



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Hydraulique
Hydraulique Urbaine

Réf. : HU 51 / 2018

Présenté et soutenu par :
KADDOURI MOHAMED TAHAR

Le : mardi 26 juin 2018

ETUDE DE LA FLUCTUATION PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE ALLUVIALE DE OUED BISKRA

Jury :

M.	BENKHALED A. KADER	Pr	Université de Biskra	Président
M.	DJEDRI TOUFIK	MAA	Université de Biskra	Examineur
M.	LABADI ABDALLAH	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

RESUME

L'opération de mesure du niveau piézométrique est très importante pour l'inventaire de la ressource en eau souterraine. L'étude des nappes doit passer par la surveillance de la variation du niveau d'eau s'opérant dans les différents puits et forages.

La nappe alluvionnaire de oued Biskra constitue, en outre, avec ses 14 forages en exploitation une source non négligeable d'alimentation en eau potable d'une partie de la ville.

Ce travail s'est intéressé au suivi, sur une période de plus de deux semaines, du niveau piézométrique avec des moyens modernes d'enregistrement continu et de numérisation des charges hydrostatiques et des températures des eaux de l'aquifère alluvionnaire.

Les résultats ont été plus que concluants, expliquant les origines profondes des eaux souterraines et le degré de participation des eaux de crues de l'oued sur l'alimentation de la nappe.

ABSTRACT

The operation of measuring the piezometric level is very important for the inventory of the underground water resource. The study of the aquifers has to go through the monitoring of the variation of the level of water taking place in the various wells and boreholes.

The alluvial layer of Oued Biskra constitutes, moreover, with its 14 boreholes in exploitation a non negligible source of supply of drinking water to a part of the city.

This work focused on monitoring, over a period of more than two weeks, the piezometric level with modern means of continuous recording and digitization of hydrostatic charges and water temperatures of the alluvial aquifer.

More than conclusive, explaining the deep origins of the groundwater and the degree of participation of the flood waters of the wadi on the supply of the aquifer.

ملخص

عملية قياس المستوى البيزومتري مهمة جدا لجرد المخزون المائي الجوفي.

دراسة التكوينات المائية تمر عبر مراقبة تغيرات مستوى الماء في مختلف الآبار و المناقب .

التكوينات المائية لوادي بسكرة مع الأربعة عشر منقب الموجودة في حالة تشغيل تكون مصدر غير قابل للإهمال فيما يخص التزود بالمياه الصالحة للشرب لجزء هام للمدينة.

هذا العمل اهتم بمتابعة تغيرات المستوى البيزومتري لمدة أسبوعين بوسائل تسجيل رقمية حديثة و بصفة مستمرة، للحمولة الهيدروستاتيكية و درجة الحرارة للمياه الجوفية.

النتائج المتحصل عليها كانت جد مرضية ، وضحت لنا مصدر المياه الجوفية العميقة و درجة المساهمة لمياه الفيضانات على تغذية التكوينات المائية.

Dédicace

✎ A la mémoire de mes deux grand père **Mohamed Sadek** et **Lazheri**

✎ A ma grand-mère **Zohra**, pour tout leur sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études Puisse Dieu, le tout puissant vous préserver du mal, vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

✎ A mes chers parents « **Mostefa** et **Mebarka** »

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Dieu, le tout puissant vous préserver du mal, vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

✎ A ma très chère épouse **Farida**

Ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles, de solitude et de souffrance. Merci d'être toujours à mes côtés, par ta présence, par ton amour dévoué et ta tendresse, pour donner du goût et du sens à notre vie de famille En témoignage de mon amour, de mon admiration et de ma grande affection,. Je prie dieu le tout puissant pour qu'il te donne bonheur et prospérité.

✎ À mes très belles filles, la Source de mes joies, secrets de ma force ' **Chmail Zahra**, **Menat Allah** et **Ansam Jori** '.Que dieu leur donne santé, prospérité et long vie.

✎ A mes beaux-frères et sœurs: **Mourad**, **Lamine**, **Lazheri** ,**Mohamed Sadek**, **Aldjia**, **Hassina** et **Widad** et leurs époux et épouses et leurs enfants.

✎ Aux familles : **Kaddouri**, **Nahoui**, **Chenaf** et **Hassani**. Merci de m'avoir accueilli parmi vous. Puisse ce travail témoigner de ma profonde affection et de ma sincère estime.

✎ À mes chers oncles, tantes, leurs époux et épouses et surtout mon Oncle **Ismail**.

✎ À mes chers cousins et cousines.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

✎ A tout mes amis de la promo chaque' un par sont nom,

Sans oublié mes fidèles amis **Khelifa Med Amine**, Guetarni Larbi de Chelef ,Guena Abd kader de Blida et Henni Mohmed de Tesmsilet.

✎ *A toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail à tous ceux que j'ai omis de citer. **Je dédie ce mémoire.*** ✎

Remerciement

Ce travail n'aurait pu être effectué sans l'accord, le soutien et l'aide de notre noble Encadreur

.Je tiens à exprime mon plus vive gratitude à mon encadreur.

Dr. LABADI ABDELLAH-SEDDIK

Je suis très honoré de vous avoir comme encadreur de ma thèse.

Je vous remerciez pour la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez bien voulu diriger ce travail.

J'ai eu le grand plaisir de travailler sous votre direction, et avais trouvé auprès de vous le conseiller et le guide qui j'ai a reçu en toute circonstance avec sympathie, sourire et bienveillance.

Votre compétence professionnelle incontestable ainsi que vos qualités humaines vous valent l'admiration et le respect de tous.

Vous êtes et vous serez pour moi l'exemple de rigueur et de droiture dans l'exercice de la profession.

Veillez, cher docteur, trouvé dans ce modeste travail l'expression de mon haute considération, de mon sincère reconnaissance et de mon profond respect.

*J'adresse évidemment mes sincères remerciements à l'ensemble des enseignants du département d'hydraulique de Biskra qui ont contribué mon formation et surtout le professeur **Bouziane Med Toufik**. Et tout le personnel du département d'hydraulique.*

Je m'adresse évidemment mes sincères remerciements à Mr le président et membres du jury.

*Ainsi que mon grand frère Benounnas Salim, Hamel Ahmed, Meftah ELhaj, Abdi Ali, Ghamri Ramdane, Rekabi Nouredine, Kadour et tout le agents d' ADE Biskra. Sans oubli mon frère et ami **Djedidi Mostefa**, Pour leurs encouragement, soutiens et assistance.*

*Je n'oublie pas surtout mon Ami **Laater Faycel**, Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond.*

Merci à tous ceux qui mon aidé de près ou de loin à la préparation de la présente thèse.

Kaddouri Mohamed Tahar. ✍

SOMMAIRE

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

Chapitre I *Aquifère, réservoir d'eau souterraine*

I.1	Introduction.....	3
I.2	Le milieu poreux.....	3
I.2.1	Roches grenues meubles.....	3
I.2.2	Roches compactes fissurées.....	4
I.2.3	Roches mixtes.....	4
I.3	Porosité.....	5
I.4	Perméabilité.....	6
I.5	Granulométrie.....	6
I.6	Notions d'isotropie et d'homogénéité.....	8
I.7	Systemes aquiferes.....	8
I.7.1	Définitions.....	8
I.7.2	Processus général de formation d'une nappe.....	9
I.7.3	Différents types de nappes.....	9
I.7.4	Emergences (sources ou exutoires).....	13
I.8	Cartographie de l'aquifere.....	14
I.8.1	Cartes structurales de l'aquifère.....	14
I.8.2	Cartes piézométriques.....	15

Chapitre II *Piézomètres et niveau piézométrique*

II.1	Introduction.....	22
II.2	Principe de piezometre.....	22
II.3	Le piézomètre.....	24
II.3.1	Piézomètres ouverts.....	25
II.3.2	Piézomètre a volume constant.....	27
II.4	Choix et implantation des piezometres.....	27
II.5	Mesure des niveaux d'eau.....	30
II.5.1	Sonde électriques.....	31
II.5.2	Limnimètre mécanique.....	32
II.5.3	Limnimètre pneumatique.....	33
II.5.4	Les sondes de mesure.....	34
II.6	Conclusion.....	35

Chapitre III

Aquifère alluvial de Oued Biskra

III.1	Introduction.....	36
III.2	Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère de la nappe alluviale.....	37
III.2.1	Configuration et lithologie de l'aquifère	37
III.2.2	Lithologie de l'aquifère	38
III.2.3	Historique de l'exploitation de la nappe alluvionnaire.....	39
III.2.4	Caractéristiques hydrodynamiques.....	40
III.2.4.1	La piézométrie	40
III.2.4.2	La transmissivité.....	40
III.2.4.3	La porosité efficace.	41
III.2.5	Les écoulements	44
III.2.5.1	La station d'El Kantara.....	44
III.2.5.2	La station de Djemorah.....	46
III.3	Conclusion	47

Chapitre IV

Suivi piézométrique de la nappe alluviale de Oued Biskra

IV.1	Introduction.....	48
IV.2	Intérêt de la piézométrie	48
IV.3	Moyen de l'étude	49
IV.4	Le data logger « DIVER »	50
IV.4.1	Mesure des niveaux d'eau	51
IV.4.2	Conversion des données Diver en niveaux d'eau	51
IV.4.3	Mesure de la température	52
IV.4.4	Installation et configuration du Diver.....	53
IV.5	Choix des forages.....	53
IV.6	Données sur les deux forages.....	54
IV.7	Période de mesure	55
IV.8	Traitement des données	56
IV.9	Etude de la variation de la température de l'eau.....	59
IV.10	Conclusion	60
	Conclusion générale	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : Débit des sources avant les pompages d'après Duquesnoy (en l/s).	39
Tableau III.3 : Stations hydrométriques des sous bassins versants étudiés.....	44
Tableau IV.1 : Caractéristique du forage B1	54
Tableau IV.2 : Caractéristiques du forage SIF4	54

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Milieu poreux	3
Figure I.2 : Milieu carbonaté fissuré	4
Figure I.3 : Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère	8
Figure I.4 : Schéma de l'aquifère à nappe libre.....	9
Figure I.5 : Systèmes hydrogéologiques karstiques	11
Figure I.6 : Schéma de l'aquifère à nappe captive	12
Figure I.7 : Schéma d'un aquifère à nappe semi-captive	13
Figure II.1 : Charge hydraulique dans une nappe	23
Figure II.2 : Principe du piézomètre	24
Figure II.3 : Piézomètre simple	27
Figure II.4: Piézomètre multiple	27
Figure III.5 : Piézomètre à volume constant.	28
Figure II.6 : Influence de la position des piézomètres :	30
Figure II.7 : Sonde électronique	31
Figure II.8 : Principe du limnimètre à câble.	32
Figure II.9: Limnigraphe mécanique enregistreur	32
Figure II.10 : Codeur enregistreur Thalimèdes	33
Figure II.11 : Schéma d'un limnigraphe pneumatique.	34
Figure II.12 : Capteur de pression hydrostatique de la colonne d'eau	35
Figure III.1 : Situation de la nappe alluviale	37
Figure III.2 : Esquisse géologique de la nappe alluviale	38
Figure III.3 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de l'oued Biskra (Scet-Coop, 1967).	42
Figure III.4 : Carte en courbes d'iso-transmissivités de la nappe alluviale de l'oued Biskra (ScetCoop, 1967).	43
Figure III.6 : Débits mensuels mesurés à la station d'El Kantara (période 1968-78).	45
Figure III.7 : Débits mensuels mesurés à la station d'El Kantara (période 1988-93).	46
Figure III.8 : Débits mensuels mesurés à la station de Djemorah (période 1971-78)	46
Figure IV.1 : Piézométrie d'une région	48
Figure IV.2 : Expression de la hauteur piézométrique	49
Figure IV.3 : Sonde de niveau	50
Figure IV.4 : Sonde de mesure de la profondeur.....	50
Figure IV.5 : Le data logger DIVER	50
Figure IV.6 : Conversion des données Diver en niveaux d'eau.....	52
Figure IV.7 : Logiciel Drive-Office	53
Figure IV.8 : Position des deux forages B 1 et Sif 4	55
Figure IV.9 : mise en place des Diver	55
Figure IV.10 : Variation de la pression et de la température au B1	56

Figure IV.11 : Variation de la pression et de la température au SIF4	56
Figure IV.12 : Variation du niveau d'eau par rapport à la tête du forage B1	57
Figure IV.13 : Variation du niveau d'eau par rapport à la tête du forage SIF4.....	57
Figure IV.14 : Fluctuation de la nappe au forage B1 et SIF4 (du 22 mai au 5 juin 2018).....	58
Figure IV.15 : Variation de la température du B1 et du SIF4	60

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.

Une partie des sources d'alimentation de cette aquifère reste l'infiltration des eaux de oued Biskra lors des périodes des crues. Ces dernières proviennent de deux bassins versants ceux de Oued Abdi et de Oued El Hai.

Le présent travail traite de l'étude du suivi du niveau piézométrique de la nappe alluviale et de son importance dans la connaissance et la caractérisation hydrogéologique de cet aquifère.

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

Le premier est sur les aquifères comme réservoirs d'eau souterraine et dans lequel nous voulut donner une aperçu sur ces différents constituants

Le second chapitre est une synthèse des méthodes de mesure et de suivi des niveaux piézométriques. L'importance de l'analyse et l'acquisition des données de relevés piézométrique est largement signalée.

Le troisième chapitre traite de l'hydrogéologie de l'aquifère alluviale de oued Biskra. Après la présentation de la nappe et l'historique de son exploitation, nous donnerons un bref aperçu sur certaines caractéristiques hydrodynamique ; telle que la piézométrie, la transmissivité et la porosité efficace.

Le fait marquant et la rareté des travaux hydrogéologiques et pour preuve, depuis 1967 aucune carte piézométrique n'a été établie d'une façon correcte et les essais de débits deviennent de plus en plus rares.

Enfin, nous essayons dans le quatrième chapitre d'étudier les fluctuations du niveau piézométrique de la nappe alluviale au droit de deux forages, pour mieux comprendre le fonctionnement hydrogéologique de cet aquifère. Le suivi des niveaux de la nappe a été fait par un dispositif automatique d'acquisition et d'emmagasinement de données qui est le diver VanEssen.

Chapitre I

*Aquifère, réservoir d'eau
souterraine*

I.1 INTRODUCTION

Tous les terrains contiennent un certain pourcentage des vides. L'eau issue de la pluie ou des circulations superficielles, peut pénétrer dans ces vides, y circuler sous l'effet de la gravité, et dans certaines conditions, s'y accumuler. Cette présence de l'eau dans les sols et les sous sols est d'une grande importance soit, parce qu'elle représente des réserves en eau potable ou industrielle, soit parce qu'elle pose toujours de délicats problèmes à l'ingénieur appelé à construire en profondeur.

I.2 LE MILIEU POREUX

On appelle milieu poreux un corps comportant un squelette solide englobant des cavités appelées pores, en général interconnectées, susceptibles de contenir une ou plusieurs phases fluides. Un sol est formé essentiellement de trois types de roches :

I.2.1 Roches grenues meubles

Les vides sont constitués uniquement par des pores qui caractérisent un milieu continu. Pour ces roches, on parle de porosité d'interstice. Par exemple, les sables et les grès ont une porosité totale qui peut aller jusqu'à 30 % et même les roches que l'on suppose généralement compactes, ont une certaine porosité : calcaires, dolomies, ainsi que les roches cristallines et métamorphiques (1 à 5 %).

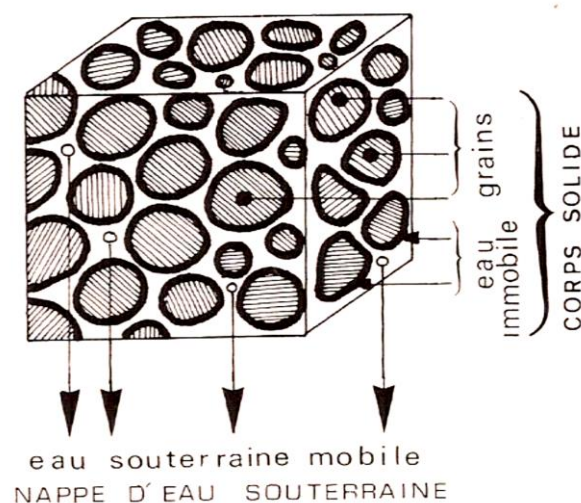


Figure 1 : Milieu poreux

Les argiles constituent une catégorie à part, leurs éléments constitutifs, lamellaires, sont organisés en feuillets. Ce sont des empilements de couches parallèles séparées par des intervalles variables où un fluide peut se loger : cela leur procure, en particulier, des propriétés de gonflement en présence d'eau. Le pourcentage des vides peut être très élevé, jusqu'à 90 %.

I.2.2 Roches compactes fissurées

Un cas particulier de vide dans les roches compactes est la fissuration, qui caractérise le milieu discontinu. Par le jeu de la tectonique, la quasi-totalité des roches de l'écorce terrestre est fracturée (failles, fissures, diaclases). Ces fissures s'organisent généralement en au moins deux directions principales de fissuration qui découpent la roche en blocs. Si les fissures ne sont pas colmatées (argile, calcite, quartz...), des vides sont créés et on parle alors de porosité de fissure.

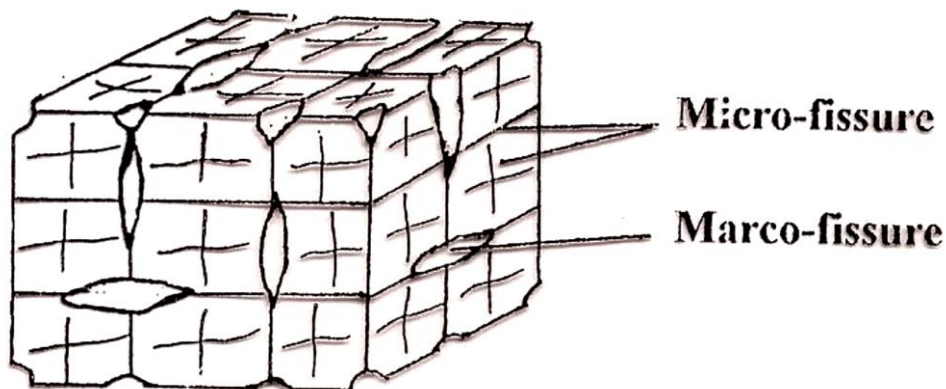


Figure 2 : Milieu carbonaté fissuré

Les fissures sont des fentes de forme allongée, à ouverture plus ou moins large. Elles sont classées en deux types suivant leur dimension : les micro-fissures dont le rôle hydrodynamique est comparable à celui des pores, et les macro-fissures représentées par les failles, les décrochements et les chenaux karstiques.

I.2.3 Roches mixtes

Ce sont les roches dont les vides sont constitués à la fois par des pores et par des fissures. Les deux types de porosité (d'interstice et de fissure) coexistent (exemple : grès, craie, calcaires)

I.3 POROSITE

Dans un milieu on a trois sortes d'eau : une eau gravitaire qui s'écoule, une eau de rétention qui reste autour des grains (humidité) et une eau d'absorption (liée à la surface des grains par le jeu de forces d'attraction moléculaire). La capacité de récupérer l'eau dans une roche meuble ou fissurée, est liée à l'importance de ses vides. On distingue :

a) Porosité totale n :

$$n = \frac{\text{Volume}_{\text{vides}}}{\text{Volume}_{\text{total}}} \times 100 \text{ (en \%)}$$

b) Porosité efficace n_e :

$$n_e = \frac{\text{Volume}_{\text{eau gravitaire}}}{\text{Volume}_{\text{total}}} \times 100 \text{ (en \%)}$$

Cette porosité efficace intéresse l'hydrogéologue. Il est utile de la relier dans le cas des roches meubles aux **caractéristiques physiques** des réservoirs. Les principaux facteurs sont :

- **Les diamètres respectifs des grains** : pour une granulométrie uniforme, ne diminue lorsque le diamètre des grains diminue.
- **L'homogénéité de la granulométrie** : si le terrain est formé de grains de tailles très différentes, les plus petits d'entre eux peuvent occuper les interstices entre les plus gros et la porosité se retrouve considérablement réduite.
- **L'arrangement des grains** : exprime leur disposition dans l'espace. La porosité est fortement influencée par l'arrangement des grains. Elle décroît de 47.6 % pour l'arrangement cubique à 25.9 % pour l'arrangement rhomboédrique.
- **La surface spécifique des grains** : c'est la surface de contact eau - grain. La porosité efficace croît avec la surface spécifique des grains. Une conséquence est la diminution de la porosité avec la profondeur.

c) Ordres de grandeur de la porosité

Ces valeurs peuvent varier en fonction de la taille des grains, de la consolidation et du tassement du milieu. La porosité est mesurée d'une façon directe au laboratoire (pose le problème de représentativité de l'échantillon), et de façon indirecte sur le terrain par des méthodes géophysiques variées (résistivité, vitesse du son, diagraphies...).

Tableau 1 : Ordre de grandeur de la porosité

Formation	Porosité totale n (%)	Porosité efficace ne (%)
Granite et gneiss non altérés	0.02 à 1.8	0.1 à 2
Quartzites	0.8	0.5
Schistes, ardoises, micaschistes	0.5 à 7.5	0.1 à 2
Calcaires, dolomies primaires	0.5 à 12.5	0.5 à 8
Craie	8 à 37	5 à 20
Grès	3.5 à 38	2 à 15
Tufs volcaniques	30 à 40	10 à 20
Sables	15 à 48	5 à 38
Argiles	44 à 53	3

I.4 PERMEABILITE

Il convient de compléter la notion de porosité par celle de la perméabilité, car il ne faut pas perdre de vue que la valeur de la porosité n'est pas proportionnelle à la dimension des vides. Exemple : une argile, dont les vides sont microscopiques, est beaucoup plus poreuse que la plupart des autres terrains. Il faut donc préciser qu'une formation poreuse n'est pas nécessairement perméable. Par contre une formation perméable est, par définition, poreuse. La perméabilité est une grandeur qui caractérise la facilité avec laquelle l'eau circule dans un terrain sous l'effet d'un gradient hydraulique. Les matériaux perméables opposent plus ou moins de résistance au passage des fluides. Il existe toute une gamme de perméabilités, depuis les milieux pratiquement imperméables, jusqu'à ceux dans lesquels la circulation des fluides se fait presque sans perte d'énergie.

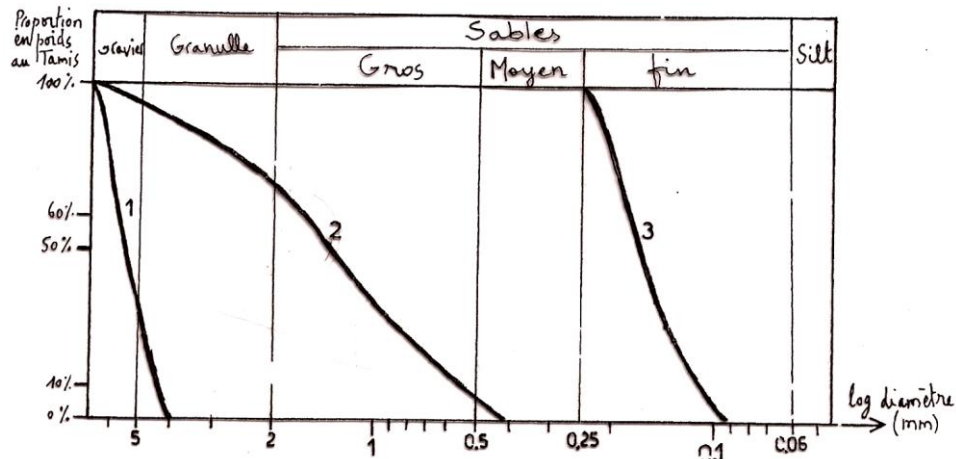
Tableau 2 : Ordre de grandeur de la perméabilité

Roches poreuses	Perméabilités (m/s)	Roches fissurées	Perméabilités (m/s)
Sables et graviers	10^{-2} à 10^{-4}	Calcaire	10^{-2} à 10^{-6}
Sable fin à moyen	10^{-3} à 10^{-6}	Grès ou conglomérat	10^{-2} à 10^{-6}
Sable argileux	10^{-5} à 10^{-8}	Granite	10^{-7} à 10^{-10}
Argiles	10^{-7} à 10^{-10}	Schistes	10^{-5} à 10^{-10}

I.5 GRANULOMETRIE

Pour les milieux non consolidés (sables, graviers...), on cherche à connaître la distribution de la taille des grains du milieu et le classement du sédiment. Pour réaliser l'analyse granulométrique, un échantillon de terrain (environ 500 g) est prélevé et séché dans une étuve avant de la peser. Ensuite, on fait passer le sédiment dans une série de tamis de taille décroissante, le tout étant secoué par un agitateur électrique situé à la base. Le refus (fraction

du sédiment recueillie) de chaque tamis est pesé séparément, et le poids est transformé en % du poids total de l'échantillon initial. Une représentation très claire des résultats est la courbe des fréquences cumulées (en %), reportée en fonction du logarithme de la taille des mailles du tamis.



1 – Gravier uniforme. 2 – Gravier sableux hétérogène. 3 – Sable fin uniforme

La courbe granulométrique permettra de :

- Etudier la distribution statistique des diamètres des grains ;
- Classer l'échantillon et de le désigner par un terme lithologique précis (gravier, sable, argile...) ;
- Avoir une idée précise sur l'homogénéité ou l'hétérogénéité de l'échantillon à partir de la pente de la courbe, qui est représentée par le coefficient d'uniformité : $CU = d_{60}/d_{10}$ (si $CU < 2$ la granulométrie est uniforme) ;
- Estimer la perméabilité de l'échantillon par différentes formules empiriques, qui se basent sur l'indice caractéristique d_{10} (diamètre correspondant à l'ordonnée 10 % de la courbe cumulative), qui conditionne le plus les propriétés de perméabilité du milieu.

Les formules les plus utilisées sont :

- Formule de **HAZEN** : $K \text{ (cm/s)} = A \cdot (d_{10})^2 \text{ (cm)}$

A étant un coefficient qui varie en fonction de la granulométrie du sédiment. La valeur la plus utilisée en hydrogéologie est $A = 100$ (pour les grains : $0,1 < d < 3$ mm et pour un $CU < 5$).

- Formule de **SCHNEEBELI** : $\text{Log}_{10} K \text{ (cm/s)} = 2 \text{ log}_{10} d_{10} \text{ (cm)} + 2$

Cette formule est applicable pour les sables propres à grains ronds

- Dimensionner les ouvertures des crépines et de choisir la dimension du gravier additionnel lors de l'équipement des forages d'exploitation d'eau.

I.6 NOTIONS D'ISOTROPIE ET D'HOMOGENEITE

Un terrain homogène est un terrain qui présente en tout point dans une direction donnée, la même résistance à l'écoulement du fluide. Si en plus cette résistance est la même quelque soit la direction, le terrain est isotrope.

I.7 SYSTEMES AQUIFERES

I.7.1 Définitions

Aquifère : couche de roches perméables comportant une zone suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables par des moyens économiques. L'aquifère est homogène quand il a une perméabilité d'interstices (sable, graviers) ; la vitesse de percolation y est lente. Il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire) ; la vitesse de percolation est plus rapide.

Nappe aquifère : ensemble des eaux comprise dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

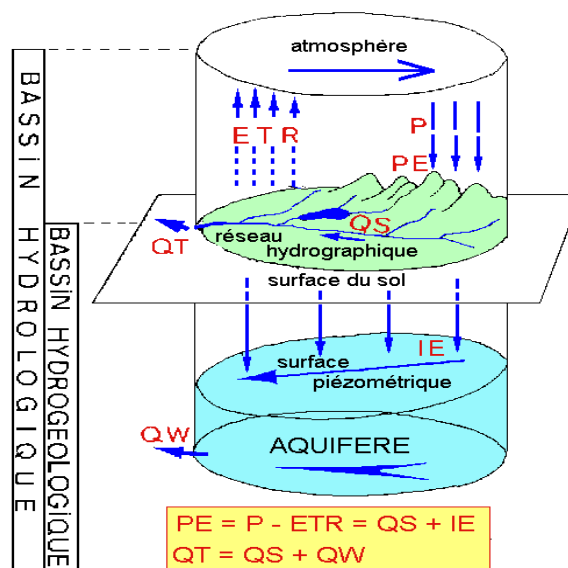
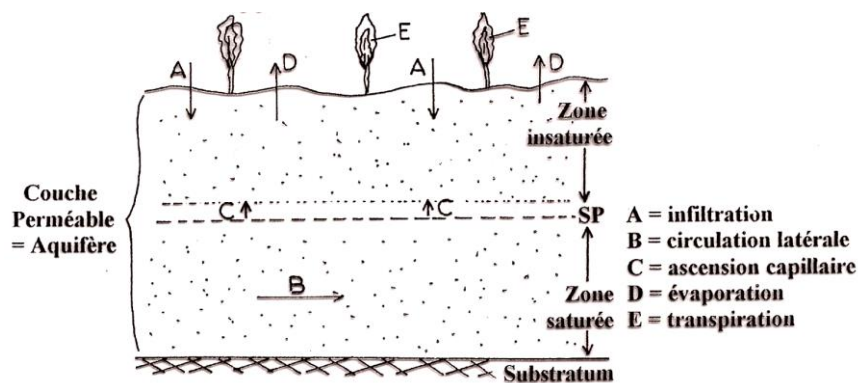


Figure 3 : Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère

I.7.2 Processus général de formation d'une nappe

Par le jeu de la pesanteur, une partie de l'eau de pluie s'infiltré dans le sol, soit directement, soit après circulation à la surface de celui-ci. Selon la perméabilité des terrains rencontrés, elle descend plus ou moins profondément. Cette circulation approximativement verticale est interrompue par la rencontre d'un terrain de faible perméabilité. A la base, cette formation imperméable représente le plancher étanche de la nappe. L'eau s'y accumule en saturant l'ensemble des vides des terrains sus-jacents plus perméables. Ainsi se constitue dans ces formations, une nappe aquifère.



I.7.3 Différents types de nappes

I.7.3.1 Nappe libre :

Une nappe libre est une nappe contenue dans une couche perméable partiellement saturée et reposant sur une couche imperméable ou semi-perméable. La surface libre est toujours à la pression atmosphérique (communication directe avec l'air libre à travers les interstices).

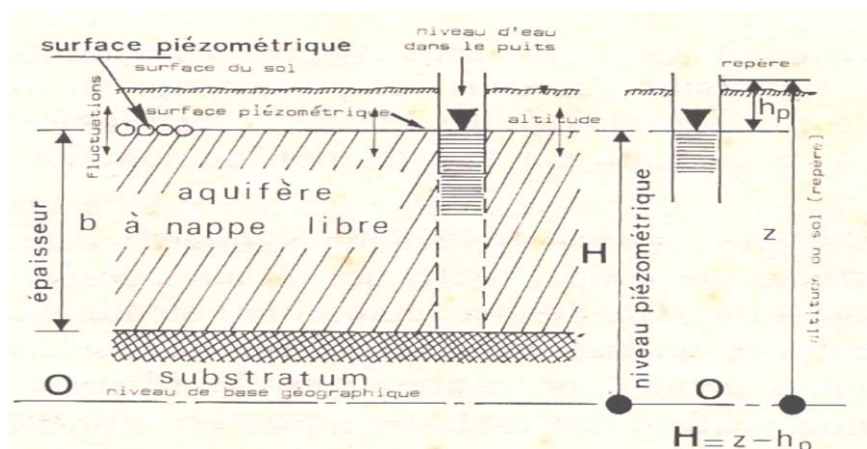
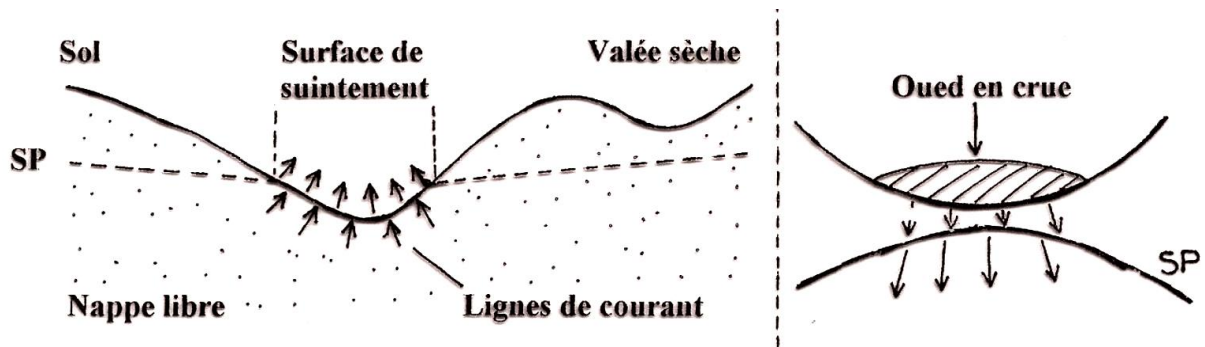


Figure 4 : Schéma de l'aquifère à nappe libre

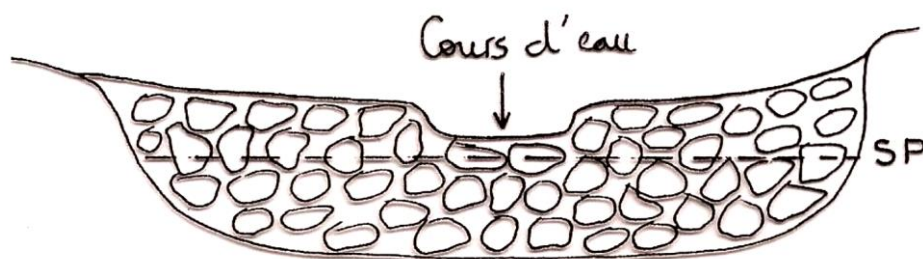
1.7.3.2 Nappe de vallée :

Est dite d'une nappe dont le drainage se fait uniquement par les vallées. L'eau circule vers les exutoires qui sont les points bas de la topographie (sources, rivières...). En pays aride, dans les vallées, les crues des oueds temporaires amènent beaucoup d'eau qui peut s'infiltrer et alimenter la nappe, c'est leur source principale d'alimentation.



1.7.3.3 Nappe alluviale :

C'est une nappe libre sise dans les alluvions qui jalonnent le cours d'un fleuve. La puissance de comblement alluvial peut être importante, avec des matériaux grossiers (sables, graviers, galets) très perméables. Ces matériaux sont saturés presque jusqu'à la surface du sol. L'eau de la nappe est généralement en équilibre avec celle du fleuve, étant tantôt drainée par le fleuve, tantôt alimentée par lui. Ce type de nappe est encore dit soutenue. Elle est très vulnérable à la pollution.



1.7.3.4 Nappe littorale :

La nappe d'eau douce continentale est en équilibre hydrostatique avec la nappe salée de l'eau de mer. Ces 2 nappes se mélangent peu, leur interface constitue un biseau salé. Tout

rabattement de la nappe d'eau douce entraîne la rupture de l'équilibre et la progression du biseau salé vers l'intérieur des terres.

1.7.3.5 Nappe karstique :

En pays calcaire, l'eau chargée de gaz carbonique atmosphérique attaque la roche, agrandit continuellement les fissures, crée les galeries, les cavernes et les gouffres, ce qui aboutit à de véritables rivières souterraines. Les vitesses de circulation de l'eau dans les chenaux karstiques sont grandes et les sources peuvent être abondantes (résurgences).

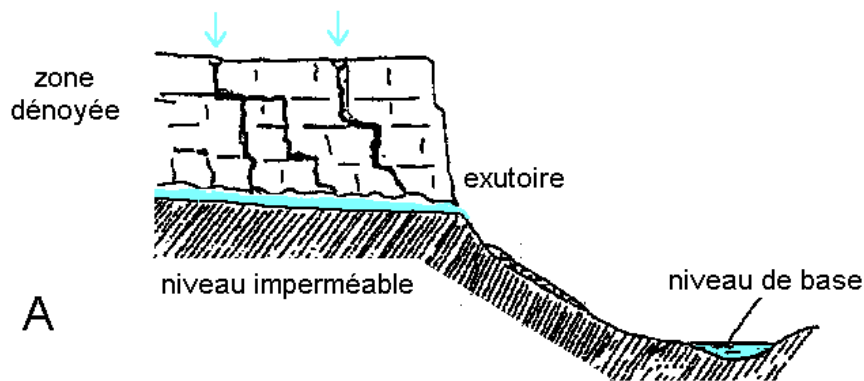
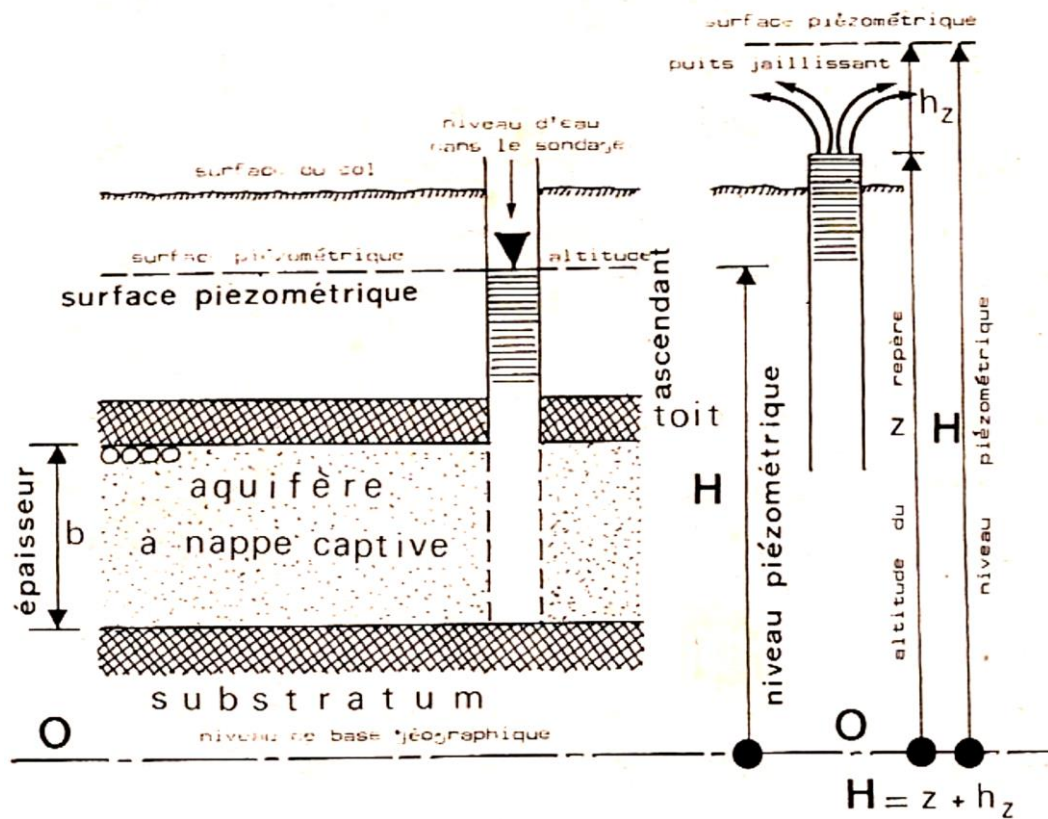


Figure 5 : Systèmes hydrogéologiques karstiques

- A = karst perché
- B = karst à base noyé
- C = karst barré

1.7.3.6 Nappe captive

On appelle nappe captive ou en charge ou sous pression, une nappe comprise entre deux formations géologiques imperméables. Le toit de la nappe est ainsi maintenu au-dessous de la surface piézométrique. Si on perce le toit de la nappe, l'eau monte et s'établit à un niveau en fonction de la charge à laquelle il est soumis. A la limite on a des forages artésiens. Cet artésianisme peut cependant disparaître avec le temps si on exploite la nappe, par réduction de la charge dans l'aquifère. ...



1.7.3.7 Nappe semi-captive

Un cas intermédiaire entre les deux types de nappes est la nappe semi-captive. Il y a échange d'eau avec l'aquifère superposé ou sous-jacent : c'est le phénomène de drainance. Il nécessite deux conditions : l'existence d'une formation semi-perméable et l'existence d'une différence de charge Δh . L'eau s'écoule de l'aquifère ayant la plus forte charge hydraulique vers celui qui a la plus faible charge hydraulique.

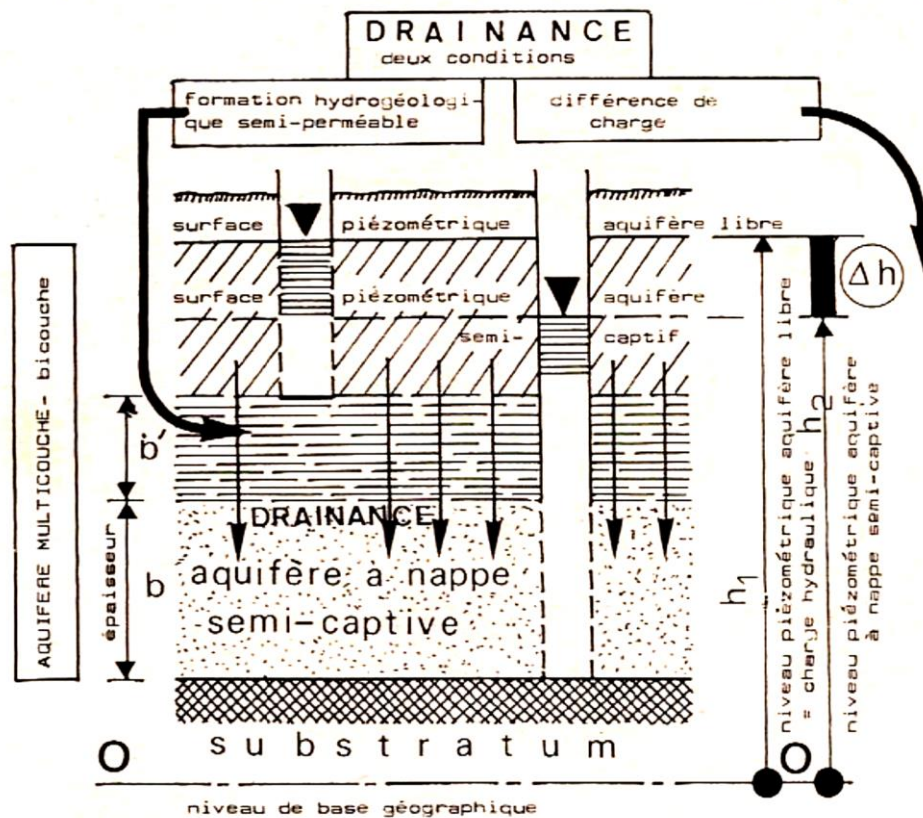
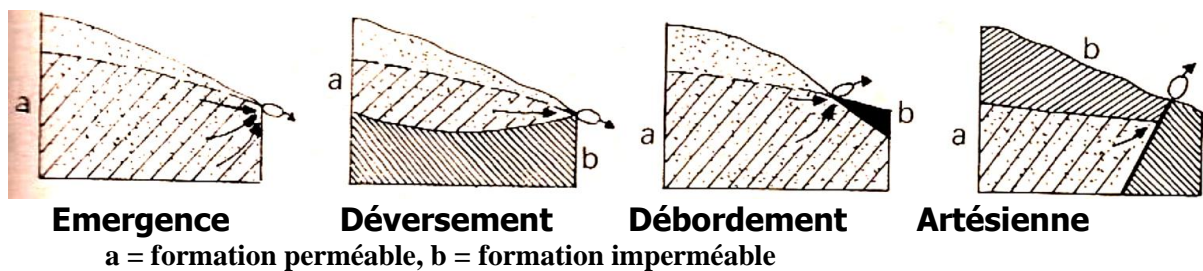


Figure 7 : Schéma d'un aquifère à nappe semi-captive

I.7.4 Emergences (sources ou exutoires)

Les nappes aquifères sont alimentées par les eaux d'infiltration en provenance de la surface, et se vident par les exutoires, essentiellement les sources. Ces émergences sont imposées par la structure géologique de l'aquifère et par la géographie du site. Le débit d'une source dépend du type et de la richesse de la nappe qui l'alimente, et il y a une correspondance directe entre ce débit et la charge hydraulique de la nappe. Les sources peuvent se classer selon leur position structurale :



I.8 CARTOGRAPHIE DE L'AQUIFERE

La cartographie de l'aquifère a pour but de représenter sa géométrie (ou configuration), sa structure et de schématiser les fonctions du réservoir (fonction stockage et conduite) et son comportement hydrodynamique. Les cartes sont de deux types : structurales et piézométriques.

I.8.1 Cartes structurales de l'aquifère

Les cartes structurales de l'aquifère représentent la morphologie, la position des surfaces limites, les épaisseurs nécessaires au calcul des volumes et la distribution spatiale des paramètres hydrodynamiques. Ces cartes sont établies par synthèse des données sur la géologie, les conditions aux limites et les paramètres physiques (notamment la lithologie et la granulométrie) et hydrodynamiques des aquifères (résultats des pompages d'essais).

I.8.1.1 Carte de la profondeur de la nappe/sol

Cette carte appelée : carte des **isobathes** est constituée de courbes d'égales profondeurs de la nappe par rapport au sol. Elle représente l'épaisseur du terrain situé au-dessus de la surface de la nappe, et constitue un intérêt pratique évident pour le choix d'implantation des puits et des forages. Cette carte couplée à celle des perméabilités, permet de mettre en évidence des secteurs vulnérables à la pollution (faible profondeur de l'eau et forte perméabilité de la zone non saturée de la nappe).

I.8.1.2 Carte du toit du substratum

La surface du substratum imperméable de la nappe est représentée par des courbes **isohypses** (courbes d'égales altitudes). Ces cartes donnent une indication sur la profondeur maximale des puits et sondages. Pour établir ces cartes on utilise les données lithologiques des forages de reconnaissance, ainsi que les résultats des différentes prospections géophysiques (surtout électrique et sismique).

I.8.1.3 Carte de l'épaisseur de la nappe

Les courbes d'égale puissance de la nappe ou **isopaches** sont obtenues en superposant la carte du substratum avec la carte piézométrique. En effet, en faisant la différence entre les courbes isohypses (toit du substratum) et les courbes isopièzes (toit de la nappe), on obtient les

courbes isopaches. Cette carte donne une idée sur la richesse de la nappe. Elle permet si on dispose de plusieurs valeurs de la porosité efficace, d'évaluer la réserve totale de la nappe.

1.8.1.4 Carte des caractéristiques hydrodynamiques

Cette carte regroupe les paramètres : Transmissivité, Perméabilité et Coefficient d'Emmagasinement, déduits à partir des essais par pompage. Le classement de ces données et la définition d'une zonation, permettent de circonscrire les secteurs favorables pour l'implantation de forages positifs. L'établissement de ces cartes est facilité par le calage des modèles mathématiques des aquifères.

1.8.1.5 Carte de la minéralisation de l'eau

Les courbes d'égales résidus secs de la nappe ou **isocônes** donnent la répartition à travers la nappe de la minéralisation totale de l'eau. Le classement de ces données et la définition d'une zonation, permettent d'avoir une idée sur la salinité de l'eau à travers la nappe et parfois de distinguer des familles d'eau. Cette carte peut être complétée par des indications sur le faciès des eaux (proportions entre ions).

1.8.2 Cartes piézométriques

1.8.2.1 Présentation

Les cartes piézométriques, établies avec des valeurs des niveaux d'eau dans les ouvrages, représentent à une date donnée, la distribution spatiale des charges hydrauliques dans un aquifère. Ces cartes constituent les documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitive et conductrice du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. La carte de la surface piézométrique d'une nappe représente l'outil d'étude et d'exploitation de cette nappe. Elle permet de définir directement les conditions d'écoulement des filets liquides qui circulent à la surface de la nappe. Elle permet également l'étude de la fluctuation dans le temps des niveaux piézométriques et donc l'évaluation de la réserve de la nappe et des conditions d'alimentation.

1.8.2.2 Etablissement des cartes piézométriques

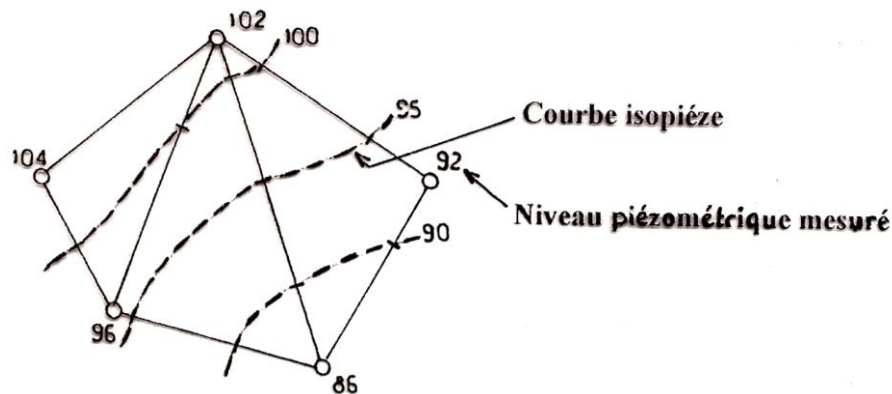
Il repose sur la mesure des niveaux piézométriques, leur report sur des cartes topographiques en courbes de niveau et leur interprétation par des courbes **isopièzes**.

a) Mesure et report des niveaux sur une carte

Les mesures des profondeurs de la nappe sont effectuées par une sonde électrique dans des puits ou piézomètres dans des conditions de stabilisation de la nappe, en dehors des périodes de forte pluie ou de pompage, et au cours d'une période la plus courte possible. En effet, ce document a une valeur de référence à une date donnée à cause des fluctuations saisonnières et pluriannuelles. Les profondeurs de l'eau mesurées dans les ouvrages d'eau sont transformées en niveaux piézométriques en cote NGM ($NP = Z - \text{Profondeur de l'eau/sol}$) et reportées sur une carte topographique d'échelle appropriée. Plus la densité des points est importante, plus l'échelle est grande et inversement.

b) Tracé des courbes isopièzes

Pour le tracé des courbes piézométriques ou isopièzes on utilise la méthode **graphique d'interpolation du triangle**. Les données sont groupées par trois aux sommets de triangles et joints par des segments de droite. Chaque côté du triangle est divisé en segments proportionnels. Les courbes isopièzes sont obtenues en joignant par des segments de droite les points d'égal niveau piézométrique. Les tracés sont ensuite lissés pour obtenir des courbes régulières.

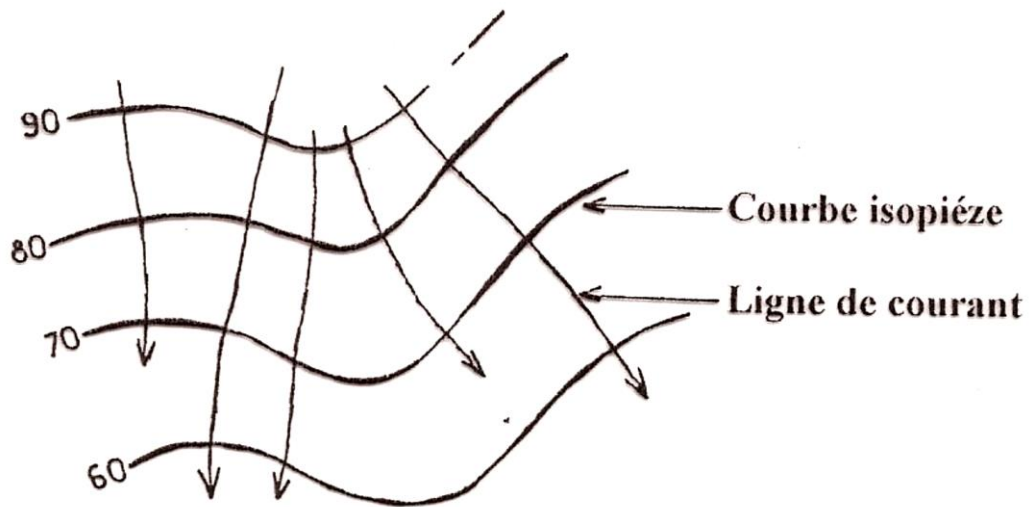


L'équidistance des isopièzes (variation du niveau entre deux courbes successives) doit être adaptée au problème étudié et dépend de la densité des points de mesures, du gradient hydraulique et de l'échelle de la carte. En général, l'équidistance diminuera si la densité des points ou l'échelle de la carte augmente. Par contre, si le gradient hydraulique augmente, l'équidistance augmentera également.

c) Tracé des lignes de courant

Les courbes isopièzes sont des courbes équipotentiels pour les particules liquides, ils correspondent à des courbes d'égales côtes de la surface piézométrique. Les lignes de courant

sont perpendiculaires aux courbes équipotentielles qu'elles recoupent. Elles matérialisent les trajectoires empreintées par l'eau souterraine lors de sa circulation.



1.8.2.3 Interprétation des cartes piézométriques

La surface piézométrique des nappes libres est représentée par des courbes de niveaux dits isopiézes (comme pour quelque surface topographique), c'est à dire des courbes d'égale altitude (côte NGM par exemple) de son toit. Pour les nappes captives, l'approche est identique, il faut simplement observer dans ce cas que la surface piézométrique ne coïncide plus, comme dans la nappe libre avec le toit de la nappe, du fait de la mise en pression de l'eau par le couvercle imperméable. La surface piézométrique est située au-dessus de ce couvercle imperméable.

a. Sens d'écoulement de la nappe

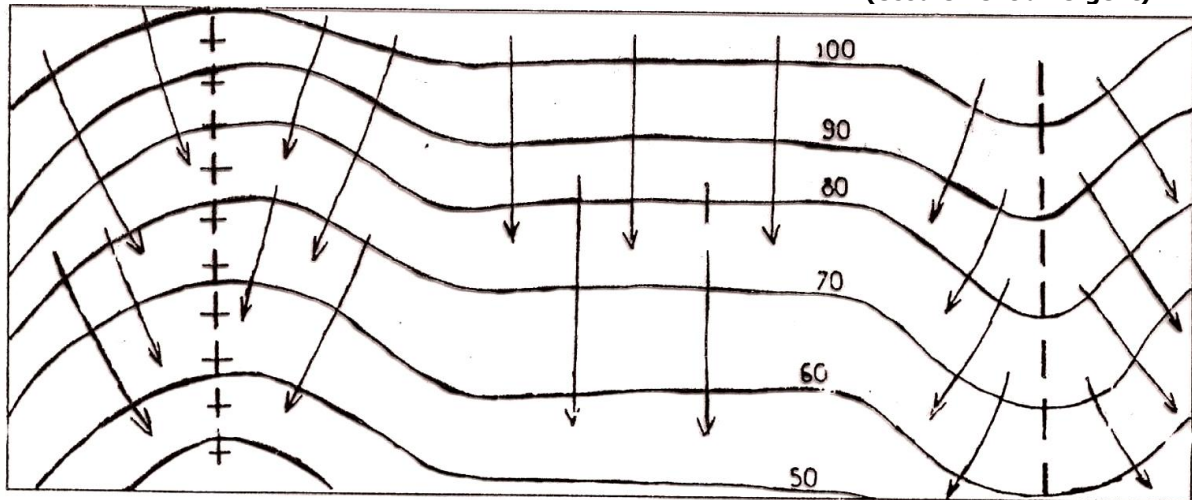
Les lignes de courant indiquent le sens d'écoulement général de la nappe, qui se fait de l'amont (fort potentiel hydraulique) vers l'aval (faible potentiel hydraulique). Le tracé des lignes de courant permet également d'identifier deux axes principaux de la surface piézométrique :

- l'axe de drainage : c'est un axe de convergence des lignes de courant ; il matérialise un secteur d'écoulement privilégié de la nappe (secteur riche en eau).
- L'axe de partage des écoulements souterrains : c'est un axe à partir duquel les lignes de courant divergent ; il matérialise un secteur défavorable de la nappe. Cet axe constitue aussi une limite d'un sous bassin hydrogéologique.

Axe de drainage (écoulement convergent)

Écoulement uniforme (direction constante de l'écoulement)

Axe de partage des écoulements (écoulement divergent)



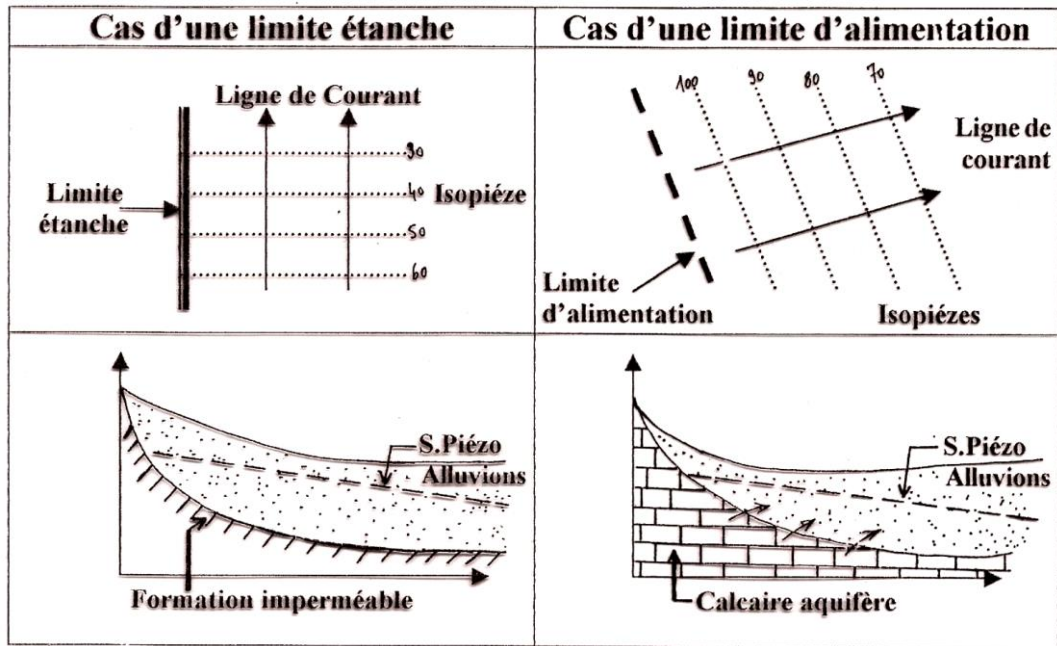
b. Calcul du gradient hydraulique

Le calcul du gradient hydraulique est très utile pour la compréhension du fonctionnement de la nappe. Il se calcule le long d'une ligne de courant, et il est égal au rapport de l'équidistance des courbes isopièzes à la distance entre isopièzes à l'échelle : $i = (h_1 - h_2 / L) * 100$. L'espacement des courbes isopièzes renseigne immédiatement et visuellement sur la valeur du gradient. Plus les courbes sont serrées, plus le gradient est élevé et inversement.

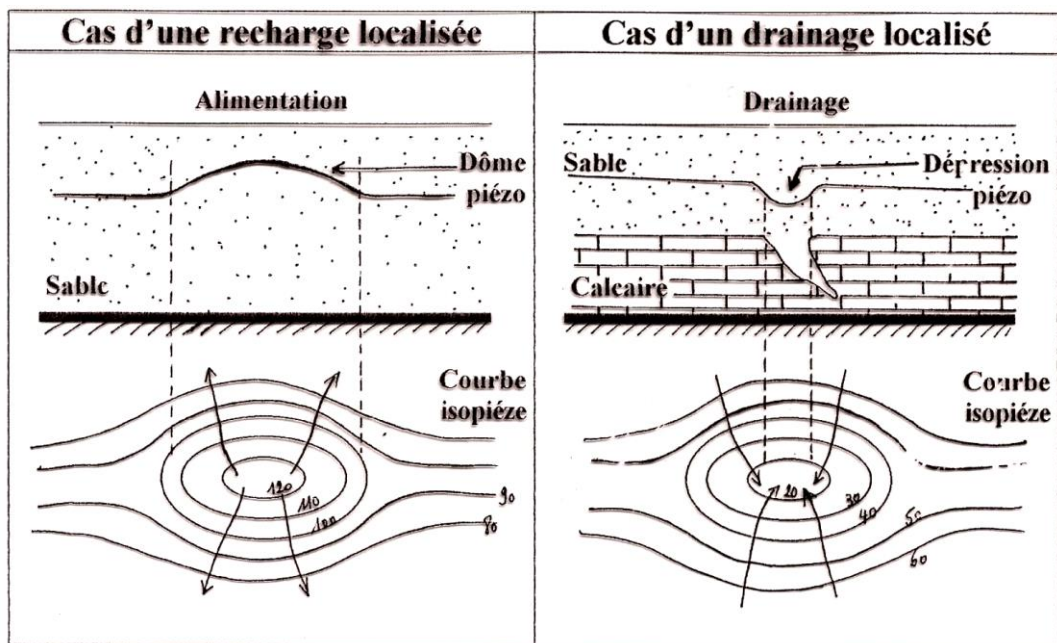
D'après la relation de Darcy ($Q = T \cdot i \cdot L$), le gradient hydraulique est inversement proportionnel à la Transmissivité ($K \times e$) de la nappe. Les secteurs de faible gradient hydraulique sur une carte piézométrique sont les plus intéressants sur le plan de la productivité, et par conséquent les plus favorables pour l'implantation des ouvrages d'exploitation.

c. Conditions aux limites

L'analyse de l'allure des courbes piézométriques et des conditions géologiques locales permet d'identifier les zones d'alimentation et de drainage de la nappe. Ainsi, si les isopièzes sont perpendiculaires aux limites de l'aquifère, elles identifient une limite étanche. Par contre, si les isopièzes sont obliques ou parallèles aux limites de l'aquifère, elles identifient une limite d'alimentation ou de décharge de la nappe suivant le sens d'écoulement.



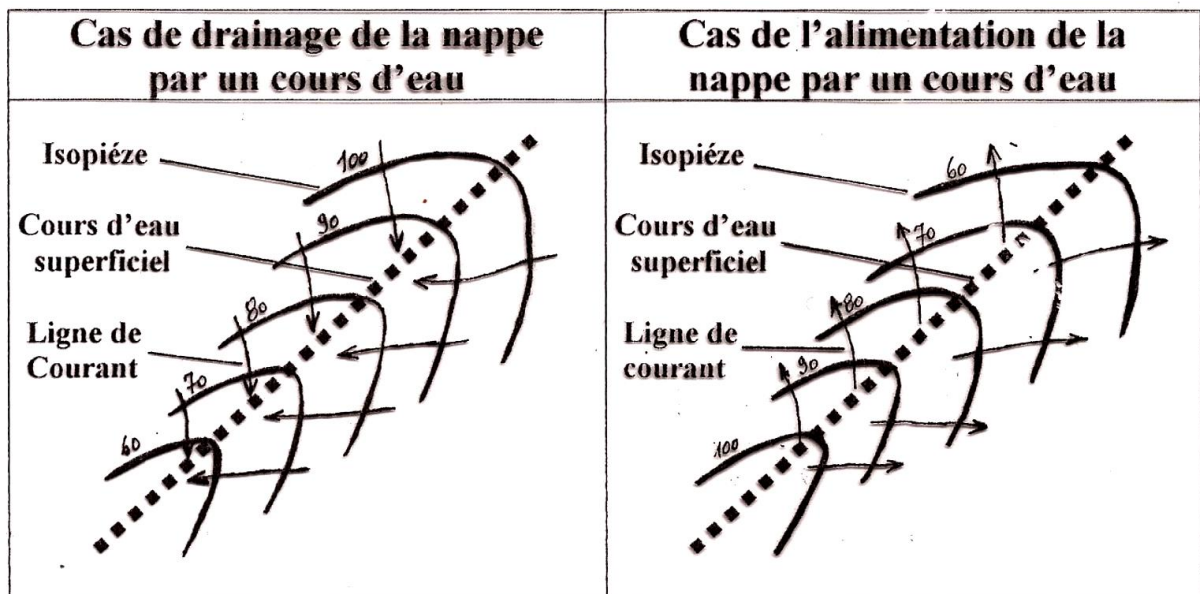
Loin des limites de l'aquifère, si les courbes isopiézes sont fermées elles identifient, selon le sens d'écoulement de l'eau souterraine, des zones d'alimentation localisées (dômes piézométriques), ou de drainage (dépressions piézométriques).



d. Relations hydrauliques nappe – cours d'eau

Entre un aquifère et le cours d'eau qui le traverse peuvent exister des relations hydrauliques de drainage ou d'alimentation de la nappe par le cours d'eau. Le drainage de la nappe par le cours d'eau est fréquent en période d'étiage. Les eaux de la nappe s'écoulent vers le cours

d'eau et sortent au niveau des sources situées dans son lit. La surface piézométrique de la nappe se situe à une cote supérieure à celle du cours d'eau. Les isopièzes dessinent des arcs de cercle à concavité orientée vers l'aval hydraulique de la nappe. Les lignes de courant convergent vers le cours d'eau. Le cours d'eau peut à son tour alimenter la nappe pendant la période de crue. Dans ce cas, les lignes de courant divergent de la rivière vers la nappe et la concavité des isopièzes est orientée vers l'amont hydraulique de la nappe. Le niveau de l'eau dans le cours d'eau se trouve à une cote supérieure à celle de la nappe.



e. Suivis piézométriques

Dans une grande partie des bassins hydrogéologiques certains points d'eau sont suivis régulièrement (mesures mensuelles à bimensuelles). Ces mesures visent à se faire une idée précise à travers toute la nappe sur les fluctuations du niveau piézométrique à l'échelle saisonnière et à l'échelle pluriannuelle. Ce suivi permet par exemple de visualiser en continu :

- le temps de réponse de la nappe aux apports pluvieux
- les conséquences à long terme de l'exploitation d'un champ captant
- les conséquences d'une longue période de sécheresse
- les conséquences d'un apport extérieur (irrigation par l'eau d'un barrage)

f. Carte d'isovariation piézométrique

En faisant la différence entre deux cartes piézométriques l'une réalisée en hautes eaux et l'autre en basses eaux, on peut avoir une idée sur l'importance de la recharge (alimentation) et

la décharge (vidange) annuelle de la nappe. La différence entre deux cartes piézométriques effectuées à la même période mais à quelques années d'intervalle, donne une image de l'état d'exploitation de la nappe. Les zones déprimées correspondent aux zones surexploitées où la décharge est supérieure à la recharge, alors que les zones excédentaires peuvent correspondre à des endroits où s'effectue un apport extérieur (recharge par l'irrigation, apports profonds..). Cette carte d'isovariation peut servir pour prévoir des aménagements hydrauliques susceptibles de sauver des zones déficitaires (barrages pour la recharge et la régulation des eaux de surface) et aussi pour limiter les prélèvements dans les secteurs surexploités. Cette carte permettra de calculer le volume d'eau perdu ou gagné à travers toute la nappe durant la période d'observation. Ce volume pourra être comparé à titre de vérification à celui établi par les bilans classiques de la nappe.

Chapitre II

Piézomètres et niveau piézométrique

II.1 INTRODUCTION

La mesure du niveau piézométrique est l'opération principale de l'inventaire de la ressource en eau souterraine. L'étude des nappes devant passer par la surveillance de la variation du niveau d'eau s'opérant dans les différents puits et forages.

Un piézomètre est un point d'observation piézométrique, qui est soit un ouvrage construit par l'homme (puits, forage, ...), ou bien un point naturel (source, aven, grotte, ...) qui permet de mesurer le niveau d'une nappe. Théoriquement, un piézomètre ne mesure que le niveau d'une et une seule nappe. Dans les faits, un piézomètre peut atteindre plusieurs nappes dont les niveaux piézométriques peuvent être différents.

Les niveaux statiques sont définis comme sur les cartes topographiques, c'est-à-dire avec des courbes de niveau appelé isopièzes qui correspondent aux altitudes de la nappe au moment de la mesure piézométrique. Les isopièzes sont variables au cours de l'année, à la sortie de la période hivernale, les précipitations rechargent les nappes d'eau, la carte piézométrique réalisée à cette période de l'année est qualifiée en « hautes eaux ». Par ailleurs, pendant la période estivale, les fortes chaleurs abaissent le niveau statique, la carte piézométrique réalisée est alors qualifiée en « basses eaux ».

II.2 PRINCIPE DE PIEZOMETRE

Un piézomètre est un dispositif qui permet de mesurer la charge hydraulique en un point situé à l'intérieur d'un massif aquifère. Par suite d'une confusion, on a étendu le nom piézomètre à tout autre dispositif destiné à mesurer le niveau de l'eau dans le sol. Il y'a effectivement identité lorsque la nappe est en équilibre, mais il n'en est plus ainsi dès lors que la nappe est en mouvement sous l'effet d'un gradient de charge (pompage par exemple).

Considérons en effet une nappe horizontale au repos. Les équipotentiels sont alors des plans verticaux (figure II.1) la charge h en un point M est égale à :

$$h = z + \frac{P}{\gamma_w} = \text{constante}$$

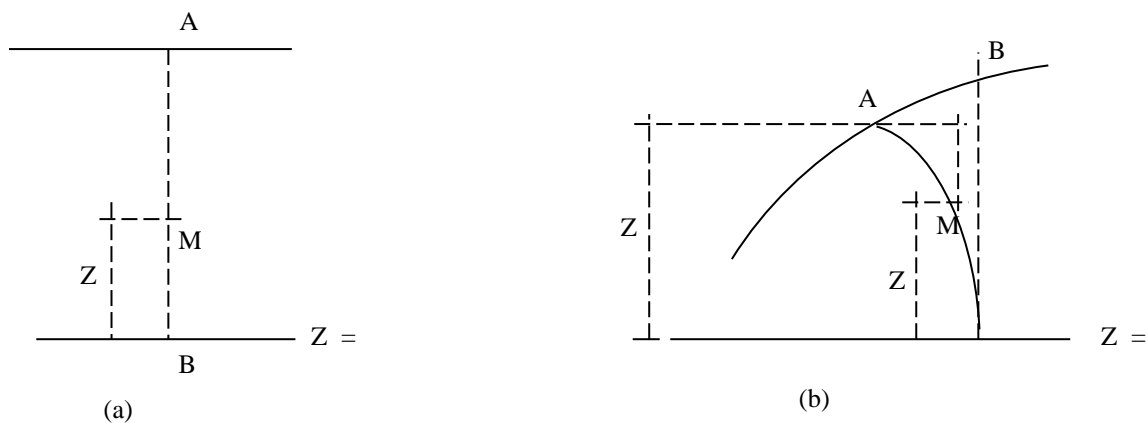


Figure II.1 : Charge hydraulique dans une nappe
(a) au repos (b) en Mouvement

Or la pression p en M est égale au poids de la colonne d'eau de section unité située au-dessus.

Donc
$$\frac{P}{\gamma_w} = \overline{MA} \text{ et } h = z + \overline{MA} = \overline{AB}$$

La charge est donc constante

Quel que soit M et égale à la hauteur de la surface libre par rapport au plan de référence $z = 0$

Supposons maintenant que la nappe soit en mouvement et que sa surface libre présente une courbure assez prononcée. Soit AB l'équipotentielle passant par un point A de la surface libre (figure I.1.b). En tout point de l'équipotentielle la charge est constante et toujours donnée par l'équation (1) pour déterminer la valeur constante de cette charge, il suffit de placer en un point particulier de l'équipotentielle, par exemple au point A de cote H . En ce point la pression est nulle (ou plus précisément égale à la pression atmosphérique). On aura donc $h = H$.

En un point M de l'équipotentielle de cote z , on peut écrire

$$H = z + \frac{P}{\gamma_w}$$

Soit

$$p = \gamma_w(H-z)$$

La pression en M correspond donc au poids d'une colonne d'eau dont la hauteur est égale à la distance entre le point M et l'horizontale passant par A .

Elle est donc inférieure à la hauteur réelle d'eau au-dessus de M . En particulier au point B la charge est toujours égale à H alors que la hauteur réelle d'eau est $\overline{BB'} > H$

II.3 LE PIEZOMETRE

Un piézomètre est constitué, d'une façon générale par un élément perméable (élément de tube crépiné, cylindre creux, pierre poreuse, etc..) relié à la surface par un tube rigide ou une tubulure souple et mis en place dans un forage. Un bouchon étanche est réalisé au-dessus de la crépine afin d'éviter les communications avec le forage (figure II.2).

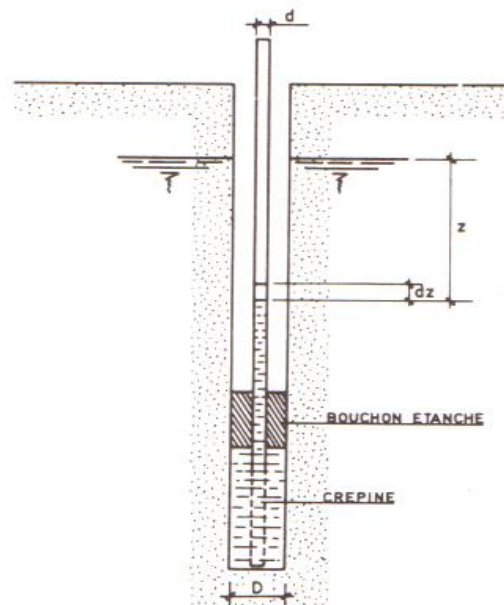


Figure II.2 : Principe du piézomètre

Sous l'effet de la pression qui règne au niveau de la crépine, l'eau va s'élever dans le tube supérieur. La mesure de cette pression se fait alors soit par repérage du niveau d'eau dans le tube à l'aide d'une sonde électrique, soit par un dispositif manométrique.

On est donc conduit à distinguer deux types de piézomètres.

- Les piézomètres ouverts
- Les piézomètres fermés ou piézomètres à volume constant.

On conçoit aisément qu'il faudra un certain temps après la mise en place du piézomètre dans le forage ou après une perturbation de la charge pour que s'établisse le niveau ou la pression d'équilibre. Ce temps sera d'autant plus long que le terrain sera moins perméable et que le diamètre du tube piézométrique sera plus important. On est donc conduit à définir le « temps de réponse » d'un piézomètre, qui est le temps au bout duquel le piézomètre indique une valeur de la pression égale à la pression réelle qui règne dans l'eau au niveau de la crépine.

II.3.1 Piézomètres ouverts

Les piézomètres ouverts peuvent être réalisés soit par forage, soit par battage. Dans le cas d'un piézomètre foré, on réalise le forage selon les méthodes traditionnelles dans un diamètre supérieur à celui du piézomètre. Aucune règle précise ne fixe le diamètre de piézomètre. Par mesure d'économie et pour réduire le temps de réponse, on adopte les diamètres les plus faibles possibles, compatibles avec les dimensions du plongeur des sondes électriques. En pratique, on choisit soit un diamètre de l'ordre de 50 mm extérieur. Dans ce cas, on réalise le forage en 66 ou 90 mm.

Comme la plus part du temps les piézomètres sont mis en place dans des nappes alluviales, le forage sera tubé car l'emploi de bentonite doit être absolument prohibé pour éviter le colmatage du terrain.

Une fois atteinte la profondeur désirée, on introduit dans le forage un tube piézométrique (métallique ou en matière plastique) crépiné à sa base. Il n'est pas utile que la longueur crépinée soit très importante et on ne dispose d'aucune règle permettant de la définir.

Lorsqu'on veut procéder à des mesures ponctuelles, il est bien évident que la crépine devra être très courte (2 à 3 diamètres environ). Si, par contre, il ne s'agit que de mesurer un niveau d'eau, on pourra adopter une valeur beaucoup plus importante, mais telle que la crépine soit toujours noyée. En général, on ne dépassera pas 2,00 m.

En ce qui concerne la densité des vides de la crépine, il faut qu'elle soit telle que sa perméabilité soit très élevée. Là non plus, il n'y a pas de règles précises. On s'arrange, en général, pour que la surface totale des vides, par élément de tube d'une hauteur d'un diamètre extérieur, soit comprise entre 0,50 et 0,75 fois la section droite intérieure du piézomètre. C'est ainsi, par exemple, que pour un piézomètre de 40 mm de diamètre intérieur, on pourra

réaliser, 18 trous de 8 mm de diamètre disposés en quinconce, sur une hauteur de 1 diamètre extérieur (50 mm environ).

Il existe toutefois dans le commerce des tubes crépinés par fentes qui correspondent à des critères de perméabilité tout à fait acceptables. Si la prise de pression doit se faire en terrain sableux, ce qui est souvent le cas, il faut éviter que le sable ne pénètre dans le piézomètre. Pour cela, on revêt la crépine d'une toile métallique ou en crin de nylon.

Une fois le piézomètre placé dans le forage tubé, on introduit dans l'espace annulaire, tout en remontant le tube de forage, un filtre en gravillon dont la granulométrie doit être en rapport avec celle du terrain environnant. Ce filtre devra entourer complètement la crépine et avoir une hauteur plus grande

On confectionne ensuite au-dessus du filtre, un bouchon étanche sur une hauteur d'environ 3,00 m, à l'aide d'argile corroyée, de coulis épais bentonite-ciment ou de boules de bentonite humide et raide compactée dans le forage à l'aide d'une dame en forme de croissant. La réalisation de ce bouchon est une opération très délicate qui nécessite le plus grand soin.

La mise en place une fois terminée, il est bon de protéger le piézomètre par une tête constituée en général par un élément de tube métallique scellé dans un massif de béton et fermé par un bouchon cadénassé ou vissé (figure II.3).

Avant que le piézomètre soit prêt à fonctionner il faut procéder à un petit développement, soit par émulsionnage à l'air comprimé, soit par pistonnage, opération qui est poursuivie jusqu'à ce que l'eau sorte claire.

Lorsqu'un seul piézomètre est réalisé dans un forage, on dit qu'il s'agit d'un piézomètre simple. Mais il se peut qu'on veuille le comportement de plusieurs nappes superposées. Dans ce cas, on peut être amené à mettre en place plusieurs piézomètres dans un même forage à des niveaux différents. On dit alors qu'on a constitué un piézomètre multiple. Mais il faut pour cela exécuter un forage d'un diamètre beaucoup plus grand, En pratique, on se limite à des piézomètres doubles ou triples (figure II.4).

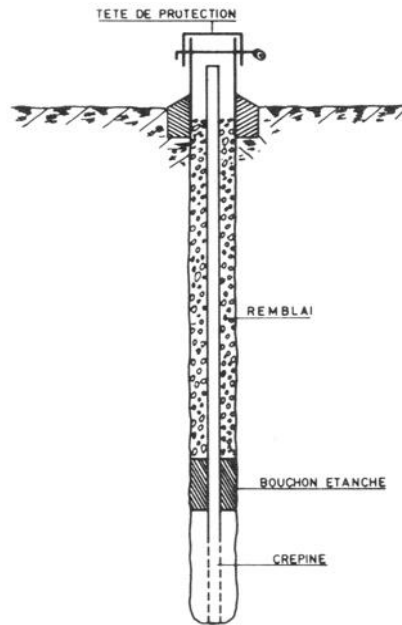


Figure II.3 : Piézomètre simple

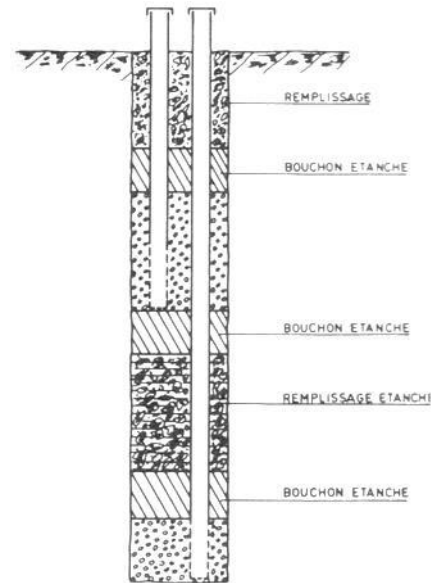


Figure II.4 : Piézomètre multiple

Toutefois, la réalisation de piézomètre multiple est très délicat surtout en ce qui concerne l'efficacité des bouchons d'étanchéité, dont on ne peut jamais être sûr, il est donc toujours préférable de remplacer un piézomètre multiple par plusieurs piézomètres simples très voisin.

A l'heure actuelle, on utilise de plus en plus des piézomètres « préfabriqués » dont la mise en place est très facile. Dans cette catégorie nous citeront les piézomètres Casagrande commercialisés par la Société Soil Instruments Limited (Londres) et le piézomètre Géonor mis au point par le « Norvégain Geotechnical Institute ».

II.3.2 Piézomètre a volume constant

Les valeurs particulièrement élevées du temps de réponse des piézomètres ouverts en terrain peu perméable sont essentiellement dues au déplacement d'un volume d'eau important. On a donc cherché à limiter le plus possible ce volume et l'on a conçu des piézomètres dits à « volume constant ».

Ce sont des piézomètres du type « ouvert » dans lesquels on a placé un manomètre à l'extrémité du tube. Pour que la pression qui règne dans l'eau interstitielle au niveau de la crépine puisse se transmettre rapidement au manomètre, il suffit de remplir le tube piézomètre

d'un liquide incompressible qui est le plus souvent de l'eau, mais qui peut aussi être de l'huile (figure II.5).

L'équilibre des pressions au niveau de la crépine permet d'écrire :

$$u = p + \gamma h$$

où u = pression interstitielle autour de la crépine

p = pression lue sur le manomètre

γ = densité du fluide contenu dans le tube piézométrique.

Ce genre de piézomètre ne peut évidemment plus être utilisé lorsque le toit de la nappe est à une profondeur supérieure à 10 m (pour un remplissage à l'eau).

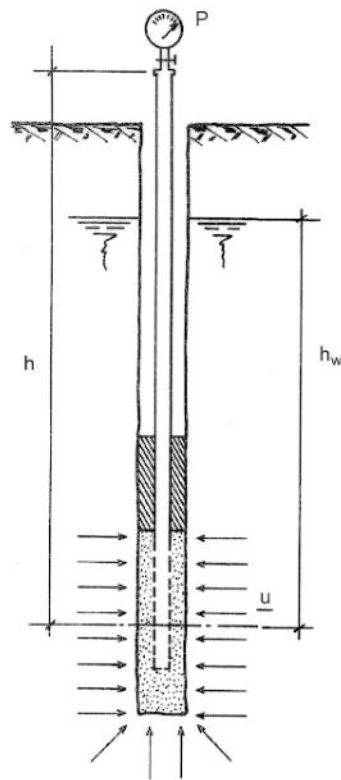


Figure III.5 : Piézomètre à volume constant.

II.4 CHOIX ET IMPLANTATION DES PIEZOMETRES

Les piézomètres utilisés devront avoir un temps de réponse très faible, leur choix sera donc défini à partir de la nature du terrain aquifère.

Dans les alluvions grossières, dont la perméabilité est en général grande, on peut utiliser des piézomètres ouverts. Par contre, dans les sols imperméables (argile, limons, graves argileuses), il faut adopter des piézomètres à volumes constant pour réduire le temps de réponse. Ce type de piézomètres doit être employé toutes les fois que des doutes subsistent sur la perméabilité du sol, car une variation d'une unité sur l'exposant coefficient de perméabilité multiplie par 10 le temps de réponse.

On implante en principe les piézomètres suivant deux axes rectangulaires centrés sur le puits et à distances croissantes, la distance du dernier étant voisine du rayon d'action présumé (de l'ordre de 200 mètres pour les terrains très perméables, et de 30 à 50 mètres pour les terrains peu perméable). Très souvent les distances entre les piézomètres et le puits sont en progression géométrique, ce que facilite l'interprétation graphique.

Il n'existe pas de règle pour fixer le nombre de piézomètres, mais il est bien évident que plus ils seront nombreux, plus fine sera l'interprétation. En tout état de cause, il faut disposer d'au moins 4 piézomètres à des distances différentes, mais en général, il est souhaitable d'en avoir 8 ou 10.

Dans une nappe captive, la profondeur des crépines n'as pas grande importance, car en général, les variations de charges étant faibles par rapport à la charge initiale, les surfaces équipotentiellles sont sensiblement des cylindres verticaux concentrique au puits (figure II.6a).

Par contre, dans une nappe libre, ces surfaces équipotentiellles présentent une courbure d'autant plus accentuée que l'on se trouve plus près du puits, ce n'est qu'à grande distance qu'elles deviennent assimilables à des cylindres verticaux. On voit alors sur la figure II.6b que les piézomètres 1 et 3 situés sur la même équipotentielle donnent la même indication de charges quoique leur distance au puits soit différente et que le piézomètre 2 donne un niveau plus élevé que le piézomètre 3 quoiqu'il soit situé plus près du puits.

C'est ainsi que l'on peut quelquefois être amené à rejeter comme aberrants, les résultats fournis par un piézomètre alors qu'il ne s'agit que d'une mauvaise position de la crépine.

Pour éviter ces inconvénients, on a donc intérêt à placer les crépines le plus près possible du substratum imperméable, tout au moins au voisinage du puits. Au contraire à grande distance du puits les piézomètres 4 et 5 donneront des résultats très voisins, indépendants par conséquent de leur profondeur. En pratique, ce sont surtout les piézomètres plus éloignés que l'on utilise dans l'interprétation théorique.

Toutefois, l'interprétation théorique d'un pompage dans une nappe libre en terrain très perméable implique certaines hypothèses simplificatrices dont la principale consiste à admettre que le rabattement est faible devant l'épaisseur de l'aquifère, ce qui revient à assimiler la perte de charge au rabattement. Dans ce cas, c'est la surface de la nappe qui est utilisée dans le calcul.

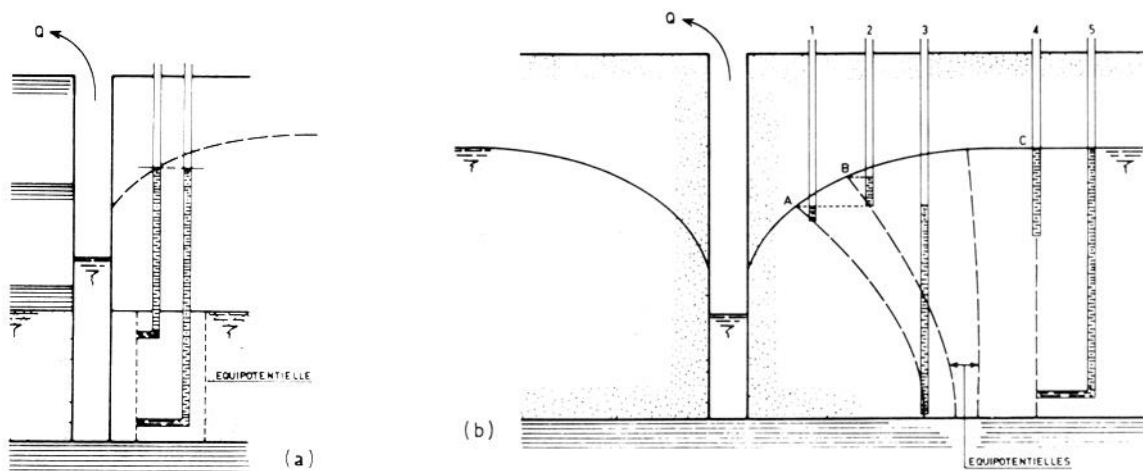


Figure II.6 : Influence de la position des piézomètres :
 (a) Nappe captive. (b) Nappe libre.....

D'une manière générale, on doit réaliser les piézomètres avant le puits de telle sorte que l'équilibre statique de la nappe ait le temps de se rétablir. On mettra à profit ce délai de repos pour effectuer quelques mesures afin de définir avec le plus de précision possible le niveau piézométrique initial.

II.5 MESURE DES NIVEAUX D'EAU

Les variations du niveau de l'eau dans le puits et dans le piézomètre (s'il s'agit de piézomètre ouvert) se mesurent à l'heure actuelle essentiellement à l'aide de sondes électriques. Il existe

toutefois d'autres dispositifs fixes qui consistent à repérer ou à enregistrer les mouvements de la nappe : ce sont les limnimétries qui peuvent être mécanique ou pneumatique, à lecture directe ou à enregistrement.

II.5.1 Sonde électriques

Toutes les sondes électriques sont basées sur le même principe. Deux électrodes alimentées en courant continu sont descend dans le puits. Dès qu'elles arrivent au contact de l'eau le circuit électrique se rétablit et transmet un signal en surface. Une sonde comprend (figure II.6) :

- Un plongeur constitué d'un tube creux de 25 mm de diamètre extérieur
- Un double décimètre avec fils électrique incorporés
- Un boîtier de mesure.

A l'intérieur du tube creux vient se loger un petit cylindre en bronze de 8 mm de diamètre revêtu d'un tube plastique isolant. Deux fils électrique sont soudés à chacun des éléments en bronze. Les deux fils électrique suivent un ruban décimétrique et sont raccordés en surface au boîtier de mesure

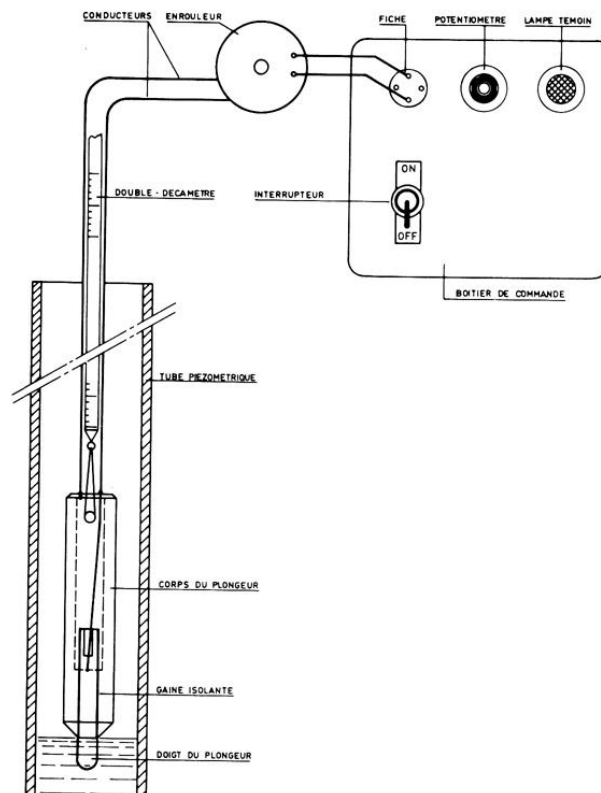


Figure II.7 : Sonde électronique

II.5.2 Limnimètre mécanique

Un flotteur placé dans le forage transmet à la surface les mouvements du niveau de l'eau, dans les dispositifs simples, la transmission se fait, soit par un train de tige rigide et léger (aluminium), soit par câble. Dans le premier cas un curseur solidaire du train de tige permet de repérer les variations de niveau sur une règle graduée fixée sur le tube de revêtement du puits. Dans le second cas, le câble enroulé sur une poulie de retour, est tendu par un contre-poids sur lequel est fixé un index permettant le repérage des niveaux (figure II.7).

C'est d'ailleurs sur ce principe que sont conçus les limnigraphes enregistreurs, tel que le limnigraphe OTT R16 qui comprend : un flotteur de 40 ou 80 mm de diamètre et un boîtier d'enregistrement que l'on fixe directement sur le tube de revêtement du forage ou du puits. Le flotteur transmet les fluctuations de la nappe au boîtier par l'intermédiaire d'un fil tendu par un système de ressort ou de contre-poids (figure II.8).

Le déroulement du fil actionne un curseur à encre qui trace en fonction du temps la courbe des variations de niveau sur un tambour à axe vertical actionné par un mouvement d'horlogerie.

Ce type d'appareil peut être monté sur un puits, mais il est surtout utilisé avec les piézomètres ouverts.

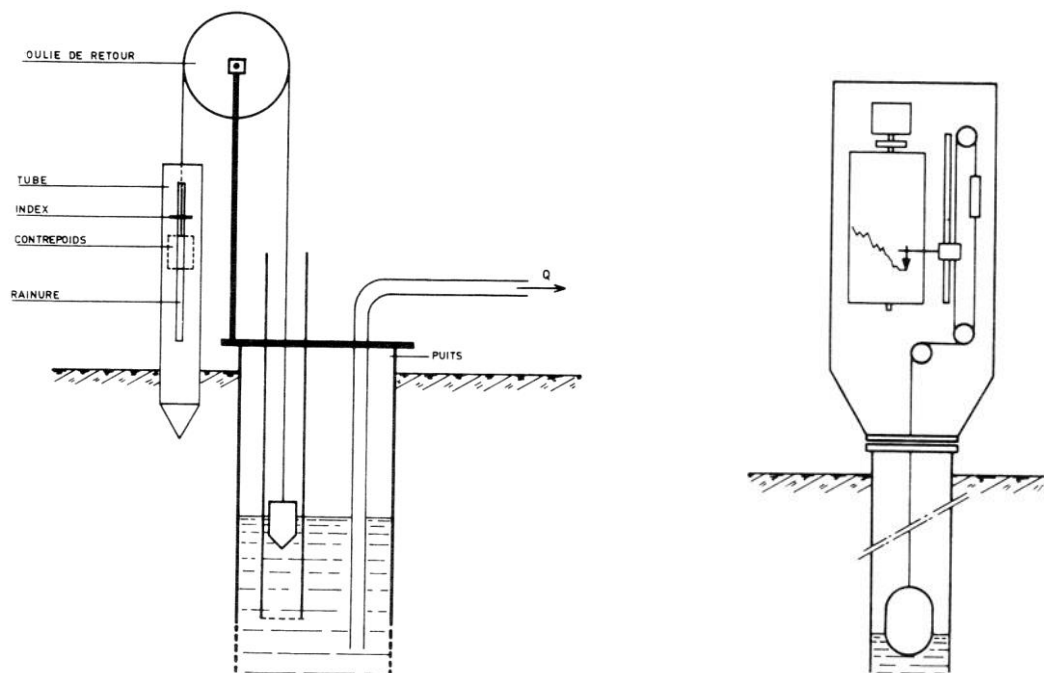


Figure II.8 : Principe du limnimètre à câble. Figure II.9 : Limnigraphe mécanique enregistreur

Actuellement ces enregistreurs ont été remplacés par des codeurs enregistreurs limnimétriques Thalimèdes qui mesurent en continu le niveau des écoulements à surface libre ou des nappes souterraines peu profondes. Ils s'utilisent seuls ou en association avec tout limnigraphe à flotteur classique.



Figure II.10 : Codeur enregistreur Thalimèdes

II.5.3 Limnimètre pneumatique

Ces dispositifs sont basés sur le principe suivant : lorsqu'un gaz sous pression barbote doucement dans un liquide c'est-à-dire lorsque le gaz qui provient d'une canalisation immergée s'échappe bulle à bulle, la pression du gaz est égale de la pression hydrostatique au niveau de l'orifice :

$$P = \gamma_w h$$

Un limnigraphe pneumatique comprend donc (figure II.10) :

- Une bouteille de gaz comprimé (en général de l'azote insoluble dans l'eau)
- Un boîtier de mesure avec manomètre enregistreur
- Un tube plongeur.

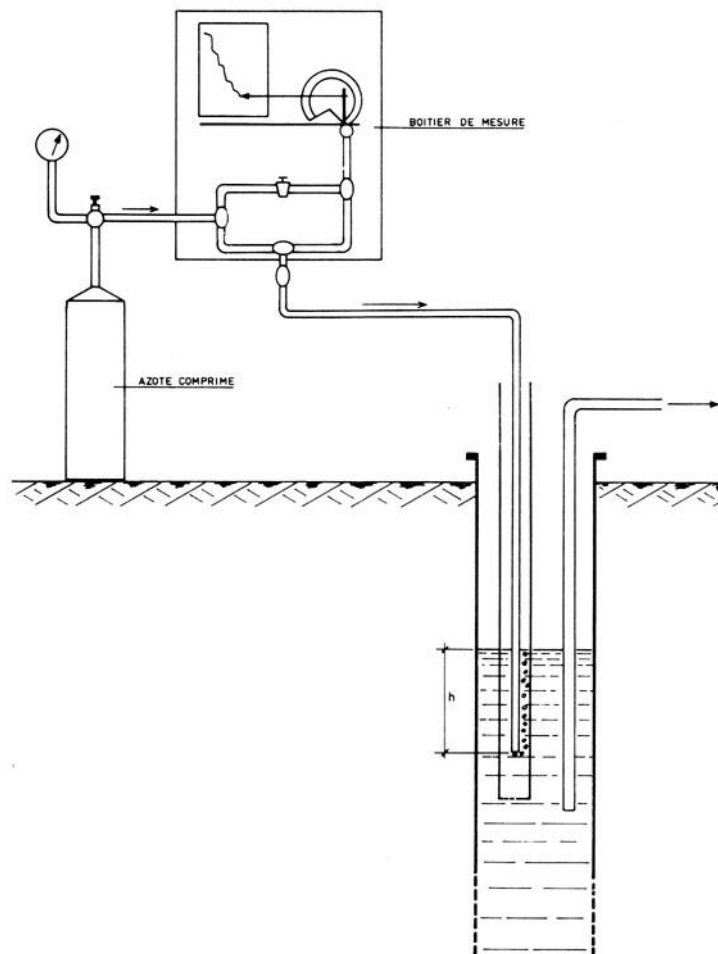


Figure II.11 : Schéma d'un limnigraphe pneumatique.

On travaille en général avec un très faible débit de gaz ce qui permet de faire des mesures de très longue durée. Parmi ces limnigraphes pneumatiques, nous citerons le limnigraphes OTT d'origine Allemande et le limnigraphes français Neyrpic.

II.5.4 Les sondes de mesure

Le principe de mesure de ces capteurs de pression est basé sur la déformation d'une membrane en céramique souple sous l'effet de pression hydrostatique et la transformation de la déformation mécanique en signal électrique par un transducteur. Ces stations sont conçues pour une utilisation à long terme dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines.



Figure II.12 : Capteur de pression hydrostatique de la colonne d'eau

II.6 CONCLUSION

Les mesures de niveaux d'eau sont à la base de toute étude hydrogéologique : porosité du sol, direction du courant des nappes souterraines, surveillance des niveaux des nappes. L'information intéresse en effet non seulement différentes autorités, mais également les producteurs et distributeurs d'eau

Pour réaliser ces mesures, de nombreux outils sont disponibles qui permettent de mesurer les hauteurs d'eau dans les forages, les puits, les réservoirs, les piézomètres, les eaux libres, etc...

Les instruments de mesure des niveaux d'eau n'ont cessé de se développer ; depuis la sonde lumineuse, en passant par les limnigraphes pour arriver à des capteurs de pression miniaturisés avec pleins de composants électroniques.

La sonde piézométrique est un des systèmes les plus simples à installer. Elle ne demande presque pas de travaux d'infrastructure. Elle a pour objectif de mesurer la hauteur de l'eau à l'aide d'un capteur de pression différentielle. Le niveau de l'eau est calculé à partir de la pression hydrostatique. Un capteur en céramique mesure la hauteur du liquide qui se trouve au-dessus du capteur et transforme cette donnée en signal électrique.

Chapitre III

Aquifère alluvial de Oued Biskra

III.1 INTRODUCTION

Une nappe alluviale est une nappe contenue dans un aquifère constitué par les alluvions d'une rivière ou d'un oued. Les alluvions y sont généralement très perméables ; elles peuvent être très épaisses et constituer un réservoir très important qui sert à l'alimentation en eau des villes situées le long de l'oued. Le cours d'eau et sa nappe sont intimement liés dans leur fonctionnement hydrodynamique. Les échanges sont complexes et fluctuants mais schématiquement et en période de basses eaux, la nappe alimente l'oued. En période de crues assez longue, l'inverse se produit et la nappe absorbe l'eau en excès. La nappe intervient ainsi dans l'amortissement des crues (par infiltration d'une partie de l'eau) et le soutien d'étiage.

En zone aride, et tout comme l'oued, les eaux de la nappe s'écoulent, souvent vers les dépressions endoréiques où elles s'évaporent (lacs temporaires avec dépôt de sels ou sebkha continentale).

Depuis la plaine d'El Outaya au nord jusqu'à la limite de la ville de Biskra au sud, l'oued El Haï- 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.

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. Nous tenterons par conséquent dans cette partie de synthétiser le maximum d'informations concernant l'hydrogéologie de cette nappe.

III.2 CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE DE L'AQUIFERE DE LA NAPPE ALLUVIALE

La nappe alluviale de l'oued Biskra est localisée juste à l'amont de la ville de Biskra (figure III.1).

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.

Cette nappe présente une superficie de 5km² et une épaisseur moyenne de 20m ; le volume d'alluvions déduit de la géophysique étant de 100 hm³ (SCETCOOP, 1967).

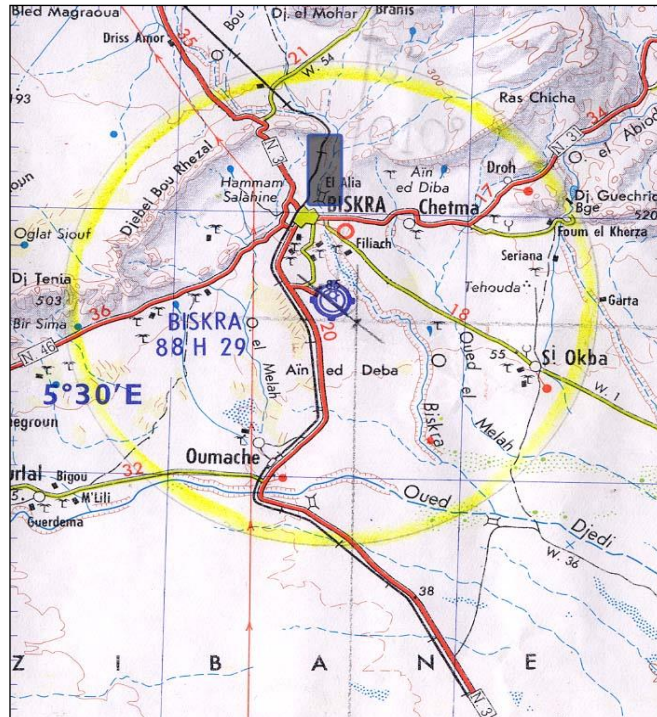


Figure III.1 : Situation de la nappe alluviale

III.2.1 Configuration et lithologie de l'aquifère

L'aquifère est de forme allongée et de direction générale nord-sud (figure III.2). 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.

Les limites géographiques de l'aquifère se rapportent au remblaiement actuel des terrasses des oueds. L'extension verticale de la nappe peut atteindre parfois 40 mètres, où l'on rencontre des grandes lentilles d'argiles quaternaires marquant le substratum local de la nappe. Cependant, la notion de substratum est discutable du fait qu'on passe par endroits directement à des niveaux de calcaires compacts.

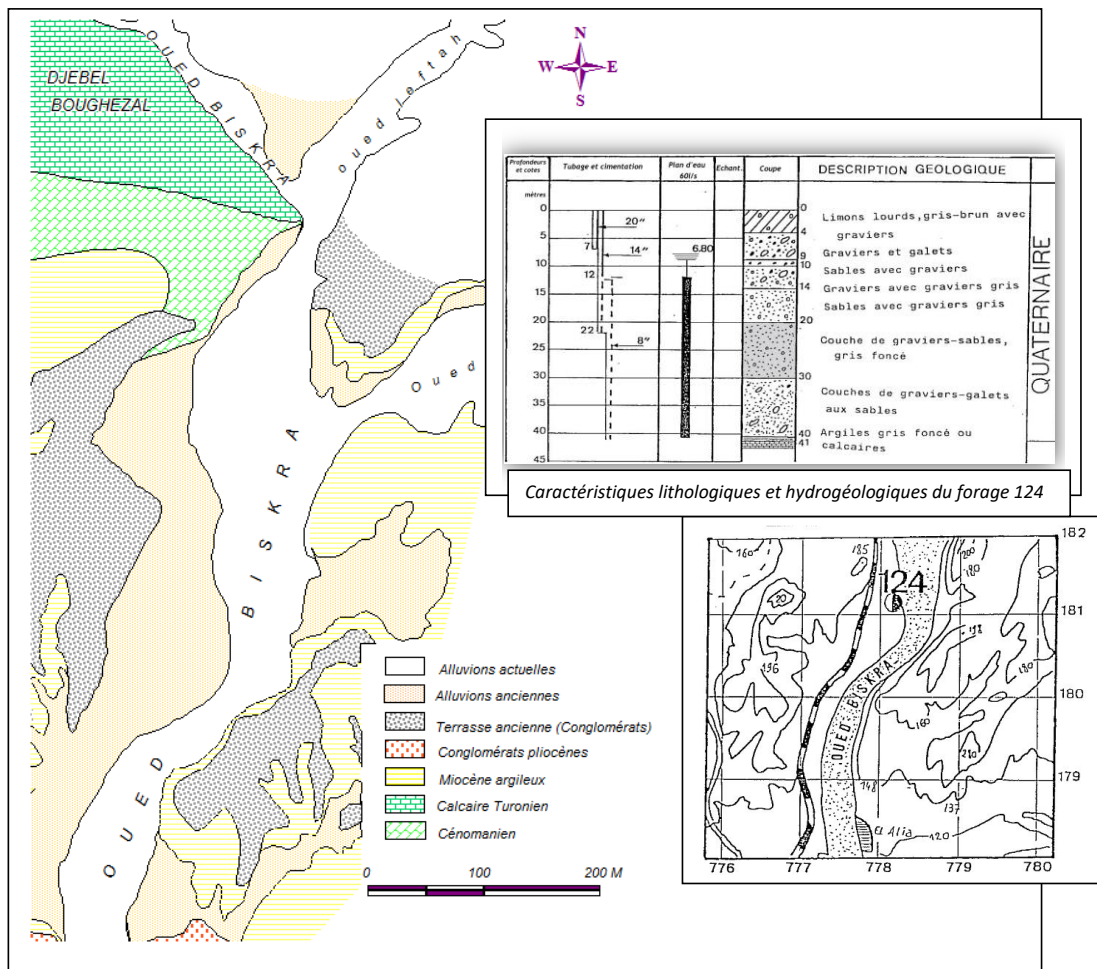


Figure III.2 : Esquisse géologique de la nappe alluviale

III.2.2 Lithologie de l'aquifère

Le Quaternaire se subdivise dans la région en trois niveaux différents :

- Les alluvions anciennes, qui sont constituées de galets et des formations conglomératiques, plaquées aux pieds des versants calcaires miocènes, limitent toute la dépression des Zibans.

- Les alluvions quaternaires des moyennes terrasses de l’oued Biskra, dont l’extension est importante, sont formées d’un assemblage de cailloutis, graviers et sables, occupent une altitude inférieure à celle des anciennes alluvions.
- Les alluvions récentes qui forment les basses terrasses de oued Biskra sont constituées de gros galets, graviers et sables résultant de l’érosion des massifs calcaires et dunaires limitrophes.

Ces matériaux d’origine crétacée, favorables à la formation de bons réservoirs d’eau, permettent d’importants prélèvements pour l’alimentation en eau potable de la ville de Biskra.

III.2.3 Historique de l’exploitation de la nappe alluvionnaire

Avant la mise en exploitation par pompage en 1954, le réservoir alluvionnaire de l’oued Biskra était le siège d’écoulements pérennes décrits par plusieurs observateurs. D’après le rapport de M. Duquesnoy ; 1955, la plus ancienne observation est due à M. VILLE (en mars 1861) qui avait estimé l’écoulement de la nappe à 300 l/s environ. L’ingénieur Duval en 1925 avait trouvé un débit de 200 l/s, pour la seule partie amont.

De 1950 à 1954, Duquesnoy fait état de nombreux jaugeages dont les résultats sont très variables (tableau III.1) et entachés de grandes imprécisions dans les mesures.

Tableau III.1 : Débit des sources avant les pompages d’après Duquesnoy (en l/s).

Année \ Source	1951	1952	Fev. 1953	Jun. 1953	Sep. 1953	Oct. 1953
Ras El Ma		93	94.5	84		90
Source de Filiache	30	18.8		56	53.5	54.5

Devant le développement de la ville de Biskra et l’augmentation de ses besoins en eau, le réservoir a été soumis à une exploitation par pompage à un débit de 300 l/s par quatre forages placés en travers du cours de l’oued et deux autres à l’amont.

Les pompages ont provoqué le tarissement des résurgences, et les observations sur les piézomètres ont montré que le niveau moyen de la nappe fluctue selon les apports entre 03 et 18m sous le sol, hauteur d’un niveau moyen correspondant à un nouvel état d’équilibre.

Le pompage n'a pas provoqué le tarissement du système et le niveau a retrouvé certaines années le niveau initial de l'écoulement.

Actuellement 14 forages captent les eaux de cette nappe et les débits exploités s'élèvent au total à 266 l/s, d'après l'entreprise de gestion des eaux de la wilaya «ADE».

III.2.4 Caractéristiques hydrodynamiques

Le réservoir de 5 km² de superficie se répartit approximativement en deux parties distinctes :

- A l'amont, une vaste zone d'épandage. Cette zone est large et comporte des transmissivités élevées. Elle constitue la partie la plus importante du réservoir (environ 3/5) et elle s'étend vers l'est, sans discontinuité jusqu'aux cluses amont de l'oued Besbes.
- A l'aval, le lit de l'oued se rétrécit principalement au niveau de la cluse miocène dans lesquelles sont implantés les forages d'exploitation. Cette partie est l'exutoire naturel de la partie amont. La barre pliocène ferme en partie le réservoir et joue le rôle de seuil de contrôle aval.

III.2.4.1 La piézométrie

La carte piézométrique élaborée par la SCET-COOP en 1967 (figure III.3), montre un écoulement de pente régulière affecté d'une importante dépression localisée au droit des ouvrages d'exploitation ; dépression aggravée par la proximité des limites du réservoir à cet endroit

La direction générale de l'écoulement est du Nord vers le Sud, les niveaux piézométriques varient de 155m en amont à 115m à l'aval.

III.2.4.2 La transmissivité

Les plus fortes transmissivités ont été observées à l'amont de l'aquifère et atteignent $6 \cdot 10^{-2}$ m²/s, elles diminuent sensiblement vers les berges à 10^{-2} m²/s.

Vers le sud, les valeurs maximales sont localisées au milieu de l'oued selon l'axe longitudinal ($2 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$) et diminuent vers les berges pour atteindre une valeur de $10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$.

Notons que ces transmissivités ne sont pas actualisées, et il est fort probable qu'elles aient diminué, suite à l'abaissement du niveau piézométrique général de la nappe.

III.2.4.3 La porosité efficace.

La quantité d'eau totale emmagasinée dans les 100 hm^3 d'alluvions dépend de la porosité totale de ceux-ci. La quantité d'eau disponible par pompage et renouvelable par apport 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.

Les calculs effectués sur les courbes des piézomètres de Biskra ont fourni une valeur moyenne de $\phi = 30\%$, soit pour un volume d'alluvions de 100 hm^3 , un volume emmagasiné d'eau exploitable de 30 millions de m^3 environ.

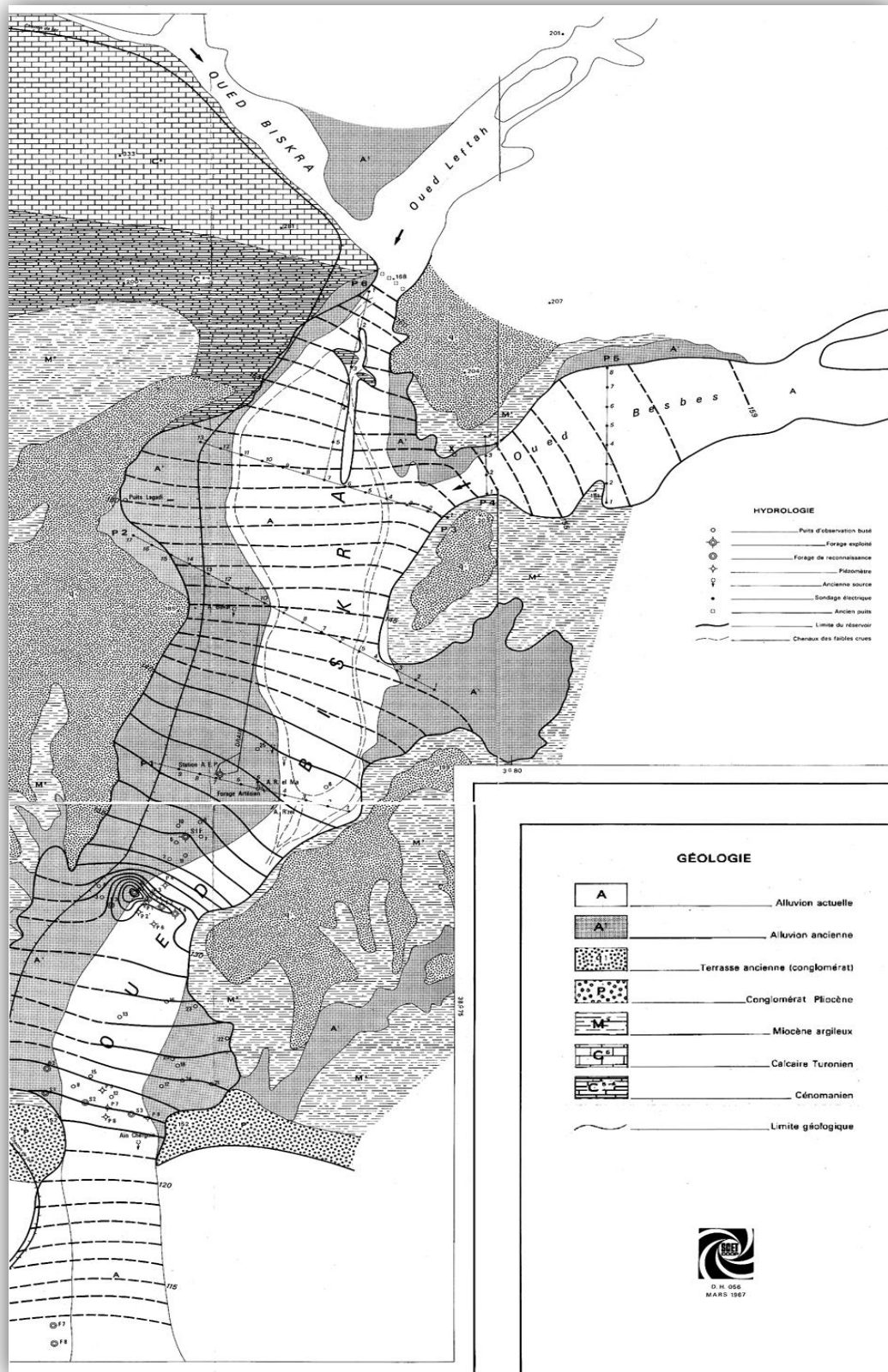


Figure III.3 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de l'oued Biskra (SCET-COOP, 1967).

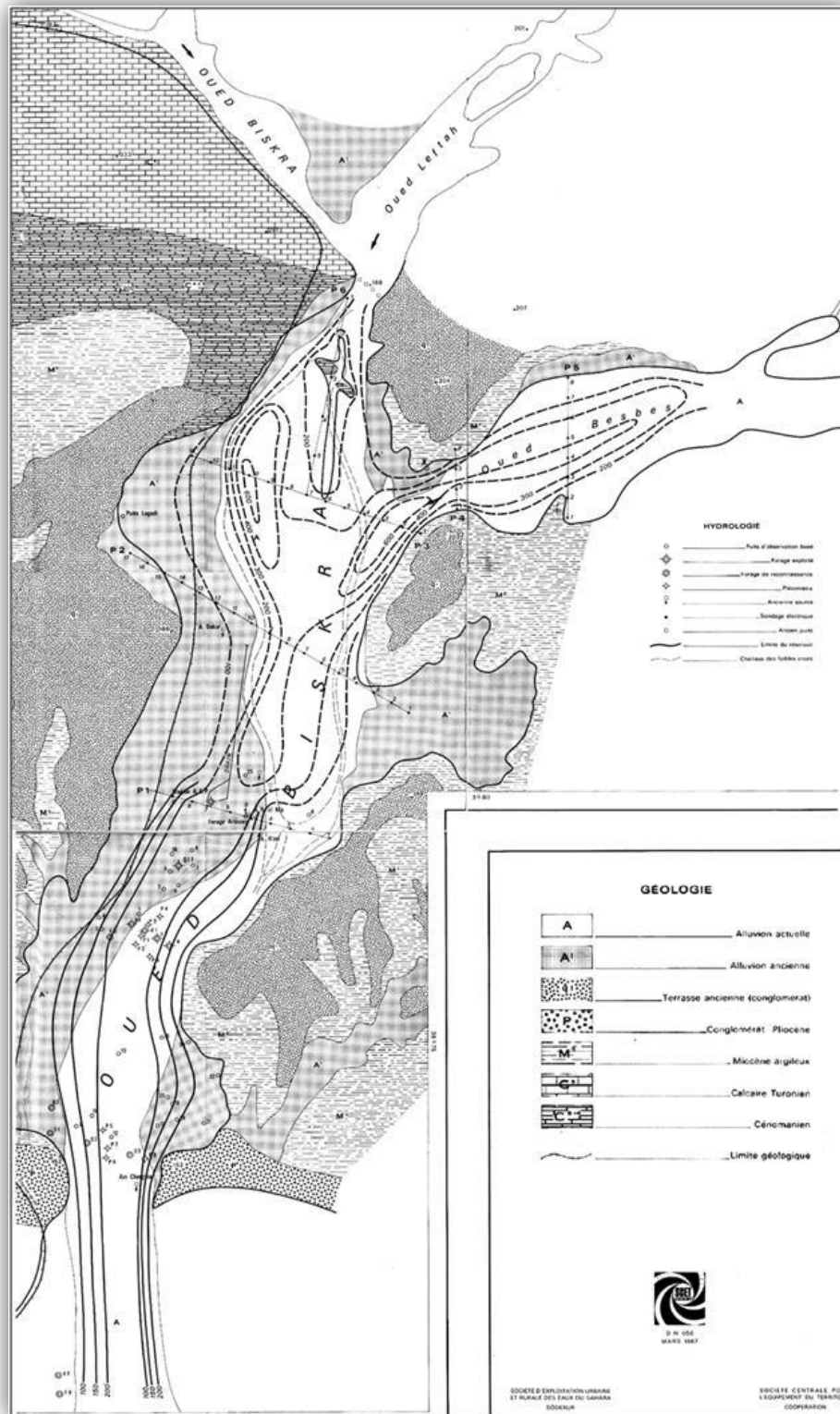


Figure III.4 : Carte en courbes d'iso-transmissivités de la nappe alluviale de l'oued Biskra (SCETCOOP, 1967).

III.2.5 Les écoulements

A l'image d'un climat capricieux, les cours d'eau alimentant la région de Biskra ont un écoulement périodique très irrégulier. Les oueds les plus importants prennent naissance dans les Aurès (versant Sud), où les précipitations sont de l'ordre de 400 à 500 mm/an.

L'irrégularité des écoulements des oueds, accentuée par la faiblesse (sinon l'absence) d'un équipement hydrométrique, rend extrêmement difficile la quantification des écoulements à différents niveaux des oueds.

En effet, les moyens dont nous disposons sont malheureusement très limités. Nous citerons à titre d'exemple la faiblesse des relevés hydrométriques, notamment sur l'oued Biskra (station d'El Melaga), à la confluence des deux oueds, nécessaire à toute étude hydrologique.

Les données obtenues le sont grâce aux stations limnimétriques situées en amont sur l'oued-El Haï à El Kantara et sur l'oued Abdi à Djemorah (tableau III.3). Mais elles seront évidemment loin d'être précises. Celles-ci constituent une approche des ressources disponibles.

Tableau III.2 : Stations hydrométriques des sous bassins versants étudiés

Station	Période (1)	Nombre d'année	Superficie (km ²)
El Kantara	1968-1978	10	1170
	1988-1993	5	
Djemorah	1971-1978	6	935
	1988-1993	5	
El Melaga	1972-1985	12	2880

III.2.5.1 La station d'El Kantara

La variabilité annuelle des débits est la même que celle des pluies, elle est matérialisée par la succession des années humides et des années sèches. Nous pouvons remarquer aussi que la notion de débit moyen annuel n'a qu'une signification théorique puisque les eaux superficielles sont soumises à de très fortes variations saisonnières, Les valeurs extrêmes sont le plus souvent observées en automne au mois d'octobre-novembre et au printemps au mois de mars-avril.

Concernant la première période d'observation (1968-78), l'oued El Hai, ainsi que ses affluents, a écoulé à la station d'El Kantara un débit moyen égal à $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$; soit $20 \text{ hm}^3/\text{an}$ sur une aire de réception de 1170 km^2 .

Pendant cette période, le débit maximum était de $17,52 \text{ m}^3/\text{s}$ en l'année 1969-70 pour des précipitations de $492,11 \text{ mm}$; le débit minimum de $2,51 \text{ m}^3/\text{s}$ en l'année 1977-78 pour une pluviosité de $70,44 \text{ mm}$.

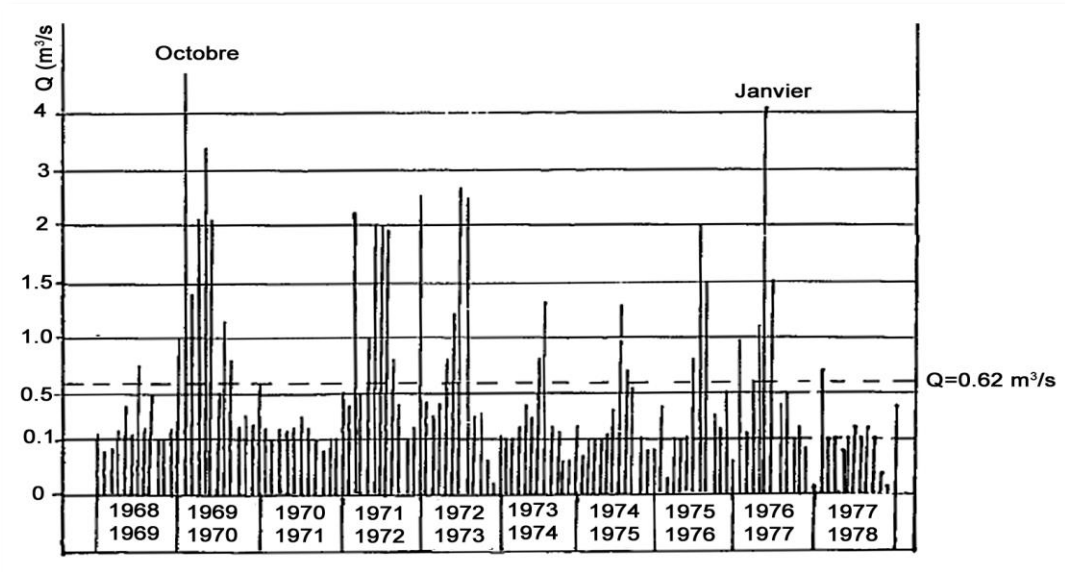


Figure III.5 : Débits mensuels mesurés à la station d'El Kantara (période 1968-78).

La deuxième période d'observation qui est de 1988 à 1993 (figure III.7), montre clairement que nous sommes en présence d'une période sèche puisque les débits mesurés ne dépassent que très rarement $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au mois de mars 1989 et au mois de novembre 1990 et sont respectivement de $2.17 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1.69 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit moyen est de $0.158 \text{ m}^3/\text{s}$.

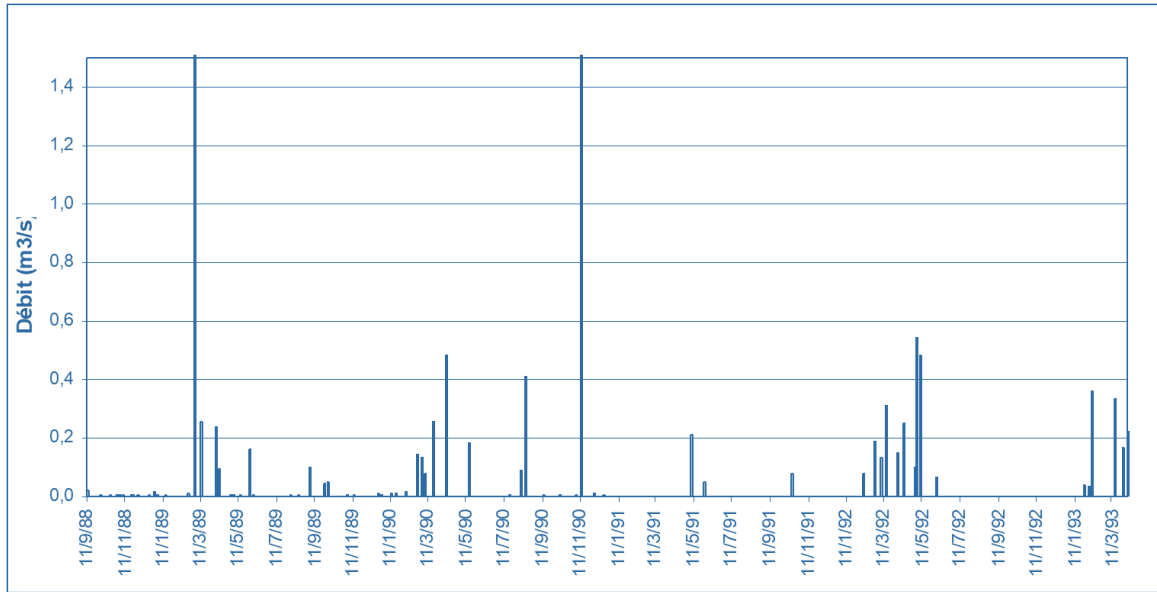


Figure III.6 : Débits mensuels mesurés à la station d’El Kantara (période 1988-93).

III.2.5.2 La station de Djemorah

L’exploitation des relevés effectués à la station de Djemorah au cours de la période 1971-78 fournit un débit moyen de $0.68 \text{ m}^3/\text{s}$; valeur très comparable à celle déterminée sur le sous bassin versant de l’oued El Haï.

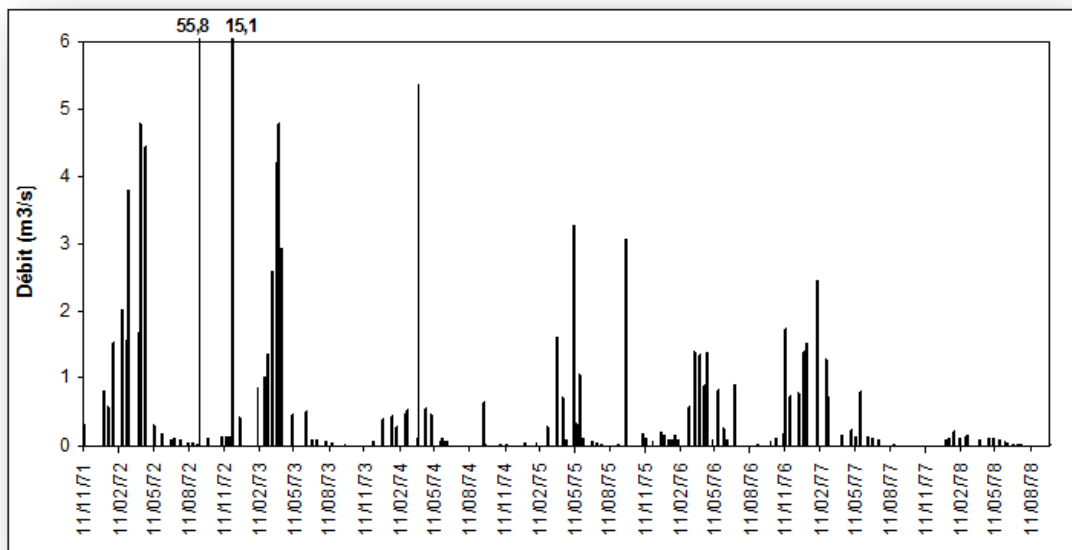


Figure III.7 : Débits mensuels mesurés à la station de Djemorah (période 1971-78)

III.3 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 Haï- 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.

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. Nous tenterons par conséquent dans cette partie de synthétiser le maximum d'informations concernant l'hydrogéologie de cette nappe.

Chapitre IV

*Suivi piézométrique de la
nappe alluviale de Oued
Biskra*

CONCLUSION GENERALE

Les mesures de niveaux d'eau sont à la base de toute étude hydrogéologique : porosité du sol, direction d'écoulement des nappes souterraines, surveillance des niveaux des nappes. L'information intéresse non seulement les différentes autorités, mais également les producteurs et distributeurs d'eau.

La mesure du niveau piézométrique est l'opération principale de l'inventaire de la ressource en eau souterraine. C'est pour cette raison qu'elle doit être menée d'une manière scientifique en utilisant des piézomètres spécialement conçus et équipés d'enregistreurs numériques.

Malheureusement, 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'Equipement du Territoire (SCET-COOP, 1967).

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, mêmes les nouveaux forages récemment réalisés ne sont pas équipés par des dispositifs de suivi et de surveillance.

Malgré la grande importance des piézomètres aucun dispositif n'a été installé dans ce champ de captage qui alimente une partie importante de la ville de Biskra en eau potable.

La campagne que nous avons menée, et pour des raisons techniques, s'est limitée à une courte durée (plus de deux semaines) et malgré ceci les résultats obtenus ont complètement dépassé nos espérances, puisqu'ils ont mis en évidence plusieurs phénomènes hydrogéologiques, à savoir :

- ✎ Une augmentation du niveau de la nappe de 1 mètre, attestant une alimentation de l'aquifère après la période pluvieuse qu'a connu la région.
- ✎ Une zonalité dans cette augmentation, puisqu'elle s'est faite d'une façon différente d'un endroit à un autre de la nappe.
- ✎ Une alimentation de la nappe par des eaux chaudes avec des températures de 31°C.
- ✎ Une infiltration des eaux de crues quoique très inférieure à l'alimentation par les eaux profondes appartenant à des aquifères profonds.

Nous espérons que cette étude a contribué à la compréhension du comportement de la nappe alluviale de oued Biskra et les résultats obtenus serviront pour une étude sur une long période de suivi, afin de mieux connaître le mode d'alimentation de cet aquifère d'une manière plus précise.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

A.R.M.I.N.E.S (rapport), (1975) : Modèle de gestion et de mise en valeur des nappes aquifères du complexe terminal « Oued Rhir- Souf – Ouargla ». Ecole des mines de Paris.

Busson G, (1972) : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional par UNESCO Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation .VOL 5.

Cornet. A. (1961) : Initiation à l'hydrogéologie Saharienne. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires Sahariennes. Service des études scientifiques. Birmandreis, Alger, 1961,108p.

DEMRRH , (1980) : Notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra, Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, Service hydrogéologique .

ERESS, 1972. Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. UNESCO, Paris. (7 Vols. and Annexes).

Nesson C. (1975) - L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas-Sahara algérien. *In : Recherche sur l'Algérie*, Mémoires et Documents, vol. 17, Édité. CNRS, Paris, p. 7-100.

Nesson, (1978) : L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du bas Sahara algérien. Recherches sur l'Algérie. Edition CNRS Paris. Pages 68 – 75.

Maurice CASSAN (1980) – les essais d'eau dans la reconnaissance des sols Edition EYROLLES Paris. Pages 07-11 ; 149-150 ; 158-162.

Oued Biskra Eaux Souterraines - Etudes des Ressources Exploitablees sur Analyseur Electrique à Réseau R.C , mars 1967.

Guide d'Utilisation du Produit TD-Diver™ & Baro-Diver – Série DI8xx.

Manuel du Diver.

DIRECTIONS

Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Biskra (DRE)

Algérienne des Eaux (ADE) Agence de Biskra.

ANRH - Biskra

SITE INTERNET

<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-reaction-chaine-4078/>