'applique alors. L'isochrone 10 jours correspond à la ligne à partir de laquelle les eaux souterraines mettent dix jours pour atteindre le captage lorsque l'installation de captage prélève en continu le débit de concession ou le débit de référence dans la nappe.

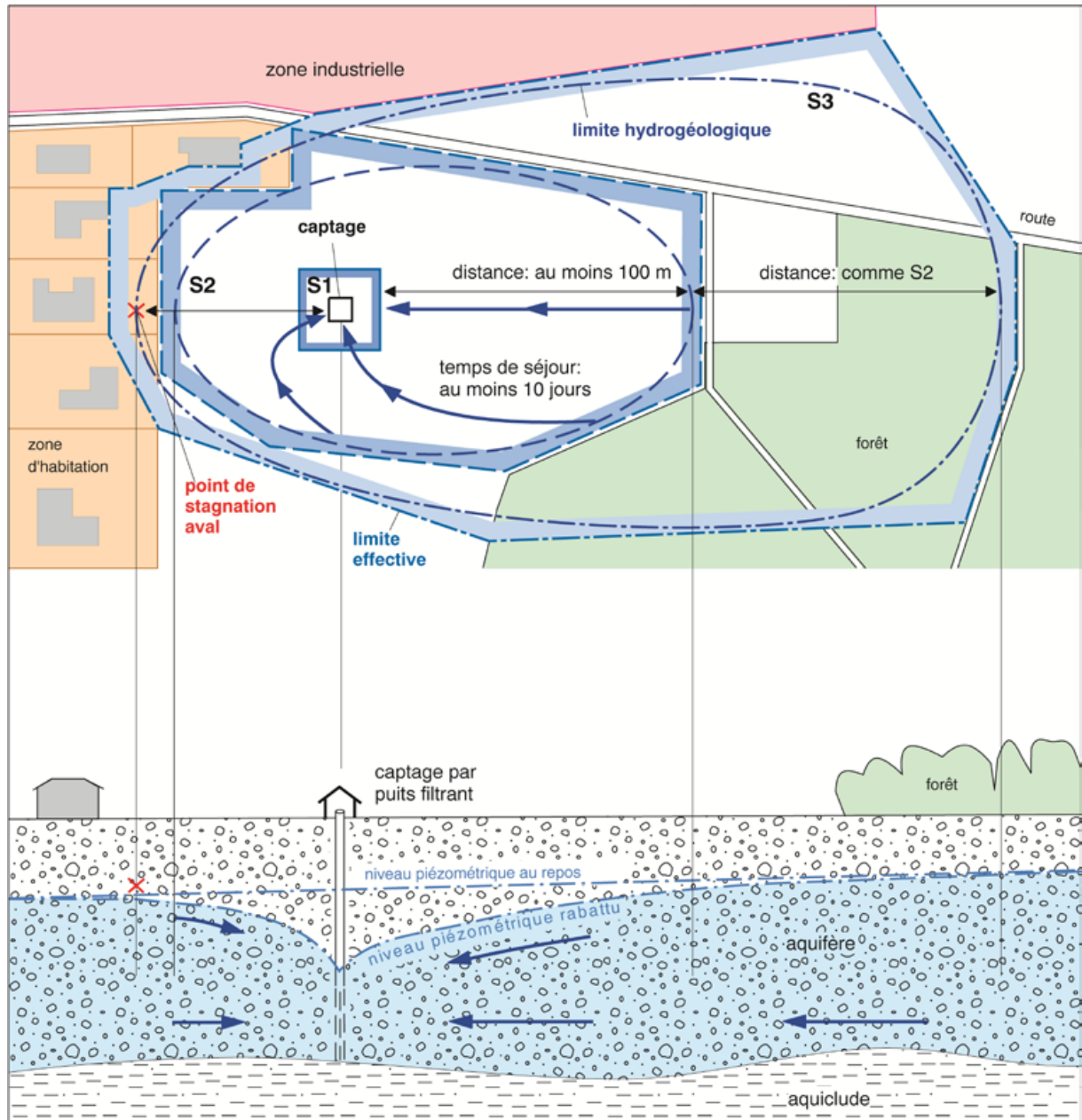


Figure II.11 : Dimensionnement des zones PPR et PPE (Daniele B. & al. 2012).

Périmètre de protection éloignée (PPE) : Le dimensionnement de la zone PPE est régi par les règles suivantes :

- En aval du captage, la zone S3 comprend au moins la zone d'appel jusqu'au point de stagnation aval. A partir de ce point, les eaux souterraines ne peuvent plus refluer vers le captage, même dans les conditions les plus défavorables.

- En amont du captage, la distance entre la limite de la zone PPR et celle de la zone PPE équivaut environ à la distance entre la limite de la zone PPI et la limite de la zone PPR.

II.4.5.3 Sans données hydrogéologiques

Pour déterminer le PPR d'un forage, la surface sera définie comme un cercle autour du forage dont le rayon R sera fonction du débit d'exploitation Q. Le cercle aura un rayon minimum de 50 mètres.

Pour la détermination du rayon R, les débits d'exploitation seront pris en compte, comme suit :

- $Q < 15 \text{ m}^3/\text{h}$: 50 m;
- $15 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 25 \text{ m}^3/\text{h}$: 60 m;
- $25 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$: 90 m;
- $50 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 75 \text{ m}^3/\text{h}$: 110 m;
- $75 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 100 \text{ m}^3/\text{h}$: 125 m ; et
- $Q > 100 \text{ m}^3/\text{h}$: 150 m.

PPE : le PPE sera déterminé afin que la distance PPE-PPR soit la même que PPR-forage, c'est-à-dire :

- $Q < 15 \text{ m}^3/\text{h}$: 100 m;
- $15 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 25 \text{ m}^3/\text{h}$: 120 m;
- $25 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$: 180 m;
- $50 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 75 \text{ m}^3/\text{h}$: 220 m;
- $75 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 100 \text{ m}^3/\text{h}$: 250 m ; et
- $Q > 100 \text{ m}^3/\text{h}$: 300 m.

II.4.6 Méthode de Wyssling

En 1979, L. Wyssling²⁰ a mis au point une formule mathématique qui peut servir à délimiter les zones de protection autour des captages d'eaux souterraines. Elle permet en effet de calculer directement la durée d'écoulement (temps de séjour) des eaux souterraines à partir

d'un point quelconque situé sur l'axe d'écoulement jusqu'au puits en service. Relativement simple et valable dans la pratique, ce calcul se fonde sur de longues années d'expérimentations. En l'appliquant, on pose comme hypothèse de base que les conditions régnant dans l'aquifère sont plus ou moins homogènes et que le débit prélevé (Q) est nettement inférieur au débit total de la nappe souterraine.

II.4.6.1 Grandeurs spécifiques (hydrogéologiques)

Grandeurs hydrogéologiques spécifiques, connues ou à mesurer, utilisées pour les calculs:

- H = épaisseur de l'aquifère, en m
- k = perméabilité de l'aquifère, en m/s
- i_o = gradient hydraulique, lorsque $Q = 0$
- $p(\omega)$ = porosité efficace (lorsque l'eau circule)
- Q = débit prélevé au puits, en m^3/s

II.4.6.2 Grandeurs à calculer

Une fois connues les grandeurs hydrogéologiques ci-dessus, il est possible de calculer les grandeurs suivantes, qui sont nécessaires pour dimensionner les zones de protection des eaux :

$$B = \frac{Q}{H \cdot k \cdot i_o}$$

B = largeur du front d'appel en amont du puits, en m, pour un débit d'exploitation donné (Q)

$$b = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2 \cdot H \cdot k \cdot i_o}$$

b = largeur du front d'appel à la hauteur du puits, en m

$$x_o = \frac{B}{2\pi} = \frac{Q}{2\pi \cdot H \cdot k \cdot i_o}$$

x_o = distance séparant le puits du point de stagnation aval, en m

$$v_o = \frac{k \cdot i_o \cdot 86400}{p(\omega)}$$

v_o = vitesse naturelle d'écoulement des eaux souterraines, en m/j

$$t = \frac{x - x_o \cdot \ln\left(1 + \frac{X}{X_o}\right)}{v_o}$$

t = temps de séjour entre un point donné de l'axe d'écoulement PX et le puits (en amont du puits, x est positif; en aval du puits, il est négatif)

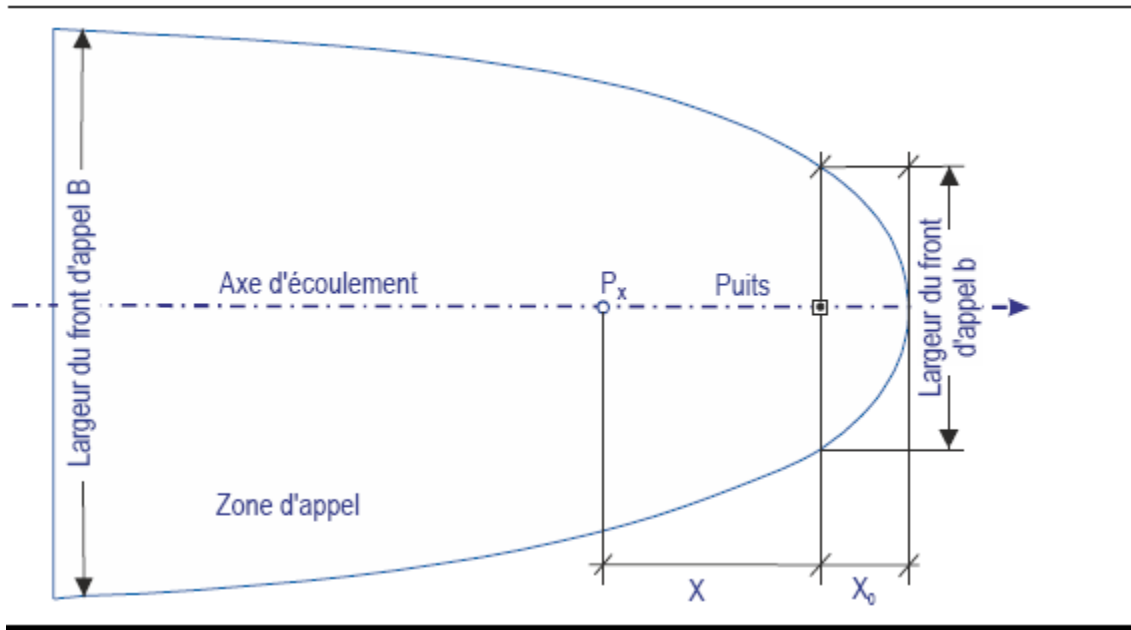


Figure II.12 : Schéma d'écoulement avec les grandeurs utilisées dans la méthode de Wyssling

II.5 LA PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES SELON LA LEGISLATION ALGERIENNE

L'Algérie a adopté plusieurs politiques concernant la protection des ressources en eau souterraine. Généralement elles sont matérialisées par le code des eaux mais aussi par le code de la protection de l'environnement et le code de la santé publique.

Les quatre principaux textes législatifs concernant le secteur de l'eau en Algérie qui prévoient la protection des ressources en eau sont comme suit :

- Loi n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux (J.O.R.A.N°30,1983).
- Loi n°05-12 du 4 aout 2005 relative à l'eau (J.O.R.A.N°60,2005).
- Décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007 relatif au périmètre de protection qualitative des ressources en eau (J.O.R.A.N°80,2007).
- Décret exécutif n°10-73 du 06 février 2010 relatif à la protection quantitative des nappes aquifères (J.O.R.A.N°11,2010).

II.5.1 Loi n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux

La protection des ressources en eau est assurée par des périmètres de protections qualitatives et quantitatives. Elle a défini ce dernier comme un contour délimitant un domaine géographique dans lequel sont interdites ou règlementées toutes les activités à l'intérieur des périmètres de protection qui peuvent polluer les ressources en eaux souterraines concernant notamment :

- L'exécution des puits et forages.
- L'exploitation des carrières.
- L'installation de canalisation, réservoirs et dépôts d'hydraulique.
- L'installation de canalisation des eaux usées de toutes natures.
- 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 radioactifs, d'une manière générale, tout produit et matière susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.

La protection des ressources en eau souterraine doit faire l'objet aussi bien d'une protection qualitative de tous les captages de sources, puits ou forages ainsi que toutes les parties vulnérables des nappes souterraines que d'une protection quantitative des nappes surexploitées ou menacées de l'être, à l'intérieur desquelles sont :

- Interdites toutes réalisations de travaux de fonçage de puits ou forages ou toute modification des installations existantes destinées à augmenter les débits prélevés.
- Soumis à autorisation, les travaux de remplacement de réaménagement des installations hydrauliques existantes, sans augmentation des volumes d'eau prélevés.

II.5.2 Loi n°05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau

L'objectif de cette loi vise à assurer la recherche et l'évaluation des ressources en eau souterraines ainsi que la surveillance de leur état quantitatif ou qualitatif. Les articles 38 à 52 ont adopté la protection des ressources en eau souterraines soit qualitative ou quantitative. Il est établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des nappes

aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative. La loi a déterminé les règlements et les interdictions de toutes activités à l'intérieur de cette zone, telles que :

- Le déversement ou rejet d'eaux usées de toute nature dans les ouvrages de captages des eaux souterraines.
- Le dépôts ou enfouissement de matières insalubres susceptibles de polluer les eaux souterraines.
- L'introduction de toutes matières insalubres dans les ouvrages de captage des eaux souterraines.
- Les dépôts et/ou l'enfouissement de cadavres d'animaux dans les oueds, lacs, étangs et à proximité des ouvrages de captages des eaux souterraines.
- Prévoir des installations d'épuration appropriée.
- Mettre en conformité leurs installations ou les procédés de traitement de leurs eaux résiduaires par rapport aux normes de rejet telles que fixées par voie réglementaire.

II.5.3 Décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007

Il est relatif aux périmètres de protection quantitative des ressources en eaux. Il a pour objet de fixer les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection quantitative des ressources en eau, la nomenclature des périmètres de protection ainsi que les mesures de réglementation d'activités dans chaque périmètre de protection quantitative.

Le décret exécutif a exigé une étude technique pour délimiter les périmètres de protection quantitative autour :

- Des ouvrages et l'installation de mobilisation des eaux souterraines ainsi que de certaines parties vulnérables de nappes d'eaux souterraines.
- Des ouvrages et l'installation de mobilisation des eaux superficielles ainsi que de certaines parties vulnérables d'oueds.
- Des stations de traitement d'eau, des usines de dessalement d'eau de mer, des stations de déminéralisation d'eau saumâtre ainsi que des réservoirs de stockages d'eau.

II.5.4 Décret exécutif n°10-73 du 06 février 2010

Ce décret a pour objet de fixer les modalités de délimitation de périmètre de protection quantitative des nappes aquifères ainsi que les conditions spécifiques d'utilisation de leurs ressources en eau. L'objet d'un dispositif de protection quantitative est d'assurer la préservation des ressources soit par des prélèvements d'eau raisonnables par rapport à la capacité renouvelable de l'aquifère soit par l'évitement de la surexploitation de la nappe aquifère. Toute nappe aquifère, dont le bilan hydrogéologique fait ressortir un déséquilibre chronique entre les prélèvements d'eau et les capacités renouvelables de l'aquifère, traduisant soit une situation de surexploitation, soit une évolution pouvant conduire à une situation de surexploitation, fait l'objet d'un dispositif de protection quantitative. L'administration chargée des ressources en eau initie l'élaboration d'un dossier technique comportant :

- un rapport hydrogéologique faisant notamment ressortir la (les) zone(s) de l'aquifère caractérisée(s) par une surexploitation ou une menace de surexploitation.
- un plan de délimitation géographique du périmètre de protection quantitative de la (des) zone(s) de l'aquifère concerné.
- un document proposant les différentes mesures susceptibles d'être prises pour assurer la protection quantitative de la nappe aquifère concernée.

II.6 CONCLUSION

L'eau souterraine a longtemps été considérée comme une eau pure et peu vulnérable, bien protégée par des couches de terrains, ce qui permettait de répandre sur le sol et dans le sous-sol tous les déchets solides ou liquides dont on voulait se débarrasser. Contrairement à la pollution des eaux de surface, facile à détecter, même si l'épuration est coûteuse, la pollution d'une nappe souterraine est difficilement réversible. C'est pourquoi, les zones de protection autour des captages d'eau sont indispensables dans leur rôle de protection et de prévention.

Le journal officiel prévoit de mettre en place deux périmètres de protection, l'un de protection immédiate, l'autre de protection rapprochée et, le cas échéant, un troisième périmètre dit de protection éloignée. Le périmètre de protection immédiate est une zone de faible extension, englobant le captage et ayant pour fonction d'empêcher la détérioration des ouvrages et d'éviter que des déversements ou des infiltrations d'éléments polluants se produisent à

l'intérieur ou à proximité immédiate du forage. Le périmètre de protection rapprochée doit protéger efficacement le captage vis-à-vis de la migration souterraine des substances polluantes. Son étendue est déterminée par les caractéristiques du forage, la vulnérabilité de la nappe et les risques de pollution

Il convient de lancer des investigations destinées à dimensionner les zones de protection. Ces investigations comprennent des études hydrogéologiques, qui servent avant tout à déterminer la zone d'appel du captage et l'isochrone 10 jours, et des recherches en vue d'établir le cadastre des dangers et le plan des conflits.

Chapitre III

Notions sur les essais de pompage

III.1 INTRODUCTION

L'hydrogéologie n'est pas une science exacte. Les niveaux de la nappe phréatique et les débits de pompage mesurés au cours des essais donnent quelques indications sur le comportement ou l'état de santé du système des eaux souterraines. Il est certain que ces essais fournissent de précieuses informations, nous aident à comprendre le système des eaux souterraines et guident nos décisions. Néanmoins, il n'y a pas de formules magiques en hydrogéologie et les décisions doivent se fonder sur une compréhension plus étendue de la géologie, de l'hydrogéologie et de l'environnement de la région. Il ne sert à rien d'introduire aveuglément les données des essais de pompage dans des équations.

III.2 NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES ESSAIS DE POMPAGE

Le concept fondamental de l'essai de pompage est très simple : de l'eau est extraite (par pompage ou puisage) d'un puits ou d'un forage, faisant ainsi baisser le niveau d'eau. Le niveau d'eau dans le forage d'extraction et le débit de pompage sont observés pendant un certain temps, de même que divers autres paramètres, lorsque c'est possible (par ex. les niveaux d'eau dans des forages d'observation). La manière dont le niveau d'eau réagit au pompage est ensuite analysée pour en tirer des informations sur les caractéristiques de performance du forage et les propriétés hydrauliques de l'aquifère. En réalité, la situation est beaucoup plus complexe. Il faut choisir parmi de nombreux types d'essais (intermittent ou continu, de brève ou longue durée, à débit de pompage faible ou élevé, etc.). Quels autres paramètres ou caractéristiques de l'eau faudrait-il observer, en plus de ceux qui sont évidents, c'est-à-dire le niveau d'eau et le débit de pompage dans le forage évalué (CICR, 2011).

Des essais de pompage peuvent être effectués pour toute une série de raisons, notamment pour:

- évaluer le rendement fiable à long terme (ou débit de production) d'un forage, et donc déterminer si le forage peut être considéré comme une « réussite », et combien de personnes il pourra approvisionner ;

- évaluer la performance hydraulique d'un forage, généralement par ses caractéristiques de rendement-rabattement. Quel doit être le rabattement pour fournir une certaine quantité d'eau ?
- déduire les propriétés hydrauliques de l'aquifère. Les essais de pompage sont la méthode classique (et peut être la seule) pour déterminer in situ les propriétés hydrauliques de l'aquifère, telles que la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement, ou pour révéler la présence de limites hydrauliques ;
- tester le fonctionnement de l'équipement de pompage et d'observation pour être sûr que tout fonctionne sans risques et efficacement et, le cas échéant, confirmer que les entrepreneurs ont fait leur travail correctement ;
- évaluer les effets qu'a cette extraction sur des extractions voisines (parfois appelés interférence) ;
- déterminer l'impact de l'extraction sur l'environnement. Toute extraction d'eau souterraine finit par avoir un impact ; ce n'est qu'une question de lieu et de temps ; reste à savoir si cet impact est acceptable ;
- fournir des informations sur la qualité de l'eau. La qualité de l'eau est-elle suffisante pour l'usage envisagé ? Est-elle stable à long terme ? Faut-il s'attendre à des problèmes tels que le prélèvement d'eau saline ou polluée après de longues périodes de pompage ?
- définir des régimes d'exploitation optimaux (surtout pour le pompage à forages multiples), choisir la station de pompage la plus adaptée à un usage à long terme, et évaluer les coûts probables de pompage et/ou de traitement ;
- aider à déterminer la profondeur exacte à laquelle la pompe permanente devrait être installée dans le forage (les sujets relatifs au choix et à l'installation de la pompe sont traités dans d'autres documents).

III.3 PRINCIPAUX TYPES D'ESSAIS DE POMPAGE

Il existe de nombreux types d'essais parmi lesquels il faut choisir. Les essais les mieux adaptés sont les suivants :

III.3.1 Essai par paliers

Conçu pour déterminer le rapport à court terme entre le rendement et le rabattement du forage testé. Il consiste à effectuer des pompages dans le forage, avec une série de paliers à débit différent, le débit augmentant habituellement à chaque palier. Le dernier palier devrait se rapprocher du rendement maximal estimé pour le forage.

III.3.2 Essai à débit constant

Effectué en pompant à un débit constant beaucoup plus longtemps que dans l'essai par paliers, il est conçu avant tout pour fournir des informations sur les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère. Il n'est possible de déduire des informations relatives au coefficient d'emmagasinement de l'aquifère que si les données proviennent de forages d'observation appropriés.

III.3.3 Essai de remontée

Consiste à observer la remontée des niveaux d'eau après l'arrêt du pompage à la fin d'un essai à débit constant (et parfois après un essai par paliers). Il est utile pour vérifier les caractéristiques de l'aquifère déduites des autres essais, mais n'est valide que si une valve anti-retour (clapet de pied) est placée sur la colonne de refoulement, sinon l'eau est refoulée dans le forage.

Ces essais peuvent être réalisés individuellement ou combinés. En général, une suite complète d'essais commence par un essai par paliers, dont les résultats aident à déterminer le débit de pompage de l'essai à débit constant, et se termine par l'essai de remontée.

III.4 PRÉPARATIFS DE L'ESSAI DE POMPAGE

Certains préparatifs sont indispensables à tout essai de pompage. Il s'agit notamment de rassembler des informations sur le forage ou le puits qui sera testé. Les fruits de ce travail de préparation peuvent influencer le choix de l'essai et permettront certainement d'obtenir des résultats d'une plus grande utilité.

III.4.1 Équipement d'observation de base

Les deux paramètres qui doivent être mesurés lors de tout essai de pompage sont le niveau d'eau dans le forage et le débit d'extraction de l'eau (par pompage ou puisage).

L'équipement de base nécessaire pour observer ces deux paramètres est le suivant :

III.4.1.1 Observation du niveau d'eau

L'appareil manuel de contrôle du niveau d'eau appelé communément « sonde piézométrique » est le moyen le plus pratique, robuste et accessible d'observer les niveaux d'eau dans les forages et les puits. La sonde piézométrique est descendue dans le forage, et lorsqu'elle atteint la surface de l'eau, un circuit électrique est activé et émet un « bip ». Le niveau d'eau peut alors être lu sur un ruban gradué, en général avec une précision d'un centimètre. Normalement, le niveau d'eau est enregistré en mètres, au-dessous d'un point de référence, par ex. le bord supérieur du tubage. Le sondage manuel par sonde piézométrique est généralement considéré comme une méthode fiable et relativement sûre pour obtenir des données sur les niveaux d'eau.



Photo III.1 : Sonde piézométrique manuelle

On peut éviter l'usage d'une sonde piézométrique manuelle en installant un capteur de pression dans le forage. On le place à un endroit connu (au-dessous du niveau d'eau) où il mesure la pression. Cette information permet de déduire la hauteur d'eau au-dessus de ce point, et donc le niveau d'eau dans le forage.



Photo III.2 : Installation d'un capteur de pression

Les capteurs de pression (à enregistreur de données intégré ou data logger) présentent un avantage évident : ils peuvent rester sans surveillance pendant de longues périodes, tout en continuant à mesurer fréquemment le niveau d'eau.

Dans la pratique, ils peuvent toutefois poser les problèmes suivants :

- ces capteurs sont coûteux, par rapport à la sonde manuelle, et ils ne supportent pas toujours les conditions rudes et les températures élevées du terrain.
- Les capteurs sont conçus pour supporter certaines fourchettes de pressions, et si l'on utilise le mauvais type de capteur, celui-ci peut être endommagé et les données faussées.
- Si le capteur ou l'enregistreur de données fonctionnent mal, ou si la batterie se vide, les données obtenues depuis le dernier téléchargement peuvent être perdues, et l'essai devra éventuellement être refait.

En dépit de ces inconvénients, les enregistreurs de données sont de plus en plus courants, et ils sont un outil utile pour vérifier les essais de pompage effectués par des entrepreneurs (lorsqu'il n'est pas possible de maintenir une supervision continue sur le terrain). Parmi d'autres méthodes de mesure des niveaux d'eau, qui sont moins utilisées, on peut citer les

dispositifs suivants : flotteur/contrepoids, pneumatique (insufflation de bulles), « plopper », cordeau à craie, piézomètre à corde vibrante, doppler acoustique et piézomètre à sifflet.

III.4.1.2 Observation des débits de pompage

Il existe de nombreuses façons de mesurer les débits de pompage, dont les plus communes, ou celles qui auront certainement la plus grande utilité pour les ingénieurs, sont les suivantes :

Seau et chronomètre : pour mesurer des débits de pompage relativement faibles, il suffit de prendre un seau et un chronomètre. On fait en sorte que la pompe déverse l'eau dans un seau de volume connu, et on enregistre le temps nécessaire pour remplir le seau. Le débit est ensuite calculé en divisant le volume du seau par le temps nécessaire à le remplir. Pour que cette méthode soit précise, il faudrait que le temps de remplissage du seau soit au minimum de 100 secondes. Si nécessaire, il faut utiliser un conteneur d'un plus grand volume, par ex. un fût à pétrole.

Débitmètres : lorsqu'un équipement plus sophistiqué est disponible, les débits peuvent être mesurés par des débitmètres, qui sont de divers types.

Compteurs d'eau : certains débitmètres enregistrent le volume d'eau cumulé qui passe par le compteur, donc il est nécessaire de faire des relevés à des heures précises et de calculer le débit, après avoir vérifié les unités que le compteur utilise. Pour être précis, les débitmètres devraient être installés conformément aux instructions du fabricant, en respectant la longueur du tuyau droit, horizontal, à mettre avant et après le compteur.



Photo III.3 : Compteur d'eau

Réservoir – déversoir : il s'agit d'un déversoir jaugeur en tôle fine avec une encoche en V placé dans un réservoir. Les réservoirs - déversoirs doivent être posés à l'horizontale ; il faut en outre disposer d'une méthode permettant de mesurer précisément le niveau d'eau à l'intérieur du réservoir ainsi que du tableau de conversion fourni par le fabricant (pour convertir les niveaux d'eau en débits).

Réservoirs – déversoirs artisanaux : une autre possibilité consiste à construire de petits réservoirs - déversoirs sur place, en utilisant les matériaux disponibles, parfois même un ancien fût à pétrole. Ces réservoirs devraient être étalonnés par une méthode de mesure du flux indépendante, afin de garantir des données fiables.



Photo III.4 : Réservoir – déversoir

III.4.1.3 Autre équipement disponible

En plus du matériel servant à mesurer le niveau d'eau et le débit décrit ci-dessus, l'équipement potentiel comprend les éléments suivants :

- > pompe motorisée : en général, une pompe électrique immergée. Vérifiez si une source d'électricité adéquate est disponible ; de nombreuses pompes immergées nécessitent un courant triphasé, donc le courant ordinaire du secteur ne convient pas toujours.
- > Générateur : nécessaire si une pompe motorisée est utilisée à un endroit retiré, ou si l'alimentation électrique sur place est inadaptée ou non fiable. Assurez-vous que la quantité de carburant disponible est suffisante pour la durée prévue de l'essai.

- > Colonne de refoulement : pour faire remonter l'eau de la pompe immergée à la surface du forage ; elle peut être constituée d'un tuyau souple ou de plusieurs tuyaux rigides raccordés.
- > Vannes à réglage manuel : installées entre la colonne de refoulement et les conduites d'évacuation, pour réguler le débit de pompage si la pompe est utilisée à une vitesse fixe.
- > Conduites d'évacuation : pour transporter l'eau assez loin du forage et éviter qu'elle ne retourne dans le circuit (c'est-à-dire pénètre à nouveau dans le forage ou s'infilte rapidement dans le sol et influence le niveau de la nappe près du forage testé).
- > Matériel pour surveiller la qualité de l'eau
- > Matériel pour mesurer le débit des eaux de surface : il est parfois nécessaire d'observer les cours d'eau à proximité pour voir si l'extraction d'eau de la nappe modifie leur écoulement ou cause des infiltrations depuis la rivière (ce qui peut être un risque sanitaire si l'eau de surface est de mauvaise qualité).

III.4.1.4 Récolte d'informations

Lors de la planification d'un essai de pompage, il convient de collecter toutes les informations disponibles sur l'aquifère et le forage. Les résultats de l'essai de pompage seront joints à ces informations et amélioreront la connaissance du système local d'eaux souterraines. Essayez de rassembler des informations sur les points suivants :

- > forages semblables : y a-t-il d'autres forages dans la région (surtout dans la même formation géologique) ? Quels sont les niveaux d'eau et les rendements habituels de ces forages, et quelle est la qualité de l'eau ? Ces forages sont-ils utilisés en ce moment ? Dans l'idéal, il ne devrait pas y avoir de pompes dans des forages proches pendant votre essai de pompage, en tout cas pendant les 24 heures précédant le début de l'essai (ces forages pourraient servir de forages d'observation). Quel rabattement peut-on escompter dans le forage qui va être testé ? À quelle profondeur faut-il placer l'admission (entrée) de la pompe, afin qu'elle reste bien en dessous du niveau d'eau pendant l'essai ?
- > Données géologiques de base : la roche est-elle un socle cristallin, volcanique, constituée de sédiments consolidés ou non consolidés ? Selon les roches, la nappe souterraine se forme et se comporte différemment.

- > Configuration de l'aquifère : l'aquifère est-il captif, libre ou semi-captif ? De nombreuses méthodes d'analyse d'essais de pompage présupposent que l'aquifère est captif. Mais ces méthodes peuvent aussi souvent être utilisées dans des aquifères non captifs, pour autant que le rabattement soit faible comparé à l'épaisseur saturée de l'aquifère.
- > Construction du forage : quelle est la profondeur du forage et quel est son diamètre ? Un tubage solide, une crépine ou un massif filtrant ont-ils été installés ? À noter que si l'on ne connaît pas la profondeur totale du forage, on peut utiliser une sonde piézométrique pour la mesurer, après avoir retiré la pile (afin qu'elle ne « bipe » pas continuellement) ; on descendra la sonde piézométrique jusqu'à ce que l'on sente le fond du forage.
- > Matériel installé : si une pompe est déjà installée dans le forage, quels sont son type et sa capacité, et à quelle profondeur se trouve son admission ? Peut-on modifier le débit de la pompe ?
- > Niveaux d'eau enregistrés par le passé et informations générales : des informations sur le comportement passé du niveau de la nappe sont très utiles. Le niveau d'eau varie-t-il fortement de la saison des pluies à la saison sèche ? Au cours de la période précédant l'essai, le niveau d'eau est-il en train de baisser, de monter, ou est-il stable ? Quel est le niveau d'eau actuel ?
- > Connaissances de la population : les habitants de la région connaissent souvent étonnamment bien le comportement de l'eau souterraine. Par exemple, comment le niveau d'eau réagit-il à des précipitations ? Les rendements du forage peuvent-ils être maintenus ? L'eau est-elle potable, et la qualité de l'eau varie-t-elle au cours du temps ?
- > Vérification de l'accès : lorsque l'on planifie un essai de pompage dans un forage existant, il faut vérifier s'il y a un accès pour la sonde piézométrique ou une pompe temporaire dans les aménagements de surface.

III.5 ESSAI PAR PALIERS

L'essai par paliers (parfois appelé essai par paliers de rabattement) est conçu pour déterminer le rapport à court terme entre le rendement et le rabattement dans le forage testé (CICR, 2011).

Il consiste à effectuer une série de pompages à différents débits, pendant des temps relativement courts (normalement, toute la série peut être terminée en un jour). Un essai par paliers peut être réalisé de différentes façons, mais la plus courante est la suivante :

- > commencer par un débit de pompage faible, et l'augmenter à chaque palier, sans débrancher la pompe entre les paliers.
- > Prévoir quatre à cinq paliers au total, les débits de pompage progressant par échelons plus ou moins réguliers entre le minimum et le maximum.
- > Tous les paliers devraient avoir la même durée, la plus courante étant de 60 à 120 minutes.
- > Le débit du dernier palier devrait être égal ou supérieur au débit d'exploitation prévu lorsque le forage fonctionnera à pleine capacité. Cela n'est possible, bien sûr, que si la pompe utilisée pour l'essai peut fournir un tel débit.

La figure III.1 illustre une séquence typique de débits de pompage (Q) et le comportement du niveau d'eau. On voit immédiatement pourquoi cet essai est dit « par paliers ».

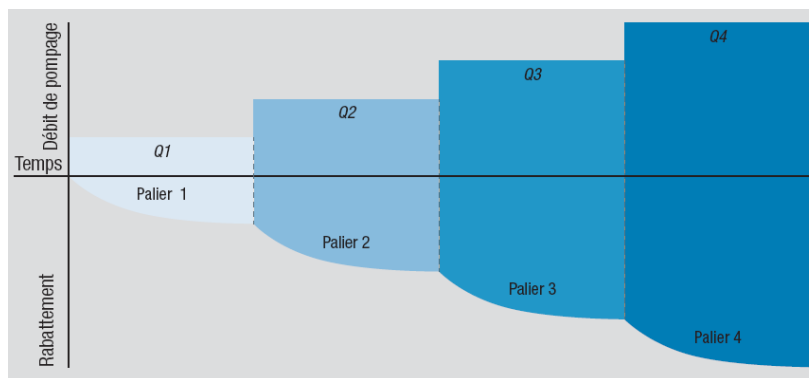


Figure III.1 : Schéma de l'essai par paliers

III.6 DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES A PARTIR DES ESSAIS DE POMPAGE

S'il est possible de déterminer la perméabilité (K) des terrains par des essais tels que ceux désignés sous le nom d'essais Lefranc ou leurs variantes, il est nécessaire pour déterminer aussi bien la porosité utile ou le coefficient d'emmagasinement (S) que la transmissivité (T) de réaliser des essais de pompage de courte ou de longue durée selon la méthode d'interprétation qui sera envisagée. Lors de ces essais de pompage, on est amené, comme pour

les mesures en laboratoire au perméamétrie ou pour les essais Lefranc sur le terrain, à distinguer deux types :

- Essais en régime d'équilibre ou régime permanent. f
- Essais en régime de non équilibre ou régime non permanent ou encore régime transitoire.

Toutes les formules théoriques les plus courantes supposent que l'on se trouve en présence de formations aquifères homogènes et isotropes ce qui est très rarement le cas dans la nature. L'anisotropie des formations est très fréquente du fait des conditions de transport des sédiments (spécialement des alluvions). La différence entre perméabilité verticale et la perméabilité horizontale est souvent de l'ordre de puissance 10. Il existe des méthodes particulières (Hantush et Dagan) pour traiter ces problèmes d'anisotropie.

III.6.1 Le pompage longue durée ou essai de nappe

Un pompage d'essai consiste à pomper de l'eau selon certaines règles (définies dans la norme AFNOR NFX10-999) et à examiner l'influence du pompage sur les niveaux d'eau de l'aquifère.

Pendant les pompages d'essai, les données de débits et de niveaux d'eau (dans le forage et dans les piézomètres à proximité) sont obligatoirement mesurées.

Le pompage est réalisé au débit maximal des installations de pompage à mettre en place (et non en fonction des capacités maximales de production de l'ouvrage). Toutefois, ce débit doit rester inférieur de 10 % au débit critique.

Cet essai permet entre autres de quantifier l'influence réelle du nouveau forage sur la ressource en eau, en observant directement la baisse des niveaux sur les points d'eau avoisinants.

En cas de baisse significative, il convient d'apprécier l'incidence du nouveau forage sur l'utilisation normale des ouvrages alentours (eau de surface également).

Enfin, le pompage d'essai de longue durée permet également de s'assurer, dans les conditions de l'essai, de la présence d'une réserve en eau suffisante pour couvrir les besoins demandés.

Il est conseillé de reporter les valeurs (rabattement, temps de pompage) sur un graphique semi logarithmique pour attester d'une évolution satisfaisante des niveaux (voir l'exemple de graphique ci-dessous).

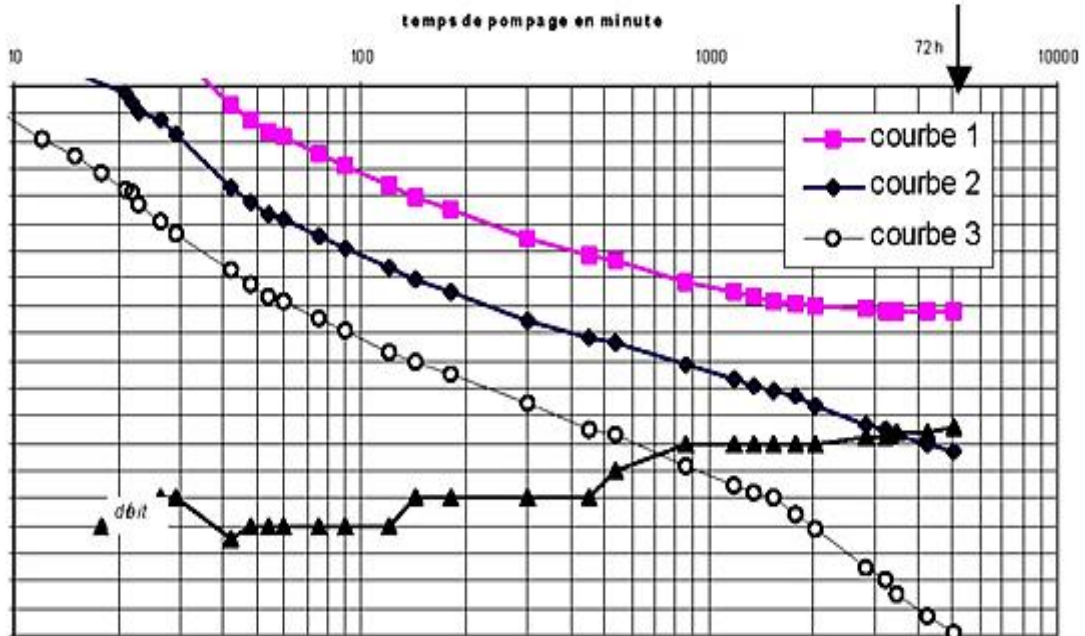


Figure III.2 : Exemple de pompage longue durée

Si les niveaux se stabilisent (courbe 1) ou si la pente est constante (courbe 2), le forage peut être exploité au débit souhaité, sous réserve que l'interférence générée sur les autres ouvrages reste compatible avec leur utilisation usuelle.

Si la pente augmente en cours de pompage (courbe 3), la ressource est limitée. Dans ce cas, il faut diminuer le débit d'exploitation ou ne pas dépasser la durée de pompage correspondant à l'apparition de la rupture de pente.

Le calcul des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère à partir d'un pompage d'essai permet de tester le comportement de la nappe, de mesurer les caractéristiques de l'aquifère lorsque les niveaux peuvent être suivis dans des ouvrages influencés, (utilisables comme piézomètres). Il permet d'identifier la présence de limites (limite étanche, colmatage des berges d'une rivière ou réalimentation par la rivière...) avec détermination de la distance de cette limite au forage d'essai. La durée de l'essai est un compromis entre le coût de l'opération et le besoin de vérifier qu'il n'existe pas « d'effet limite » : l'atteinte d'une limite

par le cône de dépression se traduit en effet par des inflexions plus ou moins prononcées (fonction du type de limites) de la courbe « rabattement-temps ».

Un test de 24 h est un strict minimum ; la durée la plus communément admise est de 72 heures.

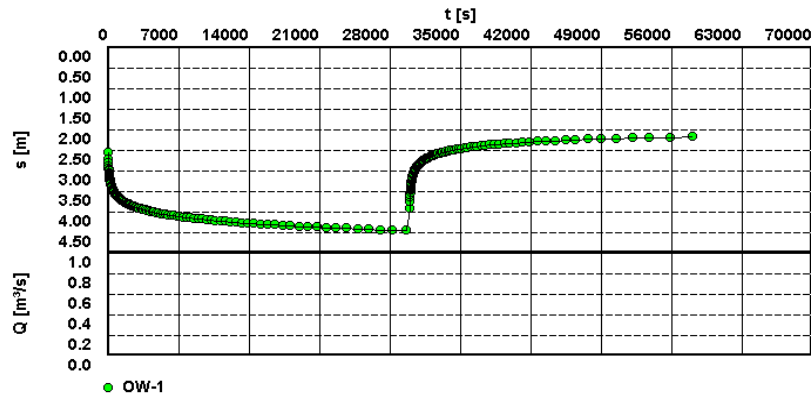


Figure III.3 : Évolution des rabattements en fonction du temps lors d'un essai à débit constant

Les mesures de niveau doivent être poursuivies après l'arrêt du pompage. Elles peuvent être interprétées et confirmer l'interprétation des mesures relevées en cours de pompage ou les remplacer partiellement lorsque la turbulence induite par la pompe ne permet pas d'obtenir des mesures fiables. Il n'existe pas de méthode d'interprétation simple et universelle. L'interprétation des essais est actuellement rendue plus rapide par l'existence de logiciels présentant plusieurs méthodes.

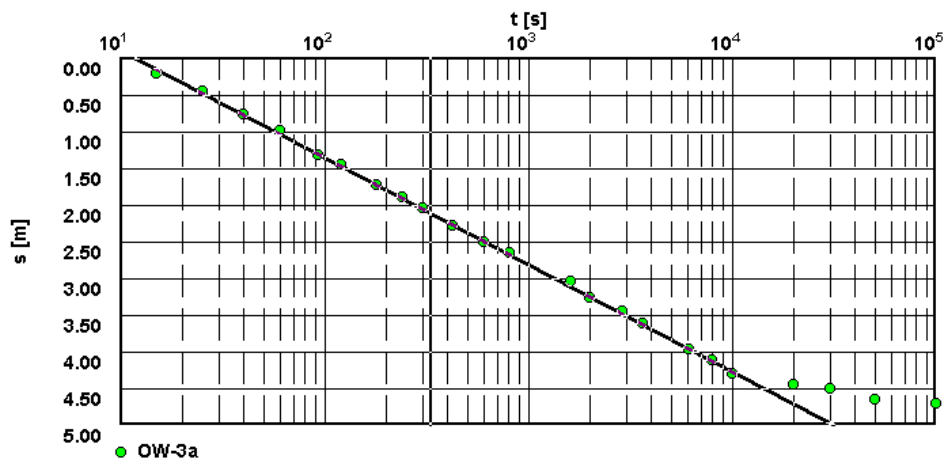


Figure III.4 : Exemple d'interprétation simple d'un essai à débit constant

Pendant les essais en nappe libre, toutes les précautions doivent être prises pour prévenir toute infiltration des eaux pompées à proximité du forage.

III.6.2 Régime d'équilibre ou régime permanent : essais de pompage

En régime d'équilibre ou permanent, les apports de la nappe vers le puits compensent les prélèvements et l'équilibre est marqué par la stabilisation du niveau de l'eau dans le puits et celle du rayon du cône de rabattement pour le débit considéré. On opère en pompant à débit constant pendant l'essai. Si l'on dispose de puits d'observation ou de piézomètres proches du puits pompé, on peut appliquer la formule de **Dupuit** en tenant compte du type de nappe et du type d'ouvrage dans lequel on pompe.

Le régime est permanent quand il y a équilibre entre le débit sortant du puits et le débit entrant par ailleurs dans la nappe. Un exemple bien connu est celui du canal circulaire à niveau d'eau constant ceinturant une île au centre de laquelle un puits prélève de l'eau. Un autre exemple est celui d'une nappe libre dont la surface libre est stable et dont le mur est une couche semi-perméable recouvrant elle-même une nappe semi-captive où l'on pompe. Comme un canal circulaire ou une surface libre stable sont rares dans la nature, il semblerait que les formules du régime permanent soient de peu d'utilité. En fait, on dira que le régime permanent est atteint si, dans les piézomètres, l'évolution du rabattement dans le temps devient négligeable, ou si le gradient hydraulique devient constant aux abords du puits. (Dans ce dernier cas, la littérature française emploie plutôt le terme de régime "quasi-permanent"; par la suite, on ne fera plus la distinction et l'on appellera l'ensemble "régime permanent".) Dans ce qui précède, on suppose implicitement que l'on a fait auparavant la correction des autres phénomènes influençant le niveau d'eau: par exemple, les variations du niveau des rivières ou de la pression atmosphérique. (KRUSEMAN.G.P. 1974).

III.6.3 Régime transitoire

Le régime transitoire, ou de non-équilibre, se produit entre le début du pompage et le moment où l'on atteint le régime permanent. Par conséquent, si l'on pompe à débit constant dans une nappe parfaitement captive, horizontale, infinie et d'épaisseur constante, on observera toujours

un régime transitoire. Dans la réalité, on considérera que l'écoulement vers un puits est en régime transitoire tant que, dans les piézomètres, l'évolution des rabattements causés par le pompage seul est mesurable dans le temps, ou bien tant que le gradient hydraulique varie de façon mesurable (KRUSEMAN.G.P. 1974).

III.6.4 Détermination de la transmissivité par la méthode de JACOB

Par définition, la transmissivité exprimée en m^2/s , est le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. Elle représente la capacité de l'aquifère à transmettre l'eau à travers une unité de surface. Elle peut donc nous situer sur la perméabilité du milieu. Selon que cette valeur est élevée ou faible l'aquifère peut être jugé bon ou mauvais. Pour sa détermination plusieurs méthodes empiriques ont été établies.

Les mesures issues des essais de pompage disponibles sur le terrain sont celles des puits de pompage, faute de piézomètres d'observation. A l'aide de ces données, la transmissivité de l'aquifère peut être évaluée aussi bien par les données de la descente que celles de la remontée. Dans le premier cas, la valeur de celle-ci serait entachée d'erreurs dues aux incertitudes dans les mesures causées par les pertes de charges quadratiques (écoulement turbulent dans la pompe) (Lasm, 2000). Dans le second cas, la valeur de la transmissivité obtenue est beaucoup plus fiable (régime non influencé). Nous pouvons donc utiliser les données de la remontée pour la détermination de ce paramètre. Cette démarche a été conseillée par différents auteurs dans de pareilles circonstances (Lasm, 2000 ; Dakouré, 2003), car elle permet de réduire l'effet des pertes de charges. Pour mieux apprécier la distribution de la transmissivité, une classification de celle-ci a été établie et se présente comme suit (Lasm, 2000) :

- classe faible : $T < 10^{-5} m^2/s$
- classe moyenne : $10^{-5} < T < 10^{-4} m^2/s$;
- classe forte : $T > 10^{-4} m^2/s$.

Formule de JACOB

Cette méthode s'appuie sur la formule de THEIS dans laquelle la fonction exponentielle intégrale est remplacée par un développement, en série convergente. Ainsi l'expression devient :

$$s = \frac{Q}{4\pi} \left(-0,5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2x2!} + \frac{u^3}{3x3!} \dots \right) \quad (1)$$

Lorsque u est très petit (u inférieur à 0,01); l'expression du rabattement se réduit à la forme asymptotique :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left(-0,5772 - \ln \frac{r^2 S}{4Tt} \right) \quad (2)$$

Et la forme finale logarithmique du rabattement est :

$$s = \frac{2,30Q}{4\pi T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad (3)$$

$$s = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad (4)$$

Avec:

s : rabattement (m)

Q : débit de pompage (m^3/s),

T : transmissivité (m^2/s),

S : coefficient d'emménagement (sans dimension),

t : temps de pompage (s),

r : distance entre l'axe du forage et le piézomètre ou puits d'observation (m).

Pour la détermination graphique de T , il faut représenter sur un papier semi-logarithmique la fonction $s = f(\log t)$ (rabattement en fonction du temps). Cela donne une droite dont le prolongement sur l'axe des abscisses fournit les renseignements suivants: $s = 0$; $t = t_0$. La pente de cette droite sur un cycle logarithmique donne Δs . Si l'on porte ces valeurs dans l'équation (4), on déduit :

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2}$$

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s}$$

III.7 CONCLUSION

L'interprétation des résultats d'un essai de pompage revient à ajuster un modèle conceptuel dont le comportement hydraulique est jugé similaire au système géologique aquifère sollicité,

pour les environs de l'ouvrage de captage testé. Ce travail d'ajustement permet d'obtenir des caractéristiques hydrauliques qui, si le choix du modèle conceptuel est judicieux, devraient permettre de reproduire convenablement le comportement hydraulique du système géologique aquifère sollicité, soit:

- la transmissivité T de la formation aquifère et, selon le cas, sa variabilité spatiale ou son anisotropie (lorsque plusieurs piézomètres ont été suivis au cours de l'essai) ;
- le coefficient d'emménagement S ou d'emménagement spécifique S_s , et, selon le cas, sa variabilité spatiale;
- selon le contexte hydrogéologique, la conductivité hydraulique verticale K_v de l'aquitard qui recouvre la formation géologique aquifère testé, le coefficient de drainance (K_v/b'), le facteur d'égouttement S' et le facteur de drainance B ;
- l'efficacité de l'installation de pompage;
- la position des frontières de la formation géologique aquifère qui sont suffisamment proches pour influencer l'écoulement dans les environs de l'ouvrage de captage, donc qui ont été détectées au cours de l'essai de pompage ;
- la piézométrie dans le secteur à l'étude;
- le rayon d'influence et l'aire d'alimentation de l'ouvrage de captage.

Chapitre IV

La nappe alluviale de Oued Biskra

IV.1 DESCRIPTION GENERALE DE LA ZONE D'INTERVENTION

IV.1.1 Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe au Sud/ Est du pays ; elle constitue un trait d'union entre le nord et le sud, et elle considérée comme la porte du Sahara.

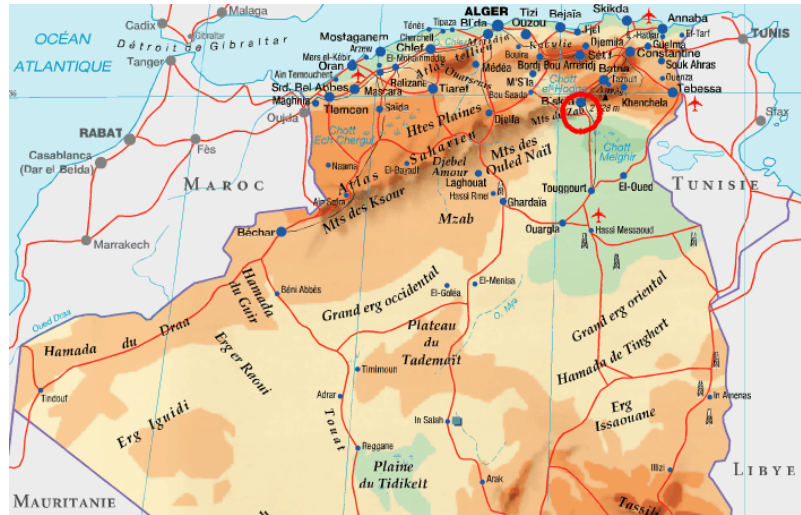


Figure IV.1 : Localisation générale de la zone d'étude

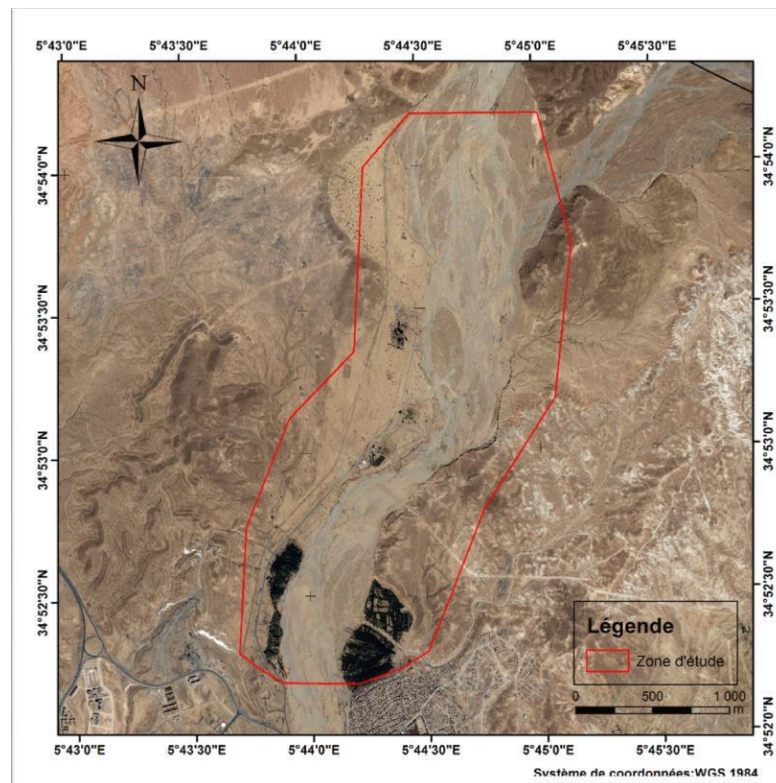


Figure IV.2 : Localisation de la zone d'étude

La figure ci-dessus montre la localisation de la zone d'étude et qui est située juste à l'amont de la ville de Biskra

IV.1.2 Contexte administratif

La zone d'étude est située en amont de la ville de Biskra ; elle s'étend sur une superficie de 5km^2 , soit 4% de la superficie totale de la commune (127 km^2). Le champ captant alimente une population de 130 000 habitants ; soit 50% du total de la commune



Figure IV.3 : Champ de captage de l'Oued Biskra (partie aval)

IV.1.3 Cadre climatique

La région étudiée est caractérisée par un climat aride, avec une température moyenne annuelle de 22.4°C et une précipitation moyenne annuelle de 196 mm. A l'échelle saisonnière, on constate une saison relativement pluvieuse, (de Septembre à Mai) et une autre sèche pour le reste de l'année.

L'évapotranspiration potentielle est de 1411.75mm par an, ce qui provoque la consommation de la totalité des précipitations, donnant ainsi un déficit, sur toute l'année qui dépasse les 1238.7mm.

IV.1.4 Contexte physique

La figure ci-dessous représente le relief de la zone d'étude, à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT). L'altitude de la zone d'étude varie entre 156 à 165 m au Nord et de 100 et 120 m au sud.

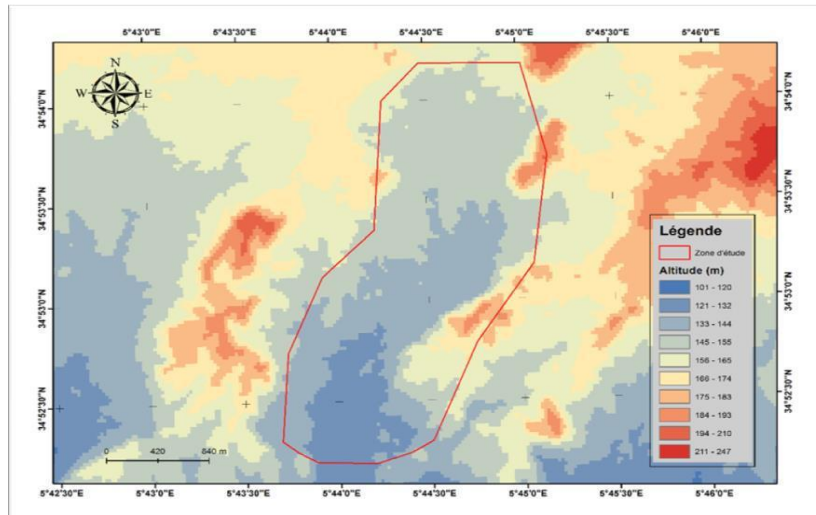


Figure IV.4 : Altitude de la zone d'étude du champ de captage

IV.2 CADRE GEOLOGIQUE

La géologie de la région d'étude se caractérise par sa situation dans une zone de transition entre les formations et les structures de l'Atlas saharien et celles de la plate-forme saharienne. La région hérite, en général, de la structure et de la tectonique atlasique : plis d'orientation NE-SW. Le passage des formations alpines aux structures plates du Sahara se fait par l'intermédiaire d'une flexure appelée accident sud atlasique.

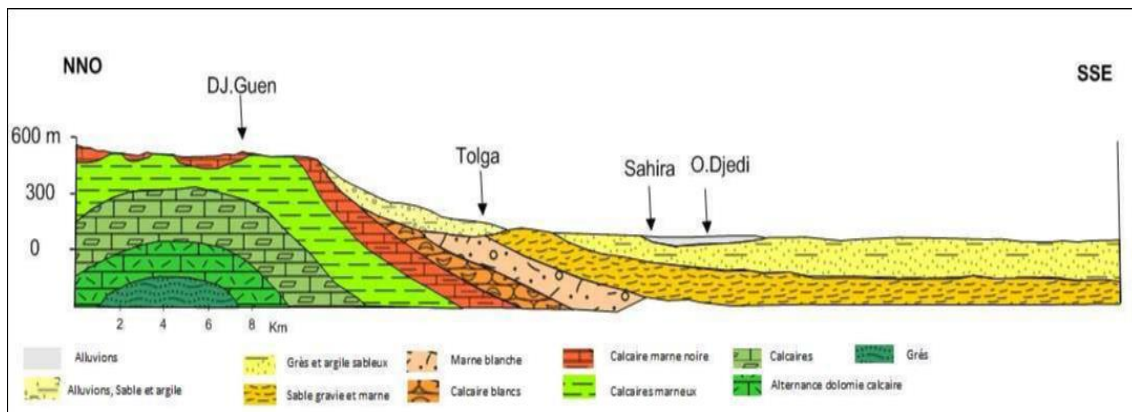


Figure IV.5 : Coupe géologique synthétique de la région de Biskra

Les principaux aquifères sont contenus dans les formations du Crétacé inférieur, Crétacé supérieur et les formations du Mio-Plio-Quaternaire.

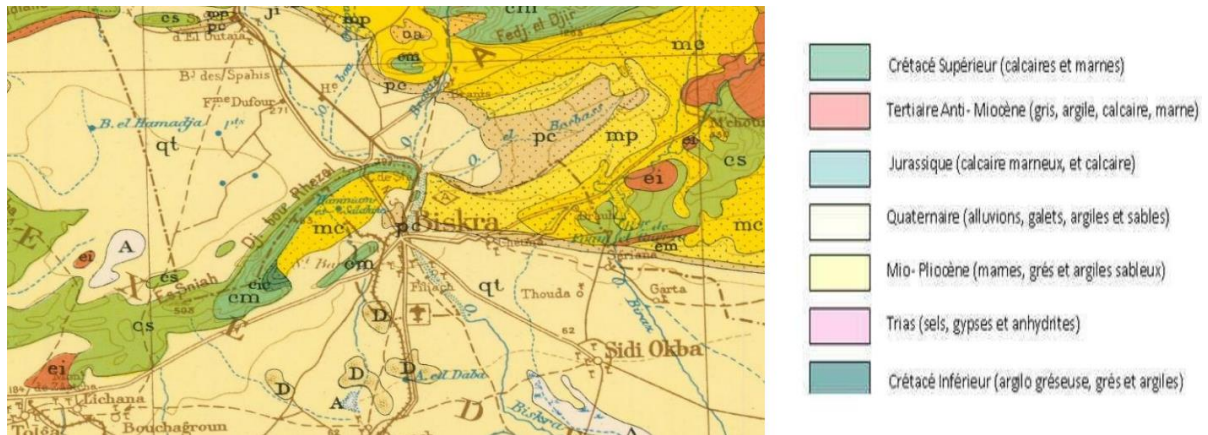


Figure IV.6 : Extrait de la carte géologique de la région de Biskra Echelle/1 :200 000 (ANRH d'après R.GUIRAUD, 1973)

IV.3 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La nappe alluviale de l'Oued Biskra est localisée juste à l'amont de la ville de Biskra. Le seuil amont de la nappe est délimité par la barre calcaire turonienne de la fermeture périclinale de djebel Boughezal à l'ouest et par la cluse de l'Oued Besbes à l'est. Le seuil aval quant à lui, est localisé sur la cluse des poudingues du Pliocène.

Elle se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires, elle est alimentée essentiellement par les eaux des précipitations, par les eaux de l'oued en période de crue et fort probablement par une alimentation souterraine profonde à travers un réseau de fractures.

La profondeur de cette nappe est comprise entre 20 et 150 m avec un débit oscillant entre 10 et 30 l/s.

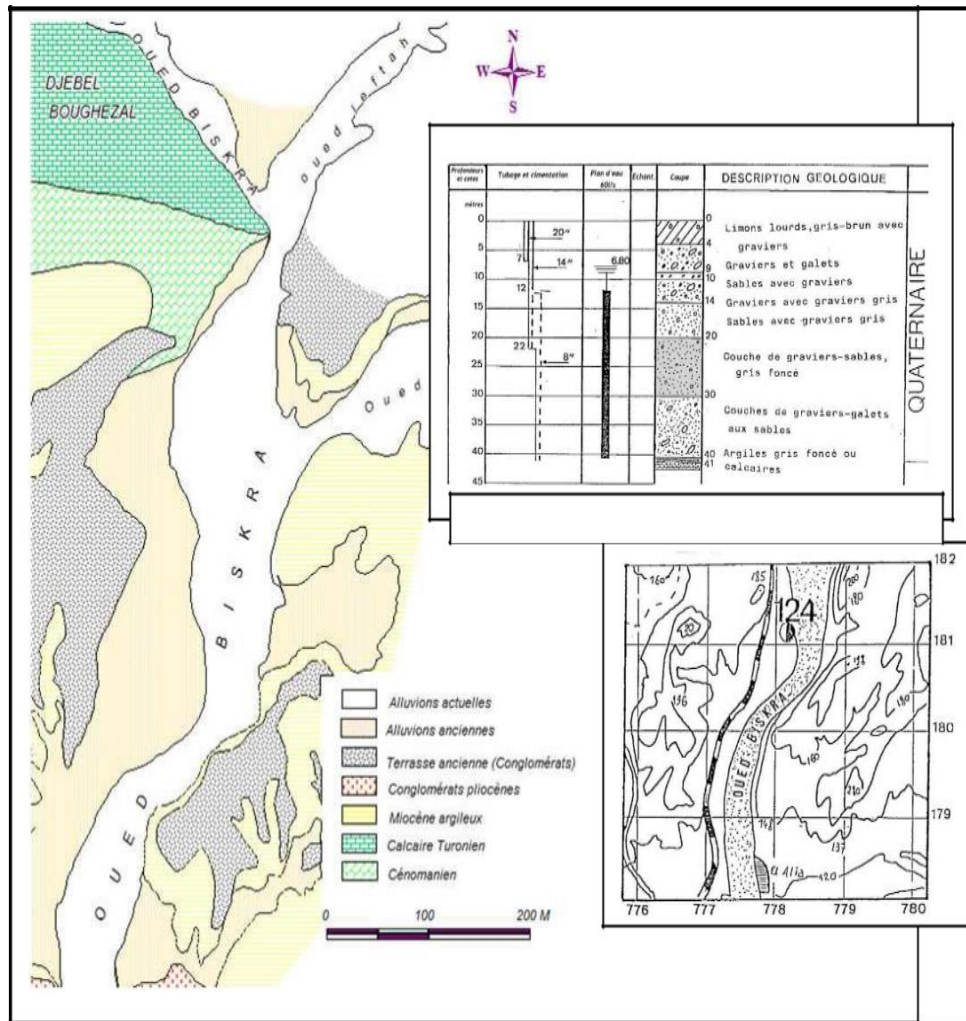


Figure IV.7 : Esquisse géologique de la nappe alluviale

IV.3.1 Lithologie et géométrie de l'aquifère

L'aquifère est de forme allongée et de direction générale Nord/Sud. Cette forme a été façonnée par l'écoulement de l'Oued Biskra creusé dans les marnes imperméables du Miocène et remblayé par des dépôts alluvionnaires.

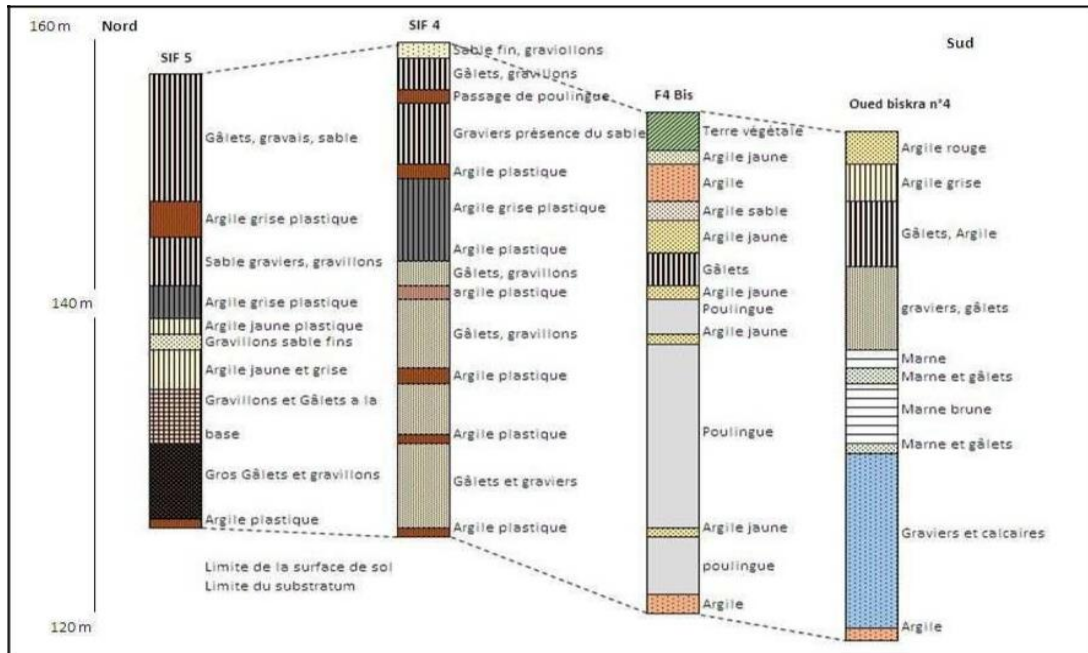


Figure IV.8 : Coupe hydrogéologique schématique

L'analyse des coupes lithologiques des forages montre que cette dernière est homogène dans sa globalité ; elle est constituée de galets, de graviers avec alternance de niveaux d'argile. Vers le Sud, particulièrement au niveau du forage Oued Biskra n°4, apparaît une épaisse couche d'argile le long des premiers mètres du forage, elle s'intercale avec des marnes.

IV.3.2 Porosité efficace

La quantité d'eau totale emmagasinée dans les 100^{10} m^3 d'alluvions dépend de la porosité totale de ceux-ci. La quantité d'eau disponible par pompage et renouvelable par rapport des crues dépend de la porosité efficace. Les valeurs de ce paramètre sont généralement très controversées car il est difficile d'en faire la mesure in situ avec précision et les mesures de laboratoire sur des carottes de forage sont tout aussi imprécises.

Pour des alluvions grossières et sableuses les chiffres généralement admis sont de 10 à 15%. Les auteurs américains (cf. TODD : Ground water hydrology) prennent généralement des valeurs du "Specific yield" beaucoup plus élevées de l'ordre de 25 à 35 et même de 40%.

A Biskra, la SCET Coop a essayé durant leurs travaux sur la nappe en 1967 d'évaluer la valeur de la porosité par deux méthodes différentes :

a) - Méthode du cône de rabattement.

Elle consiste à mesurer le volume de terrain dénoyé au cours d'un essai de pompage, et à le comparer au volume d'eau exhauré.

Cette méthode suppose qu'on dispose au minimum de deux piézomètres et que le calcul soit fait pour un temps de pompage suffisamment court pour ne pas enregistrer l'effet de l'apport de la nappe au cône on formation.

Cette méthode appliquée aux essais de pompage a donné des valeurs de la porosité qui varient de 28 à 47%.

b) - Méthode de la courbe de tarissement

La courbe de décroissance du niveau piézométrique dans un puits en régime non influencé par la pluie ou les crues, peut se comparer à la courbe de tarissement d'une rivière, dont l'expression généralement admise prend la forme d'une exponentielle de formule simplifiée :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t}$$

dans laquelle le Q_0 est le débit au début de la période non influencée,

Q le débit à tout instant t ,

Par intégration de l'expression entre 0 et t on obtient une relation simple entre le débit Q_0 et le volume d'eau total contenu dans le réservoir, en effet,

$$V = \int_0^t Q \cdot dt \rightarrow V = \frac{Q_0}{\alpha}$$

Connaissant le débit initial du système et le paramètre α , il est possible de déterminer le volume total emmagasiné, donc la porosité efficace en masse du réservoir

Les calculs effectués sur les courbes des piézomètres de BISKRA ont fourni une valeur moyenne de $\phi = 30\%$

IV.3.3 Perméabilité

M. VAILLEUX dans ses rapports successifs avait calculé la valeur de la perméabilité à partir de considérations basées sur les profils piézométriques au cours des essais de pompage en 1956. Les valeurs obtenues nous ont paru très élevées, elles étaient de l'ordre de :

$$10^{-3} < K < 6.10^{-3}$$

Les essais de M. VAILLEUX en 1962, fournissaient une transmissivité $T = 2.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, soit une perméabilité de $K = 10^{-3} \text{ m/s}$.

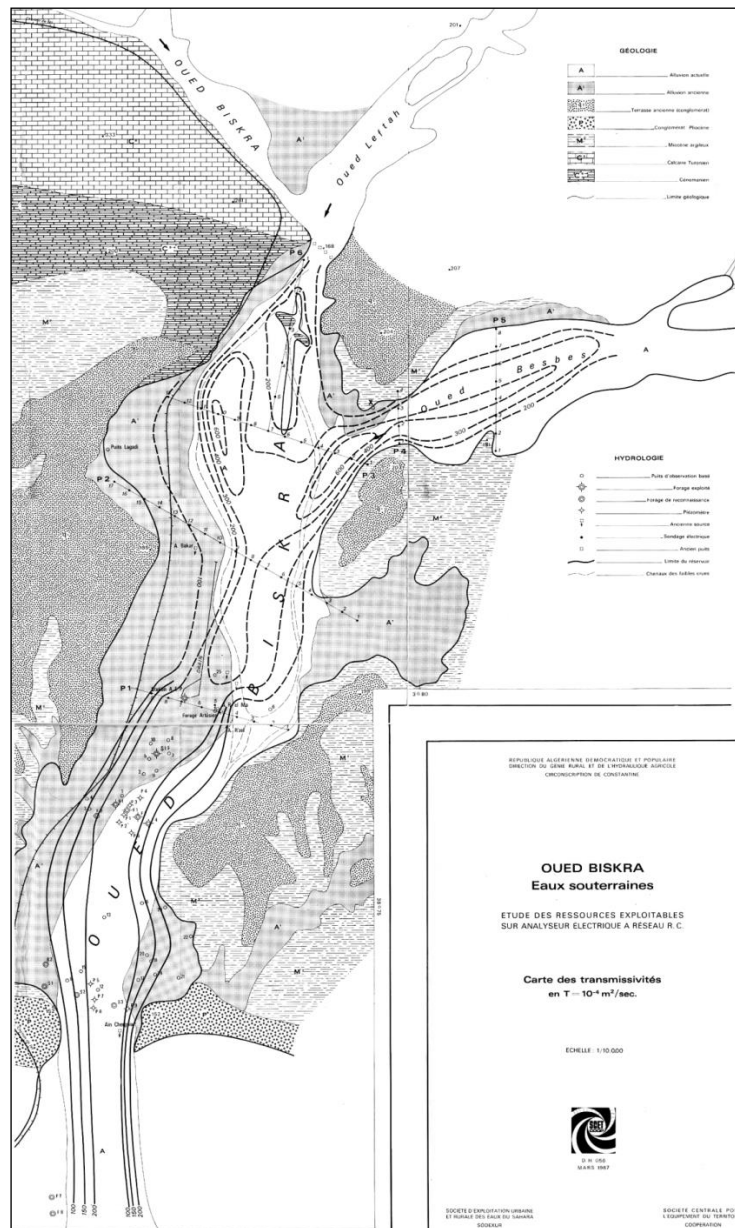


Figure IV.9 : Carte des transmissivités de la nappe alluviale de oued Biskra

IV.4 PRELEVEMENTS POUR L'AEP

L'alimentation en eau potable de la zone d'étude est assurée à partir de forages, captant l'aquifère alluviale de l'Oued Biskra.

Le tableau IV.1 présente la liste des forages destinés à l'AEP et leurs principales caractéristiques.

On recense 29 forages destinés à l'AEP au niveau de la zone d'étude, dont 13 sont à l'arrêt ; ceci est dû aux réaménagements des forages (démolition des constructions vétustes). La profondeur des forages varie de 44m à 70 m. Les niveaux statiques sont compris entre 12 m et 24 m, tandis que les rabattements des forages en exploitation varient de 5 m à 46 m. La carte ci-après montre la localisation des forages AEP en service.

Tableau IV.1 : Liste des forages AEP de la zone d'étude

Désignation	Année	X	Y	Z(m)	Prof (m)	Etat	NS (m)	ND	Q (l/s)
								(m)	
B		5,737	34,880	131		à l'Arrêt			
B1	1978	5,735	34,880	210	50	En service			65
B1 bis	2006	5,735	34,880	128	73	En service	15	17,2	25
B2	1992	5,737	34,880	138	42	En service	14	70	11
B3	1992	5,736	34,880	118	75	En service	25	90	11
B3 remp (bis)	2015	5,734	34,879	132	74	En service	23,62	35,8	6
B4		5,737	34,882	134		à l'Arrêt			
B5	1995	5,735	34,881	135	52	à l'Arrêt			
B5 bis	2006	5,735	34,881	131	70	à l'Arrêt	13,3	16,2	
B5 rempl	2018	5,735	34,881	129		à récupérer			
ENV 1	2008	5,742	34,894	196	70	à l'Arrêt	21	42	
ENV1 Remp	2013	5,742	34,894	148	49,7	En service			
ENV2	2008	5,743	34,899	198	70	En service	18	39	
F1									
remplacement	1980	5,738	34,883	140	40	En service	14	70	14
F1 (A)	1952	5,738	34,883	134	44	à l'Arrêt			
F1 bis (nakhla)		5,737	34,882	132		à l'Arrêt			
F2		5,740	34,885	142		à l'Arrêt			
F2 bis	1988	5,740	34,886	141	50	En service	13,2	65	25
F3	1971	5,741	34,889	148	41	En service	14	70	
F4	1971	5,741	34,891	149,49	41	à l'Arrêt			
F4	1987	5,741	34,891	150	44	à l'Arrêt	13	70	
F4 Rem		5,741	34,891	139		En service			19
Nouveau forage	2018	5,737	34,882	133	71	à récupérer			
SIF4	1970	5,742	34,886	148,48	36,8	à l'Arrêt			
SIF4 rempl	1986	5,743	34,886	150	43,5	En service	14	70	21
Sif5	1970	5,742	34,884	149,49	39,5	à l'Arrêt	13		
sif5 rem	2017	5,742	34,884	139	70	En service	13,7	28,6	6
Sif6	1970	5,740	34,883	140	40	à l'Arrêt	12	70	
Sif6 bis	1987	5,739	34,883	140	44	En service	13	70	10

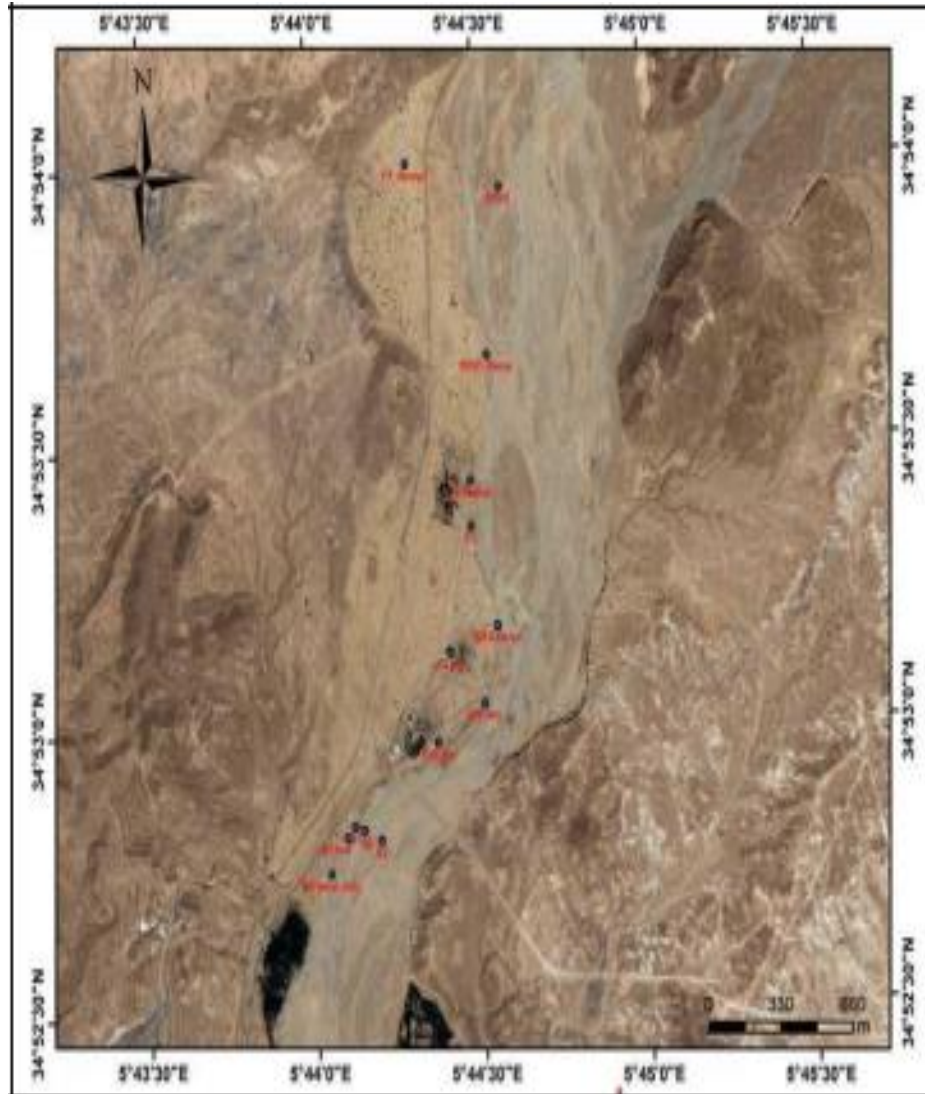


Figure IV.10 : Forages AEP en service.



Photo IV.1 : Forages captant la nappe alluviale de oued Biskra

D'un point de vue opérationnel, les captages AEP de Oued Biskra sont exploités par l'Algérienne des Eaux (ADE). Les volumes prélevés par l'ADE de 2009 à 2018 dans la commune de Biskra sont repris dans le tableau ci-après.

Tableau IV.2 : Volumes annuels prélevés par l'ADE.

Année	Nombre de Forages	Volume produit annuel (Hm ³ /an)
2009	11	4,79
2010	11	4,14
2011	13	6,51
2012	12	7,70
2013	13	7,51
2014	12	7,71
2015	14	8,17
2016	14	7,79
2017	14	6,94
2018	14	6,54

Les débits prélevés varient de 4 à 8 Hm³/an par l'ADE. Malgré l'augmentation observée entre 2011 et 2015, aucune hausse significative n'est observée.

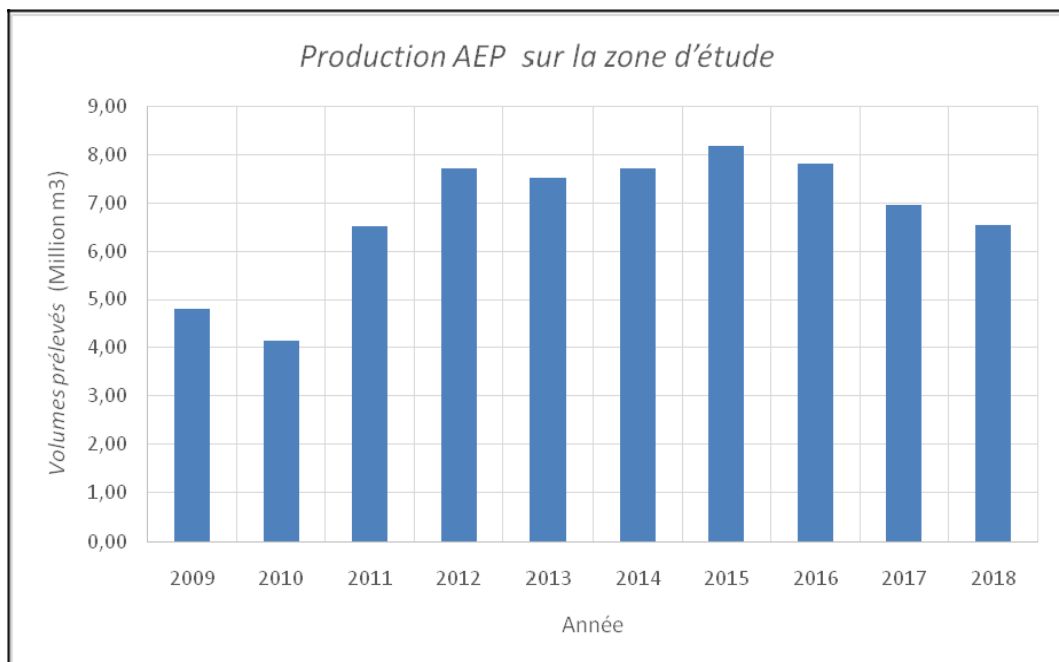


Figure IV.11 : Prélèvements moyens mensuels du champ captant de l'Oued Biskra (Source ADE 2018).

La pression exercée par les prélèvements en eau souterraine présente l'évolution des volumes exploités est destinée à l'AEP.

Il convient de signaler que les prélèvements sont stables de 2012 à 2016. En 2017 on constate une légère diminution due à l'arrêt volontaire de certains forages.

L'arrêt temporaire des forages peut s'étaler sur quelques jours voir sur plusieurs mois, selon les travaux d'entretien qui diffèrent selon les pannes enregistrées. Un autre type d'arrêt temporaire existe pendant certains mois, en raison de la faible demande en eau potable, surnommé arrêt temporaire programmé.

IV.5 VULNERABILITE A LA POLLUTION DE LA NAPPE ALLUVIALE

Quand un log stratigraphique de forage est disponible, l'évaluation détaillée de la vulnérabilité se base sur cinq critères :

IV.5.1 L'épaisseur de la zone non saturée

C'est un paramètre prédominant pour la protection géologique de la nappe. Plus la zone non-saturée est épaisse et moins la nappe est vulnérable car plus la distance sera longue à effectuer pour un polluant pour atteindre la nappe.

IV.5.2 La nature de la zone non saturée

La nature de la zone non saturée joue également un grand rôle dans la protection de la nappe. Pour les formations imperméables la vulnérabilité est faible, à l'inverse pour les formations perméables la vulnérabilité est forte, et pour les formations à perméabilité intermédiaire la vulnérabilité est moyenne. En cas de zone non saturée hétérogène il faut considérer le cas le plus favorable si la formation imperméable est suffisamment épaisse (supérieure à une quinzaine de mètres, ce qui est suffisant pour jouer un bon rôle d'écran imperméable.

IV.5.3 Le type de nappe

Une nappe captive est protégée des infiltrations superficielles pour des raisons de pression c'est à dire la vulnérabilité est faible, contrairement pour la nappe libre. Il peut exister des

nappes semi-captives en cas de limite supérieure semi-perméable pour ce critère la vulnérabilité est moyenne.

IV.5.4 La perméabilité de l'aquifère

Plus la formation aquifère est perméable, plus la vitesse de circulation de l'eau est forte et plus la nappe vulnérable.

IV.5.5 La relation avec le réseau hydrographique

Les cours d'eau et plans d'eau peuvent facilement transporter des pollutions aux nappes avec lesquelles ils sont en relation hydraulique.

Si l'épaisseur de la zone non saturée est supérieure à 60 m, la vulnérabilité est faible, on ne considère pas les autres critères.

Dans le cas contraire, on calcule une note sur 20 qui permet de ranger la vulnérabilité en trois classes (faible, moyenne, forte). Pour chacun des 5 critères listés ci-dessus. On distingue 3 classes auxquelles on affecte la note 0, 1 ou 2 (0 pour la vulnérabilité la plus faible, 2 pour la plus forte, 1 pour la vulnérabilité intermédiaire). On applique ensuite une pondération sur les critères pour tenir compte de leur importance relative : les critères prépondérants (épaisseur ZNS et perméabilité de l'aquifère) ont été affectés d'un poids de 3, les critères importants d'un poids de 2 (nature ZNS) et les autres critères d'un poids de 1 (type de nappe, relation avec réseau hydrographique).

Le type de nappe, bien que très important, n'a été affecté que d'un poids de 1 car d'autres critères rentrent déjà en compte pour une nappe captive (la nature de la zone non saturée est une formation imperméable, il n'y a pas de relation avec le réseau hydrographique et bien souvent l'épaisseur de la zone non saturée sera forte).

Le tableau suivant précise les classes pour chacun des critères et présente les notes déjà pondérées (ainsi pour les critères avec un poids de 3 on aura les notes 0, 3 et 6 ; pour un poids de 2 : 0,2 et 4 ; pour un poids de 1 : 0,1 et 2).

Tableau IV.3 : Critères de vulnérabilité avec leurs notes pondérées

Epaisseur de la zone non-saturée	< 15 m	de 15 à 30 m	de 30 à 60m
	V1=6	V1= 3	V1= 0
Nature de la zone non-saturée	Formations perméables (sables moyens à grossiers, graviers)	Formations à perméabilité intermédiaire (sables argileux, argiles sableuse)	Formations imperméables ou très peu perméables (argiles, socle non fissuré)
	V2=4	V2= 2	V2=0
Type de nappe	Libre	Semi-captive	Captive
	V3=2	V3= 1	V3= 0
Perméabilité K de la formation aquifère	Forte : $K > 10^{-3}$ m/s ou aquifère composé de calcaires, sables grossiers, graviers	Moyenne : K compris entre 10^{-5} et 10^{-3} m/s ou aquifère composé de sables fins à moyens	Faible : K inférieur à 10^{-3} m/s ou aquifère composé de sables argileux ou de formations peu perméables
	V4= 6	V4=3	V4= 0
Relation avec le réseau hydrographique	Oui	Inconnue ou incertaine	Non
	V5= 2	V5= 1	V5=0

En additionnant les notes pondérées de chacun des critères, nous aboutissons à une note de :

$V = V1+V2+V3+V4+V5$ comprise entre 0 (vulnérabilité la plus faible possible) et 20 (Vulnérabilité la plus forte possible). Le tableau suivant indique à quelle classe de vulnérabilité correspond chaque intervalle de notes :

Tableau IV.4 : Correspondance entre la note pondérée et la classe de vulnérabilité

$V = V1+V2+V3+V4+V5$ (note pondérée /20)	de 0 à 6	de 7 à 12	de 13 à 20
Classe de vulnérabilité	faible	Moyenne	Forte

Nous avons essayé d'appliquer cette méthode sur la nappe alluviale de oued Biskra, où nous avons abouti aux résultats de vulnérabilité suivants :

Tableau IV.5 : Les critères de vulnérabilité des forages étudiés dans la nappe alluviale de Oued Biskra

Epaisseur de la zone non saturée	Nature de la zone non saturée	Type de nappe	Perméabilité (m/s)	Relation avec réseau hydrographique
de 15 à 30 m	Formations perméables (sables moyens à grossiers, graviers)	Libre	$K > 10^{-3}$ m/s ou aquifère composé de, sables grossiers, graviers	Oui
V1= 3	V2=4	V3=2	V4= 6	V5= 2
$V_{total} = 17$				

Il ressort de ces critères de vulnérabilité que la nappe alluviale de oued Biskra et avec une valeur de $V=17$ **est fortement vulnérable**.

IV.6 ETAT DES FORAGES DE OUED BISKRA

La nappe alluviale de oued Biskra a une grande importance pour la ville de Biskra, puisqu'elle alimente une bonne partie de celle-ci en eau potable. A titre d'exemple, le forage **B1 a** qui a été réalisé en 1954 avec une profondeur initiale de 41 m (actuellement elle est de 37,10 m à cause de la décantation) et un diamètre de 1,20 m est équipé de deux pompes immergées. Le débit exploité initial était de 130 l/s, actuellement il est d'environ 46 l/s.

Tableau IV.6 : Caractéristique du forage B1

Nom de Forage	Lieu	Débit Exploité (l/s)		Prof (m)		NS (m)	ND (m)	Année de réalisation	cordonnées	Etat de Forage
		Initial	actuel	Initial	actuel					
B 01	Oued Biskra	130	46	41	37,10	25	30,20	1954	X: 05°44'06,70 ' Y: 34°52'49,80''	En service

Ce forage, malgré son importance, n'a trouvé aucune considération de la part des autorités compétentes ; il est, depuis plus de 50 ans, à l'intérieur du même abri vétuste et qui menace ruine (photo IV.2). La seule chose que les autorités font c'est le remplacement des pompes.



Photo IV.2 : Forage B1



Photo IV.3 : Forages sans abris

Malheureusement, les autres forages sont dans les mêmes conditions. Certains ne possèdent même pas un abri.



Photo IV.4 : Installation électrique des forages

IV.7 LES PERIMETRES DE PROTECTION

Fenêtre ouverte sur les eaux souterraines, un forage constitue à la fois un point de prélèvement et un vecteur potentiel de pollution des eaux souterraines. La préservation des nappes passe donc par le respect des procédures administratives et la réalisation des ouvrages dans les règles de l'art.

Définis sur la base de critères hydrogéologiques et déclarés d'utilité publique (DUP), les périmètres de protection correspondent à un zonage autour des captages en vue d'assurer la préservation de leur qualité.

IV.7.1 Périmètre de protection immédiat

Il est bien dommage de constater que l'ensemble des forages n'est pas doté d'aucun type de périmètre de protection, même pas une protection immédiate, comme le stipule la réglementation et ceci malgré la présence de décharge sauvage tout le long de l'oued (photo IV.5).



Photo IV.5 : Décharge sauvage au sein même du lit de l'oued

IV.7.2 Périmètres de protection sans données hydrogéologiques

Dans le cas où les données hydrogéologiques ne sont pas disponibles, et seul le débit d'exploitation est connu, la surface du PPR et du PPE sont définies comme un cercle autour du forage dont le rayon R sera fonction du débit d'exploitation Q .

L'estimation du PPR est donnée dans le tableau IV.7. Nous pouvons constater que le PPR varie de 60 m pour le B3 et le SIF5 à 150 m pour le B1.

De la même manière, le PPE varie de 120 m pour le B3 et le SIF5 à 300 m pour le B1.

Tableau IV.7 : Estimation des PPR et PPE en fonction du débit de pompage

Désignation	Année	Z (m)	Prof (m)	NS (m)	ND m	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	PPR	PPE
B1	1978	210	50			65	234	150 m	300 m.
B1 bis	2006	128	73	15	17,2	25	90	125 m	250 m
B2	1992	138	42	14	70	11	39,6	90 m	180 m;
B3	1992	118	75	25	90	11	39,6	90 m	180 m;
B3 remp (bis)	2015	132	74	23,62	35,8	6	21,6	60 m	120 m;
F1 remp	1980	140	40	14	70	14	50,4	110 m	220 m
F2 bis	1988	141	50	13,2	65	25	90	125 m	250 m
F4 Rem		139				19	68,4	110 m	220 m
SIF4 rempl	1986	150	43,5	14	70	21	75,6	125 m	250 m
sif5 rempl	2017	139	70	13,7	28,66	6	21,6	60 m	120 m
Sif6 bis	1987	140	44	13	70	10	36	90 m	180 m

IV.7.3 Méthode de Wyssling

L'application de cette méthode pose comme hypothèse de base que les conditions régnant dans l'aquifère sont plus ou moins homogènes et que le débit prélevé (Q) est nettement inférieur au débit total de la nappe souterraine.

Nous reprenons ici les grandeurs hydrogéologiques spécifiques, connues ou à mesurer, utilisées pour les calculs:

- H = épaisseur de l'aquifère, en m
- k = perméabilité de l'aquifère, en m/s
- i_0 = gradient hydraulique, lorsque $Q = 0$
- $p(\omega)$ = porosité efficace (lorsque l'eau circule)
- Q = débit prélevé au puits, en m³/s)

Les études hydrogéologiques concernant l'aquifère alluvionnaire de oued Biskra sont très rares. En dehors de l'étude sur modèle analogique (électrique) effectuée par la Société Centrale pour l'Équipement du Territoire (SCET-COOP, 1967) et de quelques travaux très anciens et ponctuels pour la réalisation de forages, aucune étude de détail n'a été réalisée depuis. En outre, aucun équipement de surveillance et de suivi de la nappe n'existe ; les

anciens forages ainsi que les piézomètres qui y ont été installés, ont été entièrement détruits lors des différentes crues dévastatrices qui ont eu lieu.

- La perméabilité a été estimée par M. VAILLEUX en 1962, $K = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.
- La SCET Coop, durant leurs travaux sur la nappe en 1967, a évalué la valeur de la porosité moyenne de l'aquifère à $p(\omega) = 30\%$
- Le gradient hydraulique moyen est $i_o = 0,01$
- H = épaisseur de l'aquifère, en m
- Q = débit prélevé au puits, en m^3/s

Désignation	Prof (m)	Q (m^3/h)	B (m)	b (m)	X_o (m)	V_o (m/j)
B1	50	234	433	217	69	0,864
B1 bis	73	90	114	57	18	0,864
B2	42	39,6	87	44	14	0,864
B3	75	39,6	49	24	8	0,864
B3 remp (bis)	74	21,6	27	14	4	0,864
F1 remp	40	50,4	117	58	19	0,864
F2 bis	50	90	167	83	27	0,864
F4 Rem		68,4		0	0	
SIF4 rempl	43,5	75,6	161	80	26	0,864
sif5 rempl	70	21,6	29	14	5	0,864
Sif6 bis	44	36	76	38	12	0,864

Pour rappel :

B = largeur du front d'appel en amont du puits, en m, pour un débit d'exploitation donné (Q)

b = largeur du front d'appel à la hauteur du puits, en m

x_o = distance séparant le puits du point de stagnation aval, en m

v_o = vitesse naturelle d'écoulement des eaux souterraines, en m/j

Pour le forage B1, nous obtenons le schéma suivant :

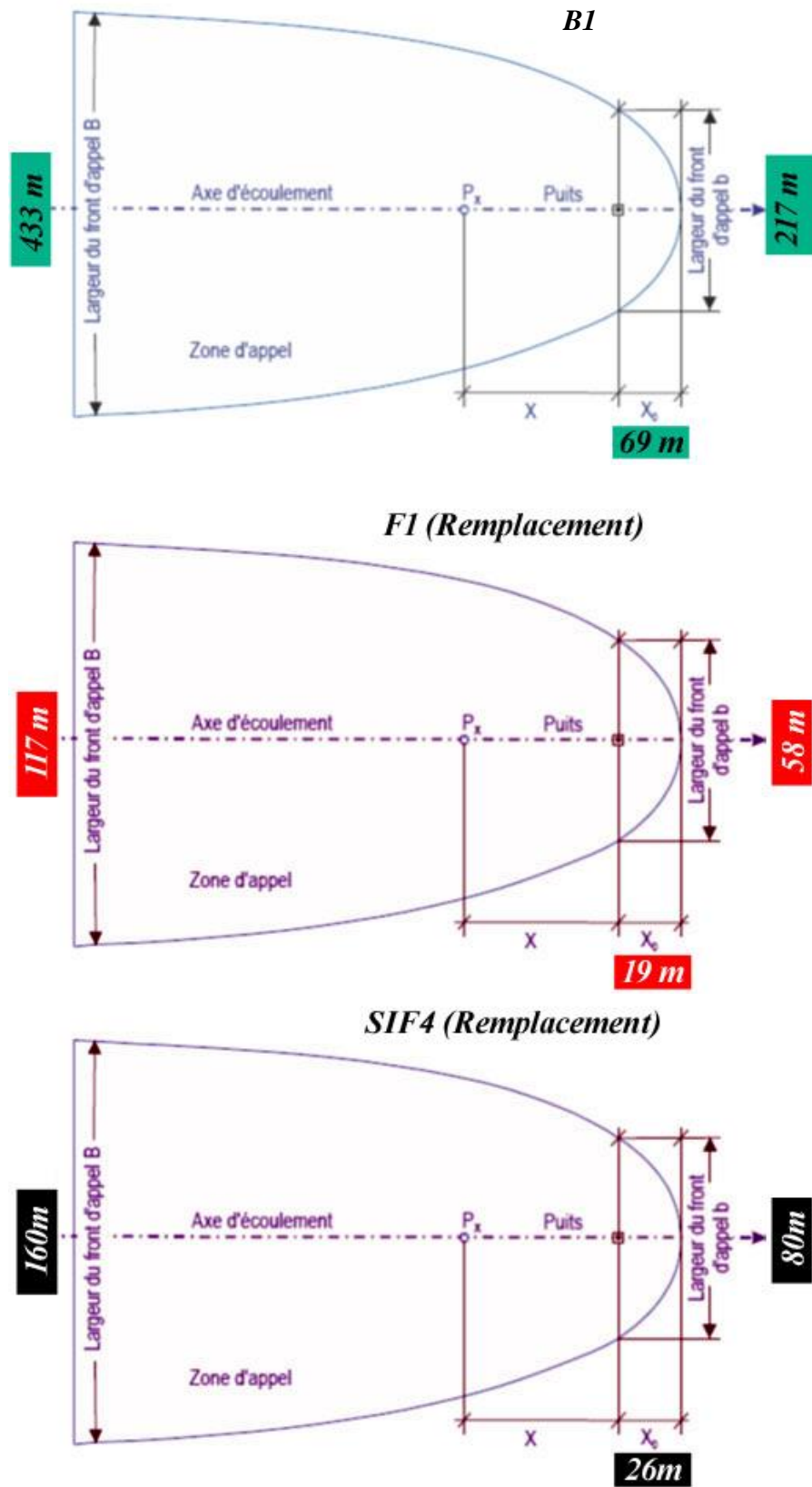


Figure IV.12 : Schéma d'écoulement avec les grandeurs mesurées par la méthode de Wyssling pour le forage B1, SIF4 et F1

Il est noté que ces valeurs ont été calculées à partir de valeurs moyennes de la perméabilité, de porosité et du gradient hydraulique et qu'elles sont données ici qu'à titre indicatif.

Pour avoir des valeurs conformes aux conditions du terrain, il est impérative de procéder à des essais de pompage afin de mesurer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère au niveau de chaque forage, à savoir la transmissivité et le coefficient d'emménagement et par conséquent la perméabilité.

Le gradient hydraulique ne peut être estimé que par la réalisation d'une carte piézométrique, chose qui n'a pas été faite depuis 1967.

La porosité doit elle aussi être mesurée aux alentours de chaque forage par les moyens et équipements actuels.

IV.8 CONCLUSION

Les nappes alluviales sont traditionnellement exploitées dans les Zibans et sont même à l'origine de certaines palmeraies qui étaient alimentées directement grâce aux sources et aux nombreux puits traditionnels. On classe dans cette catégorie la nappe alluviale de oued Biskra en amont de la ville et celle de oued Djedi.

En effet, depuis la plaine d'El Outaya au nord jusqu'à la limite de la ville de Biskra au sud, l'oued El Hai- Biskra serpente sur une épaisse couche d'alluvions formées de sables, graviers, galets, déposés par le cours d'eau dès le début du Quaternaire. Très perméables et poreuses, les alluvions emmagasinent l'eau formant ainsi une masse d'eau souterraine que l'on nomme *nappe alluviale de oued Biskra*. Le sous-sol marneux et imperméable du Miocène sur lequel elle repose forme le substratum de cette nappe.

Malgré sa petite surface (5Km²), cet aquifère n'a cessé de donner des débits très importants en participant ainsi à l'alimentation d'une grande partie de la ville de Biskra en eau potable. Ceci n'a pas joué en sa faveur, puisque son état ne cesse de se dégradé à tel enseigne qu'elle est devenu un dépotoir (décharge sauvage de toute nature : gravas, plastique, poubelle, ...).

L'absence de périmètres de protection (même les périmètres de protection immédiat), témoigne du laissé aller des responsables locaux et du manque du sens de la responsabilité des responsables locaux.

***CONCLUSION
GENERALE***

CONCLUSION GENERALE

La sécurité de l'alimentation en eau potable vise à assurer sa disponibilité, tant en volume qu'en qualité. Les obligations de sécurité sont notamment fixées par les textes législatifs.

Les différentes activités (industrielles, agricoles, urbaines, etc.) pourraient engendrer des pollutions et ainsi affecter la qualité de nos ressources en eau, il est donc essentiel de mettre tout en œuvre pour la protéger. A cet effet, autour d'un captage, des périmètres de protection successifs sont déterminés.

Les périmètres de protection sont destinés à protéger les points de captage et un secteur proche de ceux-ci et non l'ensemble de la ressource captée. Ils ne constituent pas non plus la seule barrière sanitaire entre l'eau captée et le consommateur. Les aménagements des captages, voire leur déplacement dans un environnement plus favorable, constituent le premier outil de protection.

Il existe plusieurs méthodes de calcul des dimensions des périmètres de protection :

- La première est une estimation approximative des périmètres de protection basée uniquement sur la valeur du débit d'exploitation ;
- La seconde est une approche qualitative basée sur l'analyse des faciès lithologiques des terrains de la couverture (sol et zone non saturée), de la forme de la surface piézométrique de la nappe, des conditions aux limites naturelles de l'aquifère capté (zones de recharge, limites
- La troisième méthode s'appuie sur les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère ; à savoir, le coefficient de perméabilité, la porosité efficace, le gradient hydraulique, le débit d'exploitation et les dimensions du réservoir.

Soucieux de l'état de dégradation de la nappe alluviale de oued Biskra, nous avons voulu étudier les périmètres de protection des dizaines de forage captant l'aquifère. Malheureusement, nous nous sommes heurtés à plusieurs difficultés, parmi lesquelles ;

- La rareté des études hydrogéologiques concernant l'aquifère alluvionnaire de oued Biskra. En dehors de l'étude sur modèle analogique (électrique) effectuée par la

Société Centrale pour l'Équipement du Territoire (SCET-COOP, 1967), il n'existe à notre connaissance aucun travail ou investigation depuis cette date.

- L'inexistence d'essai de pompage pour la mesure des paramètres hydrodynamiques ;
- Et le plus choquant est l'inexistence de périmètre de protection immédiat pour l'ensemble des forages. Certains ouvrages se trouvent même sans abri à même le sol.

L'estimation du PPR avec la méthode sans données hydrogéologiques a donné des valeurs pour le PPR qui varie entre 60 m pour le B3 et le SIF5 à 150 m pour le B1.

L'application de la Méthode de Wyssling, basée sur l'utilisation de paramètres tels ; le débit d'exploitation, la porosité, la perméabilité, ... nous a permis d'avoir pour la largeur du front d'appel en amont du puits (B) une distance de 433 mètres pour le B1, et une autre de 177 mètres pour F1. Alors que pour la largeur du front d'appel à la hauteur du puits nous avons trouvé une distance de 217 mètres pour le B1 et 58 mètres pour le F1.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASSAN Maurice. Aide-Mémoire d'Hydraulique Souterraine. Paris : Presse des Ponts et Chaussée, 1980. 193p.

BENMARCE D. Hydrodynamique souterraine 2, cours Master 1, Hydrogéologie. Université Ferhat Abbas Sétif 1. Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre.

CASSAN Maurice. Les essais d'eau dans la reconnaissance des sols. Paris : Eyrolles, 1980. 275p.

CASSAN Maurice. Les essais in-situ en mécanique des sols. Tome 1 : réalisation et interprétation. Paris : Eyrolles, 1988. 587p.

CASTANY Gilbert. Principe et méthode de l'hydrogéologie. Dunod Université. Paris : Bordas, 1982. 237p.

CHERIFI M.S., BENSMAN Y. (2017). Contribution à l'étude de la protection des eaux souterraines dans le groupement urbaine de Tlemcen. Master, Département d'hydraulique, université Abou Bekr Belkaid.

Comité international de la Croix-Rouge (CICR). (2011) Revue technique, guide pratique pour les essais de pompage de puits. Genève, Suisse.

DANIELE B, SCHWIENBACHER S., GULDENFELS L., HOEHN E., EAWAG, DÜBENDORF, SARGANS B., FELBER P., LORENZ B., (2012). Zones de protection des eaux souterraines en roches meubles, Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne.

GILBERT K. (2002). Étude comparative de méthodes de détermination de Périmètres DE protection autour des ouvrages de captage dans les aquifères captifs fracturés du sud-ouest du QUÉBEC. Université du Québec, INRS-ETE

GOUAIDIA S., GOUAIDIA N. (2019). Délimitation des Périmètres de protection de quelques forages d'eau captant la nappe alluviale de Guelma (Nord-est Algérie). Master, Université 8 Mai 1945 Guelma.

GUILLEMIN C., ROUX J.C., (1992). Pollution des eaux souterraines en France. Karstologia, Année 1993, 21, p. 60.

LEDOUX E., GOBLET P., BENDJOUDI H. Hydrogéologie quantitative. Centre de Géosciences, Ecole des Mines de Paris, UMR Sisyphe.

Société d'Exploitation Urbaine et Rurale des Eaux du Sahara (S.O.D.E.X.U.R.). (1967). Oued Biskra Eaux Souterraines, Etude des ressources exploitables sur analyseur électrique à réseau R.C Département Hydrologie de la Société Centrale pour l'Équipement du Territoire (S.C.E.T./COOPERATION)

VERNOUX J.F., WUILLEUMIER A., Perrin J. (2014). Délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. BRGM, Partenariat 2013 – pollutions diffuses – Action 23.

VASSOLO S., PROSPER B., MELCHIOR R., TIBERGHIEU C. ET VALLEY S. (2014) Guide National de Détermination des Périmètres de Protection des Captages d'Eau destinée à la Consommation Humaine. Coopération Allemande / Institut Fédéral des Géosciences et Ressources Naturelles (BGR) / GPES Gestion et Protection des Ressources en Eau Souterraine au Burundi

SITES WEB

<http://sigesbre.brgm.fr/Qu-est-ce-qu-un-aquifere.html>

https://www.brgm.fr/sites/default/files/expo_eaux_souterraines_web.pdf

http://osr-cesbio.ups-tlse.fr/Amethyst/images/20150303_4_Piezometrie_L-PONCHANT_S-MASSUEL.pdf

<http://step.ipgp.fr/images/a/a1/GEch2b.pdf>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Captage_d'eau_potable

<https://www.lenntech.fr/eaux-souterraines/pollution-sources.htm#:~:text=L'infiltration%20d'eau%20de,du%20%C3%A0%20l'activit%C3%A9%20humaine.>