

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Ref :.....

Centre Universitaire de Mila

Institut des Sciences et de Technologie Département de sciences et Techniques

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
LICENCE ACADEMIQUE
En Hydraulique
Spécialité : Sciences Hydrauliques

Thème :

Étude de l'écoulement souterrain d'eau

Préparé par :

- ❖ MansouriOussama
- ❖ ChebbahAmira
- ❖ KerdounIness
- ❖ LatrecheAmira

Dirigé par :

Dr. M.Bensouici

Année universitaire : 2013/2014



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ
كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ

صدق الله العظيم



Remerciement

Chaque pas dirigé vers l'avant, c'est grâce à Dieu tout puissant que nous le devons.

En premier lieu nous tenons beaucoup à remercier dieu qui nous a offert la volonté de poursuivre nos études, Ensuite nous souhaite témoigner toute la gratitude à nos parents, qui nous ont tout au long de ces années, fournit les moyens nécessaires pour mener à bien nos études.

Nous exprimons nos remerciements à Monsieur ***M.Bensouici*** encadreur de ce mémoire pour la confiance qu'il a placée en nous, pour son aide et son soutien permanent.

Enfin nous remercies tous nos amis et nos collègues, tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de la Mémoire.

الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(قل أعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون) صدق الله العظيم

الهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلى بطاعتك. ولأطيب اللحظات إلا بذكرك ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك
ولا تطيب الجنة إلا برويتك الله جل جلاله
إلى من بلغ الرسالة وأدى. إلى نبي الرحمة ونور العالمين
سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

في مثل هذه اللحظات يتوقف اليراع ليفكر قبل أن يخط الحروف ليجمعها في كلمات فتتبعثر الأحرف وعبثاً أن يحاول
تجميعها في سطور لنشكر الدين كانوا إلى جانبنا
فواجب علينا شكرهم ووداعهم ونحن نخطو خطوتنا الأولى في غمار الحياة..

إلى من جرع الكأس فارغاً ليسقيني قطرة حب إلى من كَلَّتْ أنامله ليقدّم لنا لحظة سعادة إلى من حصد الأشواق عن
دربي ليمهد لي طريق العلم إلى القلب الكبير إلى أبي الشريف

إلى عنوان العطف والحنان إلى رمز الحب وبلسم الشفاء قلبي أمي الغالية فريدة
إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البرينة إلى رياحين حياتي إخوتي الأعزاء مريم هاجر و سارة

إلى كل فرد من أفراد العائلة الكريمة منصور

إلى من يطيب خاطر بوجودهم مليكة رؤى بلال و محمد

إلى صديقي العزيز ياسر

إلى الأخوات اللواتي لم تلدهن أمي .. إلى من تحلو بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء إلى ينابيع الصدق الصافي أميرة
إيناس أميرة

أسامة

Dédicaces

Je dédie cette mémoire de la fin d'étude à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite ma mère Naima, à mon père Abdelhamid, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger. À mes enseignants.

À ma seule sœur : Rokia. À mes frères : Idriss et Haroun et Moussa.

À mes amies : Iness et Mériam et Chahinez. À tous ceux qui me sont chères.

À tous ceux qui m'aiment. À tous ceux que j'aime. Je dédie ce travail.

C. Amira

Dédicace

Je tines à dédier ce modeste travail à tous ceux qui me
sont chers

Ma très cher mère HASSINA pour qui je n'oublierai
jamais leur grande Affection leur soutien et leur
encouragements et mon précieux père

A mon très cher frère IMRANE

A ma très chers sœurs KHAWLA et DJOHAINA

A mon Intime Amira

A mes consort Amira et Oussama.

INESS

Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "Ya Kayoum"

Je dédie ce modeste travail

A ma chère mère : *boumlite nadia*

Et mon cher père : *latreche laïd*

A mes frères et mes sœurs

En particulier : *Sara, yahia, kanza, ayoub, loukmen.*

A mes oncles et mes tantes

La famille : *Latreche*

A mes chers amis : *Oussama, Amira, Iness*

A tous mes amis de troisièmes années hydrauliques

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou loin pour réaliser ce modeste travail

L. Amira

Sommaire

Remerciement et Dédicace

<u>Introduction générale et objectif du travail</u>	2
---	---

Chapitre I : L'hydraulique et ses applications

I.1	Définition.....	6
I.2	Les applications de l'hydraulique	8
	a. L'hydraulique agricole	8
	b. Hydraulique fluviale.....	8
	c. Hydraulique urbaine.....	9
	d. Les aménagements hydroélectriques.....	10
	e. L'hydraulique maritime.....	10
	f. L'hydraulique souterraine	11

Chapitre II : Recherche bibliographique

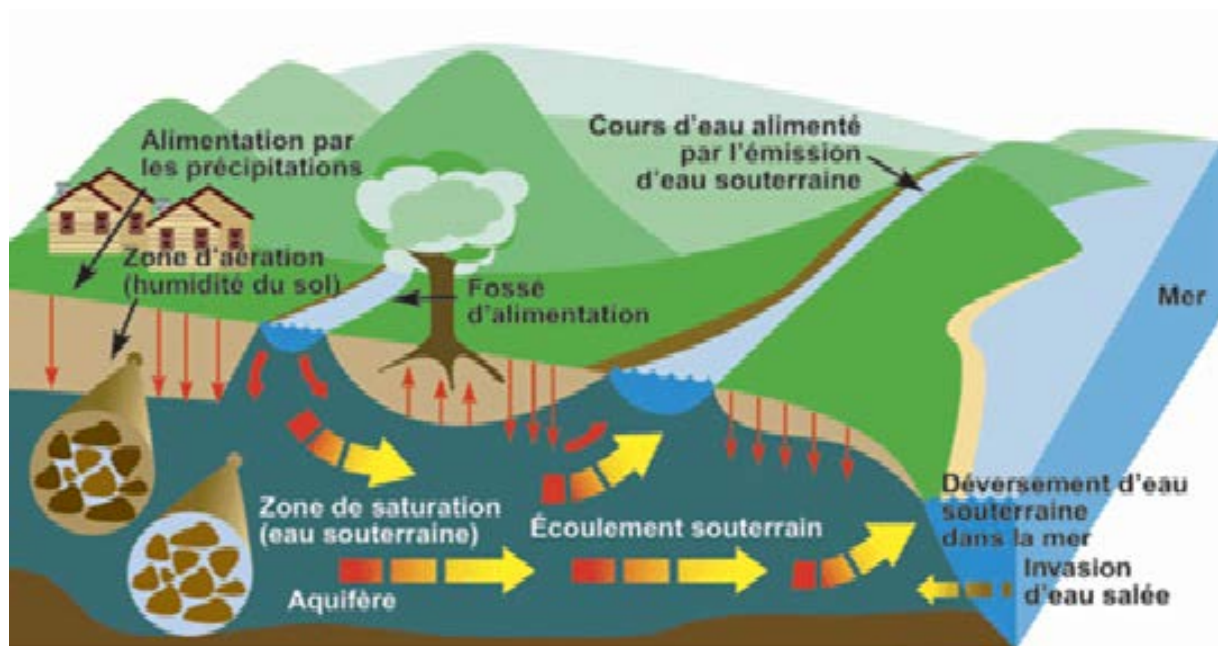
Recherche bibliographique	13
<u>Conclusion générale</u>	26
Référence	29

Introduction générale et objectif du Travail

Introduction générale et objectif du travail

L'eau souterraine est une eau qui s'accumule sous terre que ce soit dans les zones saturées ou non saturées. Elle peut exister dans les espaces entre les particules libres de la terre et des roches, ou dans les fissures et les crevasses des roches. Le débit dépend de la qualité du sol et de la porosité et de la perméabilité, comme l'eau se déplace librement dans les sols et les roches à haut perméabilité et lentement dans des couches d'argile à faible perméabilité.

L'écoulement souterrain d'eau est un concept qui se réfère au milieu de circulation de l'eau il correspond aux contributions des aquifères d'un bassin à l'écoulement total, donc au débit de l'ensemble des nappes souterraines dont les exutoires sont situés dans le bassin versant considéré, (**voir figure**).



L'eau souterraine est une source importante de distribution dans le monde entier, représente 90% de source d'eau accessibles d'après les nations unies, utilisée principalement pour la consommation humaine tel que 1.5% milliard d'êtres humains en dépendent pour s'approvisionner en eau potables, utilisée aussi dans les activités industrielles et en agriculture, et à beaucoup d'autres utilisations.

L'eau souterraine n'est pas statique elle est en perpétuel mouvement et se circule dans les pores et les fissures des roches ; on parle alors de roches réservoirs ou d'aquifères.

Les aquifères sont composée de deux parties :

Une zone non saturée :

L'eau ne remplit pas l'intégralité des pores et se trouve en mouvement permanent, vers la surface (la capillarité fait remonter l'eau vers la terre végétale comme un buvard) et vers les profondeurs (pesanteur).

Une zone saturée :

Qui renferme la nappe, l'eau remplit tous les pores et s'écoule dans le sous sol sur la couche imperméable, en suivant la topographie sur plusieurs dizaines centaines de Kilomètres. L'eau souterraine peut resurgir à la surface du sol formant une source à l'origine d'un cours d'eau.

Les nappes d'eau souterraines sont de l'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées.

Leurs deux propriétés, **la porosité** (pourcentage de vide dans la roche) et **la perméabilité** (capacité à laisser circuler l'eau) les répartissent en trois types :

Poreux : l'eau s'accumule et s'écoule dans les interstices de la roche, meuble (sable, gravier) ou consolidée (grés, craie).

Fissuré : les roches cristallines, les laves calcaires non karstifiées... Sont très peu poreux. L'eau est contenue et circule dans les failles ou les fissures de la roche.

Karstique : les terrains calcaires ou crayeux sont organisées en un réseau de drainage souterrain dont une partie des vides élargis par la dissolution. Peut atteindre la taille de gouffres et de cavernes.

L'eau peut s'écouler à travers tous les sols mais le phénomène d'écoulement à une intensité très variable d'un sol à un autre. Cette intensité varie en fonction des vides entre les particules du sol et les frottements contre ces particules.

Dans notre cas nous étudierons l'écoulement en milieu saturé avec un mouvement de l'écoulement très lent de sorte à ce qu'il reste laminaire et en régime permanent. Cet écoulement a été étudié par Darcy par le biais d'une expérience où une colonne de sol représentant un échantillon de sol est traversée par un écoulement d'eau permanent. Les

résultats de cette expérience font ressortir que le débit Q à travers la colonne du sol est proportionnel à la surface S et à la perte de la charge hydraulique ΔH , et inversement proportionnel à la longueur de la colonne L .

Avec:

$$I = \frac{h_2 - h_1}{l}$$

I : Gradient hydraulique (perte de charge par mètre de longueur).

S : Section de la colonne.

K: Coefficient de proportionnalité appelé coefficient de perméabilité ou conductivité hydraulique cette constante est fonction du milieu poreux.

$V = \frac{Q}{S}$: Vitesse apparente de filtration.

La loi de Darcy est exprimée pour un régime laminaire il est donc clair que cette loi ne peut être valable que dans les limites d'un certain domaine. Ainsi dans l'expérience de Darcy si l'on augmente le gradient des pertes de charge progressivement on constate que la linéarité de la courbe du gradient de charge en fonction de la vitesse apparente n'est plus vérifiée. D'après des études expérimentales effectuées sur ce problème il apparaît que la loi de Darcy reste valable pour des valeurs du nombre de Reynolds comprise entre [1 et 10].

L'eau souterraine n'est pas à l'abri de la pollution de surface puisqu'elle est en grande partie renouvelée par les eaux de pluies qui tombent en surface et qui s'infiltrent à travers le sol jusqu'à la nappe phréatique, emportant avec elle certains produits très solubles tels que les nitrates. Pour cela l'eau souterraine doit être protégée de toute pollution, car elle acheminera les contaminants et polluants des terres vers les lacs et les cours d'eau.

L'étude des eaux souterraines est essentielle pour les ingénieurs qui construisent des barrages, des tunnels, des aqueducs de transport d'eau, des mines et d'autres ouvrages.

Notre objectif est l'étude d'écoulement souterrain d'eau.

La mémoire se compose de deux chapitres :

- **Chapitre I** : Hydraulique et ses applications.
- **Chapitre II** : Etude bibliographique sur l'écoulement souterrain d'eau.

Chapitre I :
L'hydraulique et ses applications

Chapitre I : L'hydraulique et ses applications

I.1.Définition :

L'hydraulique a pour racine le mot grec hudor (eau), elle désigne la branche de la physique qui a pour objet l'étude de l'écoulement des liquides et des problèmes mécaniques posés par l'utilisation de l'eau.

Plus anciennement, l'hydraulique est la science qui enseigne à mesurer, à diriger et à élever les eaux, les machines hydrauliques désignaient principalement les pompes employées à cet effet.

L'hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes, chute, cours d'eau, marée, dans un système industriel elle se traduit par la transmission des forces par un liquide vers les récepteurs.

Elle désigne deux domaines totalement différents hormis que chaque domaine implique un liquide. Ces deux domaines sont :

- les sciences et les technologies de l'eau naturelle et ses usages : hydrologie, hydraulique urbaine, hydrogéologie.
- les sciences et les technologies de l'usage industriel des liquides sous pression:hydromécanique, oléo hydraulique , pompe oléo hydraulique, presse hydraulique, machine hydraulique

L'hydraulique a une longue histoire tel que dès l'antiquité et 4000 ans avant l'ère chrétienne, de nombreux témoignages de l'existence d'ouvrage hydraulique notamment :

En **Egypte** des ouvrages d'irrigation et des canaux d'assainissement de la vallée du Nil ont été découverts.

En **Iran** et au moyen orient, des galeries souterraines de captage des nappes de faible profondeur pour les besoins d'irrigation.

En **Afrique du nord**, les foggaras des oasis sahariennes.

L'hydraulique de l'antiquité reste un art sans aucune base scientifique pour cela les scientifiques ont cherché à développer l'hydraulique en améliorant les outils mathématiques et les notions de la mécanique.

On ne considère que le premier ouvrage scientifique consacré aux problèmes de l'hydraulique et le traité des corps flottants par **Archimède**(287-212 av. J-C).

Léonard de Vinci, savant universellement connus (1452-1519) écrivit un ouvrage intitulé “ Sur le mouvement et la mesure de l'eau ”.

G.Galillée (1564-1642) examina les lois principales sur la chute des corps.

Evangelista Torricelli (1508-1647) élève de G.Galillée, applique les lois du maître au mouvement des liquides.

Blaise Pascal (1623-1662) apporta ainsi une très importante contribution à l'hydraulique en donnant la forme définitive de l'hydrostatique.

Newton (1642-1727), formula en 1668 l'hypothèse sur le frottement interne dans le liquide.

Cependant l'apparition de l'hydraulique en tant que science avec une base théorique solide n'est devenu possible qu'après les ouvrages de : **Daniel Bernoulli**(1700-1782), qui publia en 1738 son ouvrage “Hydrodynamique” dans lequel il exposa une équation appelée l'équation de Bernoulli.

Léonard Euler (1707-1783), qui fonda définitivement la science de l'hydrodynamique et les équations qui régissent l'écoulement d'un fluide non visqueux.

Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) qui développa largement les travaux d'Euler.

Pierre-Simon Laplace (1749-1827) contemporain de Lagrange développa surtout la mécanique céleste.

Osborne Reynolds (1842-1912) dont l'apport dans l'étude du mouvement laminaire et turbulent.

Cette science maintenant étant ses frontières au delà de son domaine traditionnel. La recherche hydraulique se développe très largement dans les laboratoires industriels et universitaires. Aux outils traditionnels tels que les essais sur modèles réduits, sont venues s'ajouter les techniques de simulation numérique sur ordinateur, Cette harmonisation, de même que la complémentarité de plus en plus grande qui existe entre techniques numériques et techniques physiques de laboratoire, est sans doute le trait essentiel de l'hydraulique.

I.2. Les applications de l'hydraulique

L'hydraulique est utilisée dans de nombreux domaines, la plupart du temps concurremment avec d'autres techniques (résistance des matériaux, mécanique des sols, géologie, météorologie, etc.), parmi les quelles on cite :

a. L'hydraulique agricole :

Consiste à fournir de l'eau pour les cultures et suppose la recherche et la captation de l'eau, son stockage (barrages pour l'irrigation), sa distribution (canaux, pompage, comptage), son utilisation (ruissellement, aspersion, submersion...) et le réglage du niveau de la nappe phréatique (drainage, recharges), **(voir figure)**.



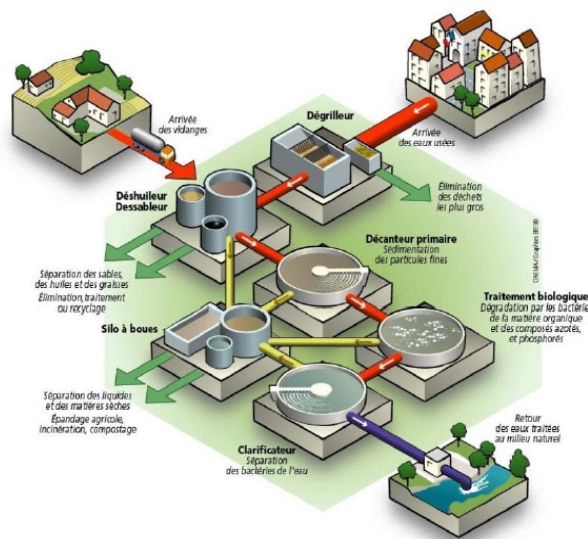
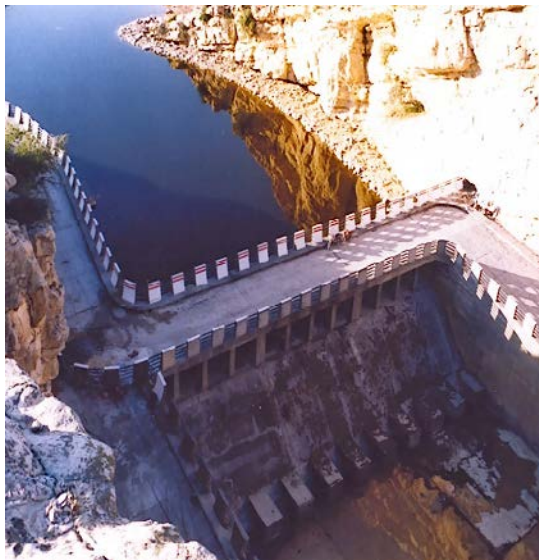
b. Hydraulique fluviale :

A pour objet l'étude de l'écoulement des crues et la protection contre les inondations (certains fleuves comme le Gange, l'Amazone, échappent encore totalement à la maîtrise de l'homme et continuent à défier la technique). Elle intervient dans l'étude des canaux de navigation, le calibrage des rivières pour la protection des berges et le maintien d'un chenal navigable, l'étude des ouvrages de navigation intérieure (barrages, écluses), **(voir figure)**.



c. Hydraulique urbaine :

Visée à fournir de l'eau aux villes et à évacuer les eaux usées, elle exige de résoudre de nombreux problèmes d'hydraulique qui vont de la recherche de l'eau (puits, captages, prises en rivière, etc.), à l'adduction d'eau (conduites, aqueducs, canaux), à l'épuration et au traitement des eaux, à la distribution d'eau (stations de pompage, comptage), à l'évacuation (réseaux d'égouts) et au traitement des eaux usées, (**voir figure**).



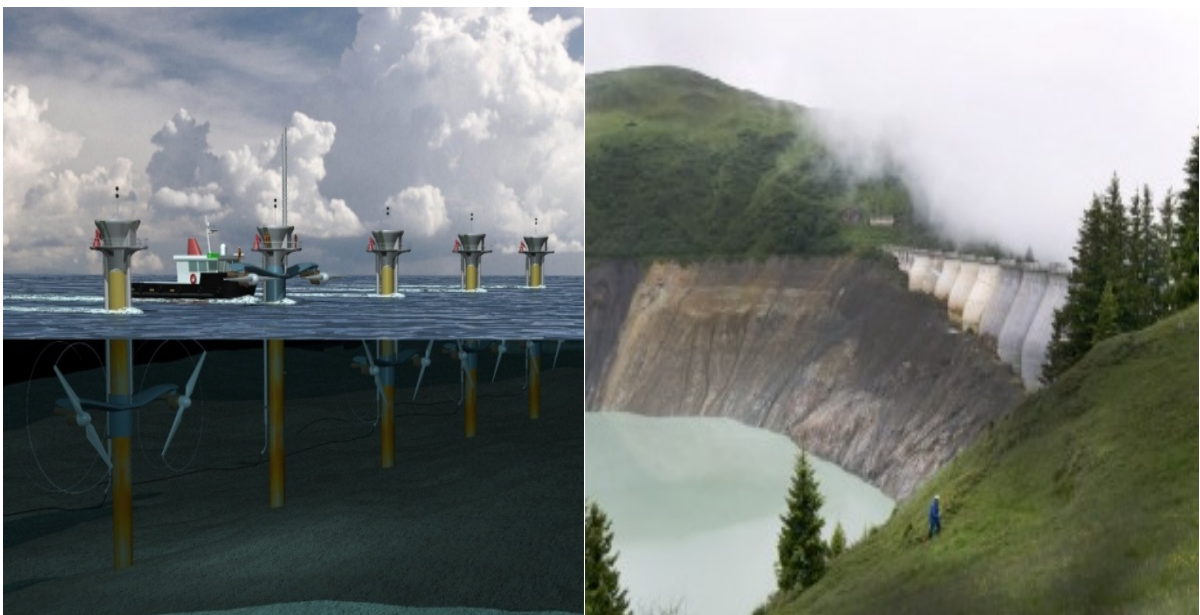
d. Les aménagements hydroélectriques :

Les aménagements hydroélectriques posent des problèmes hydrauliques divers. Ils concernent les prises d'eau, les barrages, les vannes, les conduites et galeries d'amenée ou de fuite, les cheminées d'équilibre, les évacuateurs de crues, etc. **(voir figure).**



e. L'hydraulique maritime :

Doit envisager la protection des ports contre la houle, l'étude de la stabilité des digues et des jetées, la lutte contre l'érosion des plages, L'ensablement des entrées de ports, l'envasement des bassins et l'étude des courants de marée, **(voir figure).**



f. L'hydraulique souterraine :

Fait partie d'un domaine plus vaste, constitué par l'étude générale des fluides dans les milieux poreux. Les applications sont très nombreuses. Citons entre autres: les écoulements de nappes souterraines, les bilans hydrologiques, l'étude des puits et des forages, l'infiltration sous les ouvrages, la stabilité des digues en terre, l'irrigation et le drainage, la diffusion de la pollution dans les nappes souterraines, **(voir figure)**.



Chapitre II :

Recherche Bibliographique

Chapitre II : Recherche Bibliographique

L'eau souterraine est parmi les ressources naturelles les plus importantes du tout et un facteur clé qui sous-tend la vie humaine et de ses diverses activités, c'est ce qui a conduit les scientifiques et les chercheurs de mener plusieurs études sur les eaux souterraines, où ils étudient la source de l'eau et comment s'écouler à travers un milieu poreux, et faire des recherches sur la qualité des eaux souterraines et les facteurs menant à la contamination. Parmi ces études, nous prenons les recherches suivantes menées par plusieurs chercheurs dans les différents lieux :

H.Daghari et al [1] ont présenté une étude sur le transfert d'eau dans un milieu poreux non isotherme. Les transferts d'eau dans le sol sont généralement, pour des raisons de facilité, supposés se dérouler dans des conditions isothermes. Les modèles proposés couplant les transferts hydriques et thermiques se heurtent aux difficultés inhérentes à la détermination des coefficients de transfert. Disposant de l'évolution de la température, de la succion et de la teneur en eau dans les profils du sol de lysimètre, une comparaison portant sur l'importance des gradients hydriques et thermiques dans le transfert d'eau en phase liquide et vapeur a été menée.

M.Saïd.Bir [2] a réalisé une étude en éléments finis de l'influence des variations dans l'espace des propriétés du sol sur la prédiction du chemin de l'écoulement.

Deux séries de cinquante (50) calculs ont été effectuées. Elles représentent deux cas d'analyse. D'abord la variabilité des propriétés des sols est aléatoire dans tout le sol (cas statistiquement homogène). Ensuite, la variabilité des propriétés des sols est supposée unidimensionnelle (valeurs uniformes dans chaque plan horizontal) : le milieu est divisé en couches et les propriétés K_{sat} et θ_{sat} varient d'une couche à une autre et sont constants dans une même couche.

Les résultats de ces deux séries de calculs ont été analysés en termes de variabilité de charges hydrauliques pour le problème de l'écoulement et de concentrations pour le problème de transport pour montrer l'influence de la structure de la variabilité du sol.

M^r. KaziTaniHychemAbdesselem[3] a effectué une étude du transport en suspension dans un milieu poreux au laboratoire, les travaux effectués dans ce mémoire concernent deux formation sableuses différentes de caractéristiques physiques (porosité, perméabilité, volume poreux). Et aussi deux types de traceurs en suspension (particules d'argiles et la chaux).

Les particules en suspension sont impliquées dans de nombreuses problématiques, tels que les ouvrages hydrauliques, l'exploitation des ressources souterraines (hydriques et pétrolière), le transport de ces dernier dans l'eau peut être un vecteur de contaminant ou de freins par leur dépôt (colmatage des pores).

Les études expérimentales du transport en suspension et leurs dépôts dans notre colonne expérimentale, ont été effectuées dans un régime laminaire. L'interprétation des résultats de traçage obtenu en utilisant l'équation convection-dispersion de premier ordre ; nous à permis de déterminer les différent paramètres hydrodispersifs. Les différentes vitesses d'écoulements utilisées et la taille des particules sont des paramètres qui influent sur le transport et le dépôt. Le taux de restitution est fonction de la vitesse d'écoulement et la porosité du milieu.

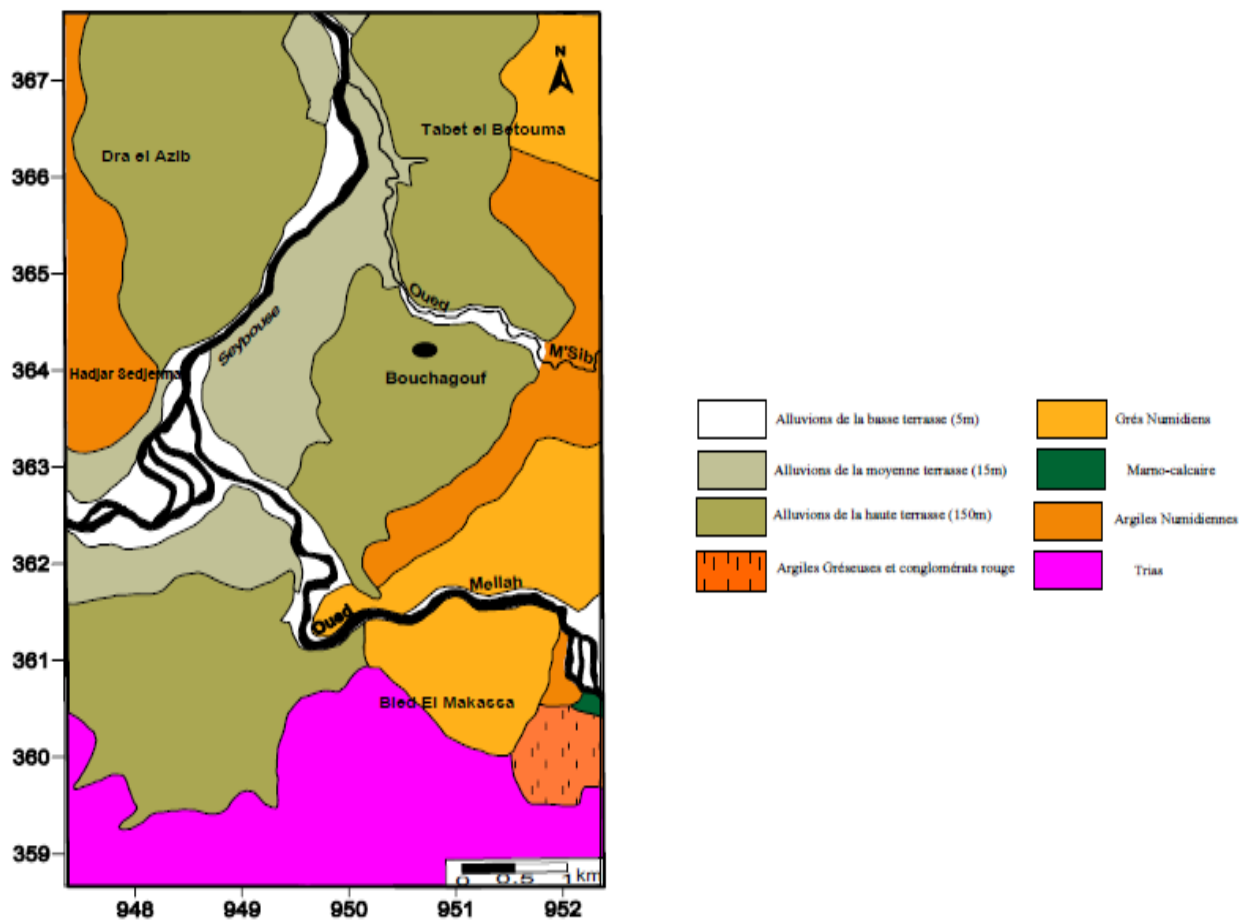
S. Bougoul et al [4] ont fait une étude d'un écoulement dans un milieu poreux saturé utilisé en Substrat de Culture. Un modèle numérique d'écoulements de solution saline dans un milieu poreux saturé, représentant le substrat de culture parallélépipédique, a été développé pour rendre compte des résultats de visualisations par colorants et prédire l'évolution de la concentration de la solution en chaque point du substrat. Une superposition de puits et de sources a permis de traiter analytiquement le problème de Darcy correspondant à une injection ponctuelle et un point de drainage localisé et elle a donné une illustration des lignes de courant, du champ de vitesse ainsi que la forme du bulbe d'irrigation. Pour interpréter le phénomène de l'élution de la solution ancienne par l'apport de solution nouvelle, l'équation de Navier-Stokes associée à une équation de dispersion a été résolue.

Tabouche N. et al[5] a présenté une étude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien. Le principal objectif de cette étude est de donner un aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines du Sahara septentrional algérien. Grâce à un échantillonnage suffisamment représentatif de la nature des eaux de la région orientale. Ils ont choisi de prélever des échantillons à chaque niveau Aquifère exploité (nappe phréatique, nappe des sables ou du Mio-Pliocène, nappe des calcaires ou du Sénonien et nappe Albienne). La conductivité et la température ont été mesurées in situ chaque fois qu'il a été possible, après ils ont effectué les analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux au sein du laboratoire Qualité et traitement des eaux souterraines et de surface.

Les principes résultats que nous avons obtenus à partir de cette étude :

Les eaux de cette région sont caractérisées par une minéralisation totale excessive, le plus souvent associées à une dureté élevée et des concentrations élevées en fluorures, tel qu'il existe un excès en ions fluorures dans les eaux de nappes les plus exploitées. Les conductivités sont variables selon la région considérée et diminuent avec la profondeur de l'aquifère en allant de la nappe phréatique vers la nappe Albienne, les teneurs les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quelque soit la région considérée. Concernant la nappe des sables et des calcaires, les teneurs dépassent dans tous les cas la norme de potabilité.

W.Chaoui et al[6] ont fait une étude de la qualité des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchagouf à partir du calcul des indices de pollution, (**voir figure**). Deux cartes illustrant la qualité des eaux ont été élaborées en se basant sur 10 points de prélèvements couvrant l'ensemble de la zone d'étude. Elles concernent les 2 périodes de basses et hautes eaux pour l'année 2007. Ses résultats indiquent que la pollution n'est pas verticale. La qualité des eaux est bonne à très bonne ($4 < \text{Lisec-Index} < 6$) pour l'Oued Seybouse et l'Oued Mellah en période des hautes eaux. Par contre en période des basses eaux, la qualité devient mauvaise avec des $\text{IPO} < 2$.

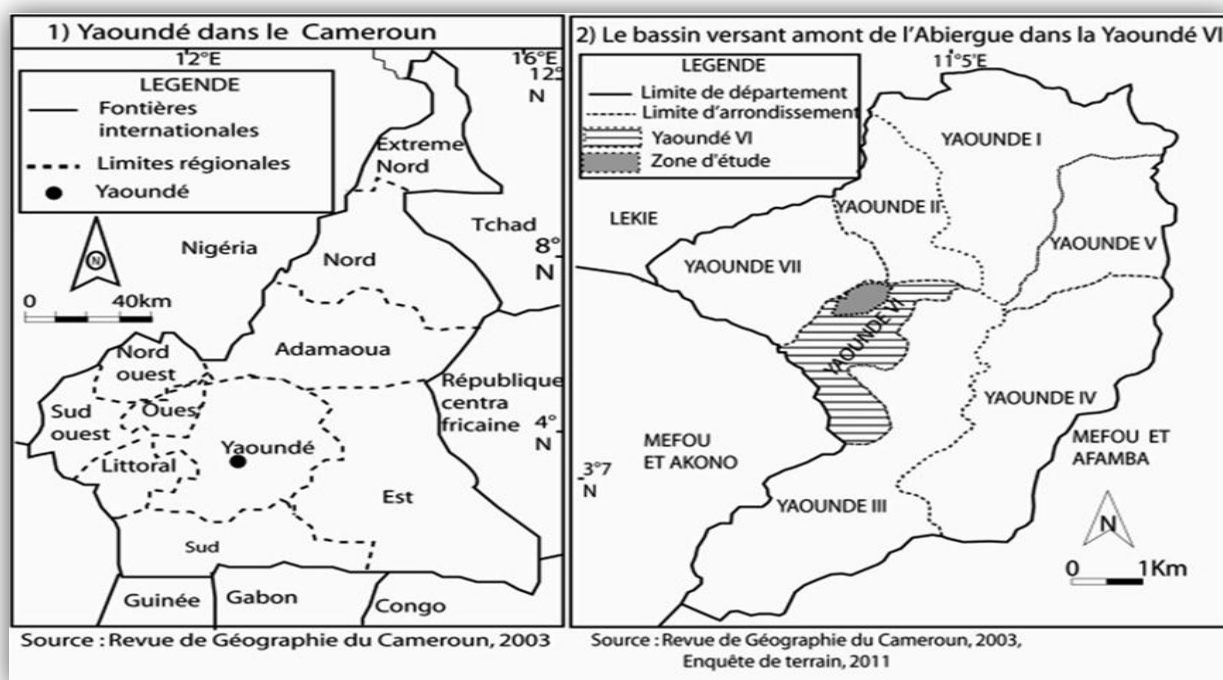


F. Baali et al [7] ont réalisé une étude sur qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-aride. Cas de la cuvette de Chéria(NE Algérien), (**voir figure**). Le présent travail, tente après une analyse de la situation actuelle du terrain, de mieux cerner les caractéristiques du complexe aquifère et les risques de pollution des eaux souterraines du plateau de Chéria. Cette étude est basée sur l'élaboration de l'inventaire des sources de pollution en tenant compte de plusieurs facteurs, tels que la contamination par les eaux usées et l'élevage des animaux, ainsi que des conditions climatiques. L'exploitation des eaux souterraines à partir des aquifères carbonatés est à présent la seule ressource pour répondre aux besoins en eau pour la consommation humaine, industrielle et agricole dans la région. Les résultats de cette étude montrent l'existence d'une dépression du niveau piézométrique et des concentrations élevées en nitrates dues aux activités anthropiques. Des valeurs de 80 à 120mg/l ont été obtenues dans de nombreux puits captant la nappe.



NgantiNdzanayvette[8] a fait une étude diagnostique de l'état de pollution des eaux souterraines de l'îlot de Nkolbikok– Yaoundé – Cameroun, (**voir figure**). Les investigations suivantes ont été effectuées : (1) le recensement exhaustif des puits et sources naturelles utilisés par les ménages pour satisfaire leurs besoins en eau, (2) la perméabilité des sols, (3) l'analyse physico-chimique et bactériologique de trente (30) points d'eau afin d'en évaluer la qualité.

Les résultats révèlent un niveau très précaire de l'assainissement de la zone étudiée. En outre, l'eau consommée, en tant que telle très riche en matière en suspension, présente des teneurs quelque fois élevées d'ammonium et un pH acide. Enfin, la présence des indicateurs tests de contamination fécale a été déterminée. Cependant, une contamination de cette nature, n'est pas seulement une conséquence de la distance de la latrine à l'ouvrage investigué ou de son degré d'aménagement mais aussi d'autres facteurs tels que le sens d'écoulement souterrain, l'épaisseur des couches non saturées et le respect des spécifications de construction des latrines. Nous recommandons que ces faits soient bien pris en considération pour essayer de réduire la pollution de l'eau souterraine dans la région. Néanmoins, la cohérence de ces résultats est telle que, de ce point de vue étude, l'eau se trouvant dans la zone de Nkolbikok est impropre à la consommation humaine.

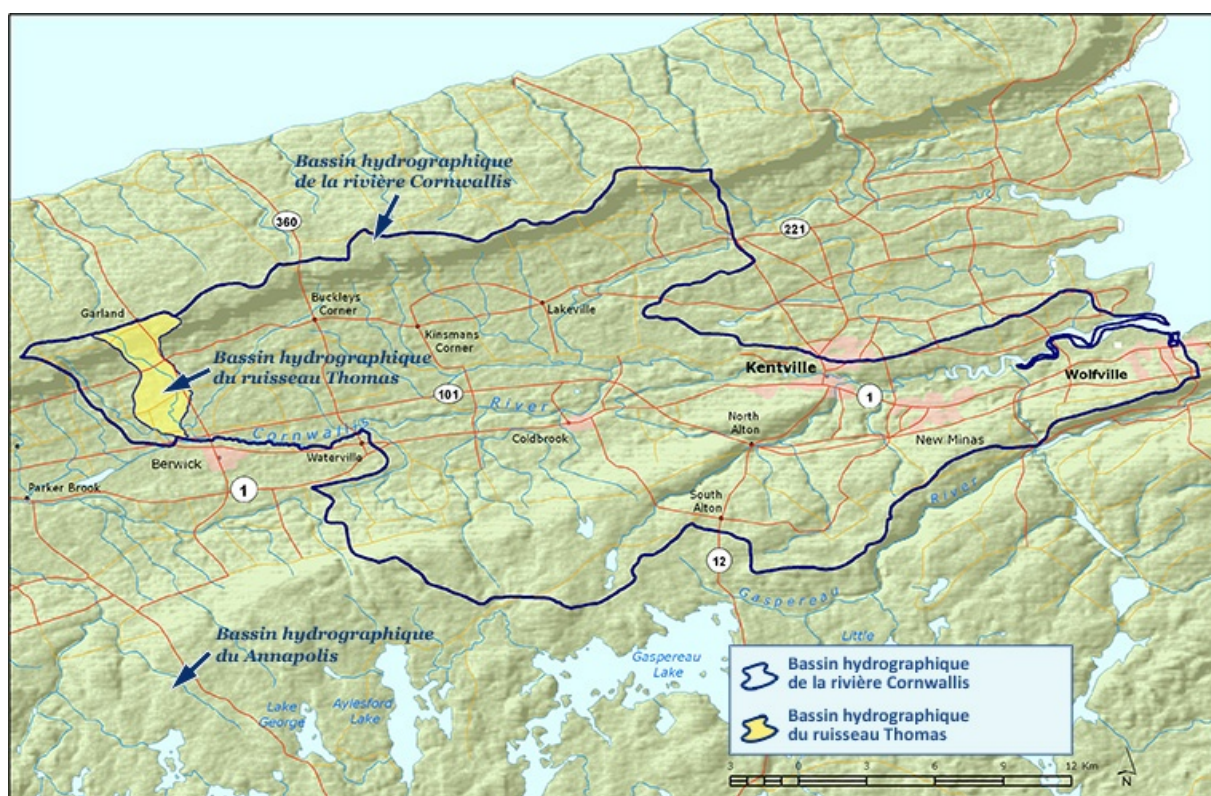


Ghodbane Messaoud [9] a fait une étude sur la région Chemora W. Batna dans l'objectif de démontrer le problème de pollution de l'eau souterraine par les nitrates. La démarche suivie dans cette étude débitera par une étude morphométrique et géologique, hydroclimatologique, hydrogéologique, hydrochimique. Il sera également apprécié la qualité des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

Les résultats des analyses chimiques ont fait sortir le faciès le plus dominant dans la région qui est chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Les eaux de la nappe superficielle présentent des eaux de qualité moyenne à mauvaise pour l'AEP et de bonne à moyenne pour l'irrigation surtout pour la partie Sud. Les eaux de la partie Nord –Est sont mauvaises pour l'irrigation vu la salinité excessive des terrains qui entourent le périmètre du Garaet (sebkha). Mais en général la majorité des points d'eau ont des teneurs en calcium, magnésium, sulfates et les chlorures très élevées, cela est dû au lessivage des terrains salés. Ces eaux sont dures, ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive. Les eaux souterraines de l'aquifère de la plaine de Chemora sont largement utilisées dans l'irrigation des cultures.

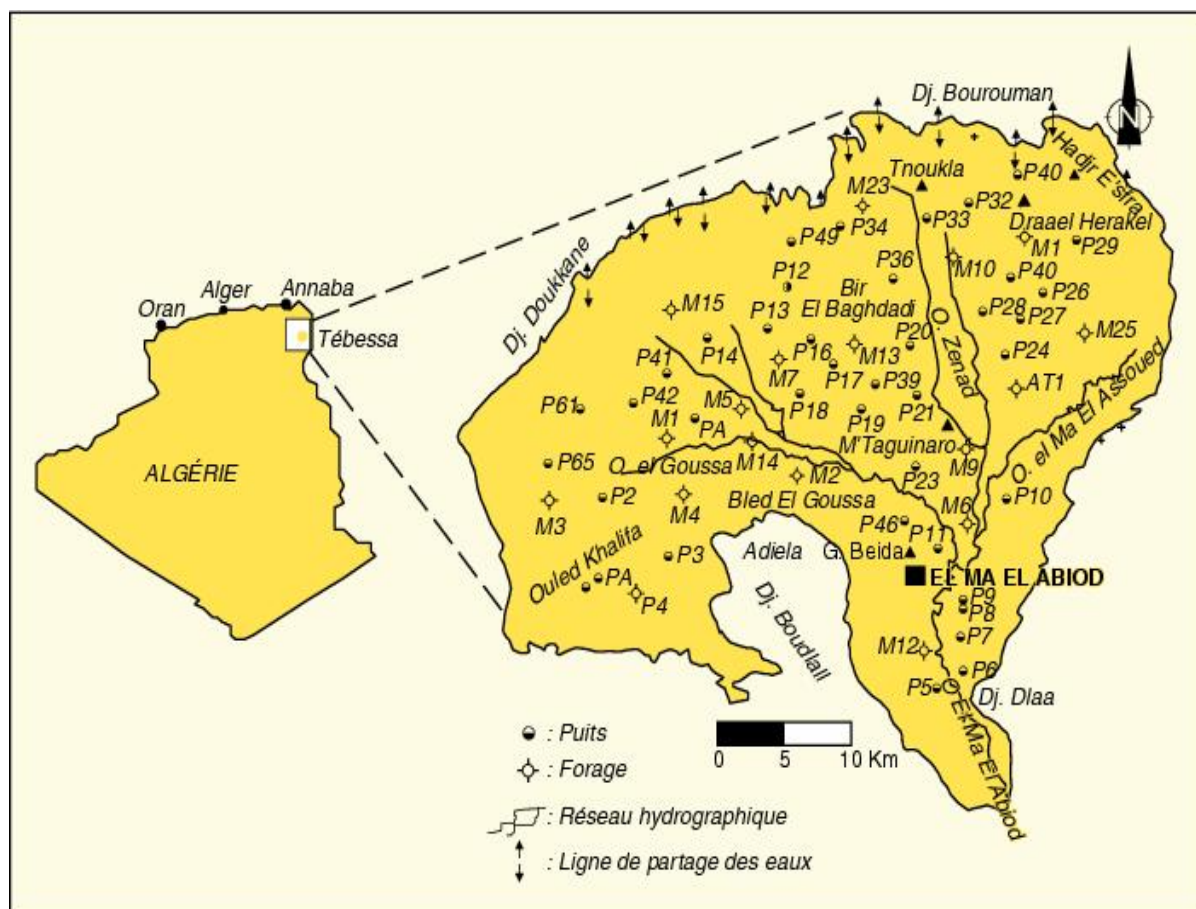
Samuel Trépanier [10] a présenté une étude de la contamination de l'eau souterraine par les nitrates sur le bassin du ruisseau Thomas à Canada est considéré représentatif de l'ensemble de la vallée de par sa géologie, sa topographie et ses activités agricoles, (**voir figure**). Plusieurs échantillons de sol et d'eau sur lesquels des analyses granulométriques et géochimiques (pH, conductivité, ions majeurs), isotopiques (isotopes stables de l'eau et des nitrates) ont été effectuées. À partir de ces résultats et d'une carte d'occupation du territoire, il a été possible de simuler la migration des nitrates au travers de la zone non saturée à l'aide d'un logiciel de modélisation (AGRIFLUX). Finalement, une évaluation de la vulnérabilité intrinsèque et spécifique à la contamination des nitrates a été effectuée à l'aide de la méthode DRASTIC standard et modifiée.

La partie centrale de la zone à l'étude montre des concentrations en nitrates élevées (>10 mg $\text{N-NO}_3/\text{L}$) dans l'eau de l'aquifère rocheux. Aussi la culture de la fraise et de l'orge ainsi que celle de la fléole des prés provoque un lessivage élevé en nitrates. L'utilisation de la méthode DRASTIC modifiée a permis d'obtenir une meilleure corrélation entre les concentrations mesurées et les zones de vulnérabilité par rapport à la méthode standard, mais la zone caractérisée par les plus fortes concentrations en nitrates n'est toujours pas classifiée vulnérable.



Abdelkader Rouabhia et al[11] ont fait une étude sur les risques de pollution de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie), (**voir figure**). La plaine d'El Ma El Abiod abrite une nappe contenue dans des sables, d'importance capitale pour l'alimentation de la population locale, mais qui est mal protégée contre la pollution originaire de la surface.

Dans cette étude, une carte de vulnérabilité a été mise au point grâce aux analyses physico chimiques réalisées sur près d'une centaine de points avec le calcul d'un indice de contamination, et un suivi de la profondeur du plan d'eau de la nappe. Cette carte met en évidence trois zones de différents degrés de pollution, Les zones de faible et de moyenne vulnérabilité occupent respectivement 30 et 45 % de la surface totale de la plaine, alors que les zones à forte vulnérabilité occupent 25 % de cette surface totale, La forte vulnérabilité est observée en aval des écoulements, ainsi qu'au niveau central, confirmant l'impact de l'industrie et de l'agriculture en cet endroit, où la perméabilité est importante. Cette zone doit faire l'objet d'une réglementation de protection.



Patrick Polan et al[12] ont présenté une étude de la qualité d'eau souterraine dans la MRC de Coaticook en Estrie. L'importance des eaux souterraines et les nombreux enjeux s'y rattachant ont amené la Direction de la santé publique de la Régie régionale de l'Estrie à réaliser une étude visant à mieux caractériser l'utilisateur de puits domestique et à évaluer la qualité de l'eau souterraine sur le territoire de la Municipalité régionale de comté de Coaticook en y mesurant les paramètres suivants: nitrates, azote ammoniacal, orthophosphates, couleur, pH, conductivité, sodium et coliformes fécaux. L'étude nous apprend entre autres que:

Les puits artésiens sont plus nombreux que les puits de surface (58% contre 38%); 91% des participants consomment l'eau provenant de leur puits domestique; 29% des participants utilisent un appareil domestique de Traitement de l'eau; 97% des participants disent ne pas ressentir de malaise (diarrhée, crampes abdominales, etc.) suite à la consommation de l'eau de leur puits;

Les inquiétudes les plus fréquemment mentionnées vis-à-vis une possible contamination de l'eau du puits domestique sont reliées principalement à la présence de pesticides, de fumiers et de fertilisants chimiques; Le portrait de la qualité physico-chimique de l'eau souterraine est bon et les Concentrations de nitrates mesurées dans l'eau des puits domestiques sont largement en -dessous de la valeur de 10 mg/L recommandé par Santé Canada;

Les résultats bactériologiques indiquent que 16,1% des puits de surface présentent une contamination bactérienne fécale.

HenniaKaddour [13] a réalisé une étude de la qualité des eaux souterraines dans la zone de Cheliff occidental. Plaine du moyen Cheliff occidental abrite une nappe alluviale d'importante potentialité. La bonne gestion qualitative des eaux de cette nappe exige d'abord l'évaluation de sa qualité et la détermination de son origine en vue de distinguer les paramètres à source anthropique. La représentation spatiale de cette qualité permet de voir l'effet des sources de pollution recensée dans cette zone. Pour ce but, un total de cent neuf (109) échantillons analysés pendant les périodes de hautes et basses eaux.

Les résultats obtenus sont :

- l'origine de la minéralisation des eaux de cette nappe est triple et comprend :
 - Les roches (avec deux processus distincts : dissolution des évaporites).
 - Le sol (minéralisation de la microflore produisant les teneurs naturelles des nitrates et hydrolyse de l'illite).
 - Les apports polluant transitant par l'intermédiaire des sols (à partir des engrais, des produits d'élevage, des eaux usées et des décharges publiques). Les éléments en cause sont, en prédominance les nitrates, et très faiblement le potassium et le sodium.
 - Les eaux de la nappe sont classées en trois (03) groupes de qualité dont la dégradation de potabilité est progressive du groupe 01 au groupe 03. Au contraire, les nitrates et les bicarbonates varient dans le sens contraire.
 - L'évaluation des apports d'azote sur les sols de la zone d'étude a montré l'influence directe des engrais chimiques dans la pollution de la nappe par les nitrates.
- Les grandes orientations de gestion qualitative des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff développées dans ce travail visaient principalement à atténuer l'effet de la pollution nitratée.

J.-P. Chippaux et al [14]. Ont fait une étude chimique et bactériologique des nappes d'eau souterraines de la ville de Niamey, Niger. ont été étudiée. La nappe superficielle. La pollution chimique et bactériologique des nappes d'eau souterraines de la ville de Niamey, ville sahélienne de 700000 habitants, a été étudiée. La nappe superficielle, accessible par les puits, présente une forte pollution azotée et une pollution bactériologique (coliformes et streptocoques fécaux) qui rendent l'eau impropre à la consommation. La nappe profonde, qui approvisionne les forages, est également polluée chimiquement (azote oxydable) et bactériologiquement (strepto - coques fécaux) mais à un degré moindre. La pollution fécale augmente après la saison des pluies.

L'origine des pollutions peut être attribuée à diverses causes: défaut d'assainissement et de collecte des ordures ménagères, transfert de polluants à partir des couches superficielles, conditions de puisage et structure des installations. À terme, l'utilisation de la nappe phréatique pourrait s'accroître et constituer un risque sanitaire important pour une majorité des habitants de Niamey.

Belghit M.L.1 et al [15] ont réalisé une étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). Deux campagnes de prélèvement des eaux souterraines ont été effectuées au niveau des puits situés en milieu rural. L'analyse physico-chimique a montrée que les puits étudiés présentent des concentrations inférieures aux normes recommandées par l'OMS (1994) et par le Maroc (Norme, 1991). De point de vue bactériologique, les puits étudiés présentent une forte pollution bactériologique dans tous les puits étudiés sans exception. La présence très élevée des germes microbiens dans l'eau pourrait constituer un risque sanitaire important pour les habitants qui prennent de l'eau nécessaire de leurs besoins à partir de l'eau de ces puits.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Nous avons ciblé dans cette recherche l'étude d'écoulement souterrain d'eau, cela suppose une connaissance de la source des eaux souterraines et comprendre le concept de l'écoulement d'eau souterraine et la connaissance des différents milieux qui se circule à elle, lorsque nous avons choisi dans cette recherche le milieu poreux comme un modèle pour l'étude.

Nous avons conclu un certain nombre de résultats de la recherche pourrait être précisés dans le suivant :

L'eau souterraine est l'eau qui s'accumule sous terre, elle occupe les vides, les fissures et toute autre espace entre les particules solides de la roche. La source de cette eau est les eaux de surface comme la pluie, les lacs et les rivières ou par intervention humaine telle que l'eau d'irrigation et l'eau qui vient des eaux usées et des usines et d'autre.

Les milieux poreux sont des aquifères composés d'agrégats de particules distinctes comme le sable et le gravier. L'eau souterraine occupe les vides interstitiels des grains à travers lesquels elle circule. Les milieux poreux où les grains ne sont pas reliés l'un à l'autre sont considérés comme meubles. Si les grains sont cimentés les uns aux autres, ces aquifères sont dits consolidés. Les grès sont des exemples de milieux poreux consolidés.

La qualité de l'eau souterraine est l'appréciation des concentrations des différentes substances chimiques qui la composent. Les éléments chimiques constitutifs de l'eau souterraine peuvent être des minéraux, des molécules organiques, naturelles ou de synthèse, issues de l'activité de l'Homme, après la recherche bibliographique que nous avons faite on trouve que les eaux souterraines caractérisées par une minéralisation totale excessive, tel que, l'origine de la minéralisation de cette eau qui est la roche, le sol, l'apport polluant transitant par l'intermédiaire des sols, la dureté est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient, la conductivité est variable selon la région considérée.

La recherche a révélé que les eaux souterraines, dans la plupart des conditions, sont plus sûres et plus fiables que l'eau de surface. Une des raisons est que l'eau de surface est plus facilement exposée aux polluants (des usines par exemple) que les eaux souterraines. Ceci ne veut pas dire que les eaux souterraines sont invulnérables à la contamination. Bien qu'il ne soit pas

aussi vulnérable que l'eau de surface, les contaminants peuvent atteindre toujours des puits et donc des ménages. Tous les produits chimiques qui sont facilement solubles et pénètrent le sol sont les principaux polluants des eaux souterraines. Un polluant peut encore accéder à des puits éloignés grâce aux courants souterrains de l'eau. Par exemple, un produit chimique qui se renverse d'une usine industrielle située à grande distance, pourrait infiltrer la terre et, par la suite, infecter le système de couche aquifère qu'une communauté entière utilise pour leurs puits privés.

L'eau souterraine est une ressource essentielle et vitale, qui joue un rôle primordial et constitue une réserve d'eau potable, elle est généralement de meilleure qualité que l'eau de surface, et ne nécessite pas un traitement complet, pour cela elle doit être protégée contre tous les dangers qui peuvent lui être exposés.

Références

Références

- [1] H.Daghari, L.De Backer, transfert d'eau dans un milieu poreux non isotherme.
- [2] M.Saïd.Bir, écoulement au travers les milieux poreux. Approche stochastique, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.
- [3] Mr. Kazi tani Hychek abdesslem, étude du transport en suspension dans un milieu poreux au laboratoire., Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen - 2010-2011.
- [4] S. Bougoul, A. Soudani et A. Jaffrin¹, Etude d'un Ecoulement dans un Milieu Poreux Saturé Utilisé en Substrat de Culture, Université de Batna, Rue Chahid Mohamed El Hadi Boukhrouf, Batna, Algérie.
- [5] Tabouche N.1, Achour S.2, étude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrionale algérien, Université de Biskra.
- [6] W. Chaoui¹, H. Bounobra ²², K. Chaoui³, Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf, Université de Badji Mokhtar-Annaba-.
- [7] Hennia Kaddour, Contribution à la gestion qualitative des eaux souterraines dans les zones semi-arides Application au moyen Cheliff occidental, université Hassiba ben bouali– Chlef, 2007.
- [8] Patrick Polan, M.Env., MBA ; Monique Henry, LSc, MSc, Qualité de l'eau souterraine dans la MRC de Coaticook ; régionale de la santé et des services sociaux de l'Estrie direction de la santé publique et de évaluation, Janvier 1998.
- [9] Abdelkader Rouabhia, Fethi Baali, Nacer Kherici, Larbi Djabri, Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie).
- [10] Samuel trépanier caractérisation modélisation et étude de la vulnérabilité de l'eau souterraine Contaminée aux nitrates dans un sous bassin de la vallée d'Annapolis (nouvelle écosses) .université du québec à Montréal décembre 2008.
- [11] Ghodbane Messaoud, Etude de la contamination des eaux souterraine de la zone nord de la zone nord de cheora par les nitrates est algérien, université de batna.

[12] Ngani ndazana yvette , étude diagnostique de l' état de pollution des eaux souterraines en milieu péri urbain : application a l'ilot de nkolbikok_yaounde Camerone, 2012.

[13] F. Baali, qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-aride. Cas de la cuvette de Chéria (NE Algérien).

[14] J.-P. Chippaux (1, 2, 7), S. Houssier (3, 4), P. Gross (2), C. Bouvier (5) & F. Brissaud(6) ,Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger.

[15] Belghit M.L.1 , hahlaoui A.1 ; Bengoumi D.2 , El moustaine R.1, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraine de la nappe palio_quaternaire dans la région de Meknès (Maroc),Université Moulay Ismail, BP 11201 Zitoune, Meknès, Maroc.