



Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences et Techniques
Département des Sciences de la Terre
Marrakech



Agence du Bassin
Hydraulique de Tensift
Marrakech

Mémoire de fin d'études

Licence ès Sciences et Techniques Eau et Environnement

Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines Cas du champ captant du N'Fis (Maroc)

Réalisé par :

- Nassah Houda
- Omdi Fatima Ezzahra

Encadrées par :

Mr L. HANICH – Pr à la FST de Marrakech
Mme M. BENRHANEM- Ingénieur à l'ABHT de Marrakech
Mr Hassan.

Soutenu le 28 Juin 2011 devant le Jury composé de :

- Mr Hanich L.
- Mr Saidi M. E.
- Mr Chafiki D.

Année universitaire : 2010-2011

Remerciements

À l'issue de ce stage, nous exprimons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

Nous tenons à exprimer une gratitude toute particulière à notre maître de stage Mme Mounia Benrhanem qui nous a aidées, guidées et dirigées au cours de notre stage.

Un grand merci à notre encadrant Mr Hanich qui a toujours éclairé notre travail avec ses recommandations aiguisées en donnant beaucoup de son temps, et de son professionnalisme.

Nous remercions également Mr Berjami qui a toujours été disponible afin de répondre à toutes nos questions et qui nous a aidé dans nos démarches et manipulations.

Nos chaleureux remerciements vont également à nos chers parents pour leur soutien et encouragement. Ainsi qu'à nos collègues et nos amis pour leur solidarité.

Merci à toutes les personnes du département de géologie de la FST de Marrakech et au personnel de l'Agence du bassin hydraulique Tensift.

Sommaire

Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	5
Introduction Générale.....	6
L'ABHT en bref.....	7
Diagnostic.....	8

Première partie

Contexte général du bassin du Haouz

1. Contexte Géographique.....	10
2. Contexte Géologique.....	10
2.1. Lithologie.....	10
2.2. Structure.....	11
3. Contexte pédologie.....	12
4. Contexte climatique.....	13
4.1. Précipitations.....	13
4.2. Température.....	13
5. Contexte Hydrologique.....	13
6. Contexte Hydrogéologique.....	13
6.1. Nappe profondes.....	13
6.2. Nappe phréatique.....	14
6.2.1. Définition de l'aquifère.....	14
6.2.2. Conditions aux limites.....	14
6.2.3. Hydrodynamiques de la nappe.....	14
6.2.3.1. Transmissivité.....	14
6.2.3.2. Perméabilité.....	15
6.2.3.3. Le Coefficient d'emménagement.....	15
6.2.4. Bilan de la nappe.....	15
6.2.5. La vulnérabilité.....	15

Deuxième partie

Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines

1. Notion des périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines.....	18
1.1. Introduction.....	18
1.2. Définition et objectif.....	18
1.3. La loi d'eau N° 10-95.....	18
1.3.1. Principes.....	18

1.3.2 Périmètres de sauvegarde et périmètres d'interdiction.....	19
1.3.2.1. Article 49.....	19
1.3.2.2. Article 50.....	19
1.3.2.3. Article 62.....	20
1.3.2.4. Article 63.....	20
1.4 Périmètres (ou zones) de protection.....	20
1.4.1. Périmètre de Protection Immédiate (PPI).....	21
1.4.2. Périmètre de Protection Rapprochée (PPR).....	21
1.4.3. Périmètre de Protection Eloignée (PPE).....	21
1.5. Les critères de délimitation des zones de protection.....	21
1.5.1. Le pouvoir épurateur d'encaissement.....	22
1.5.2. Le rabattement.....	22
1.5.2.1. Zone d'influence.....	22
1.5.2.2. Zone d'appel.....	22
1.5.3. Temps du transfert.....	22
1.5.4. Le rayon d'influence	22
1.5.5. Les limites d'écoulement	22
1.6. Délimitation des périmètres de protection des eaux souterraines.....	22
1.6.1. La zone de protection immédiate (S1).....	23
1.6.2. La zone de protection rapprochée (S2).....	24
1.6.2.1. Délimitation de la zone S2 dans la roche meuble	24
1.6.2.2. Délimitation de la zone S2 dans un milieu fissuré.....	25
1.6.2.3. Délimitation de la zone S2 dans un milieu karstique.....	25
1.6.3. Délimitation de la zone de protection éloignée (S3).....	25
1.7. Les activités interdites au niveau de chaque périmètre.....	25
1.8. Dossier technique relatif à la protection des champs de captage des eaux souterraines.....	26
2. L'élaboration des périmètres de protection	27
2.1. Démarche à suivre	27
2.1.1. Organigrammes pour l'élaboration des périmètres de protection des ressources en eaux souterraines	27
2.1.2. Méthodes de calcul de l'isochrone 50 j.....	30
2.1.2.1. SAUTY et THIERY.....	30
2.1.2.2. HOFMANN et LILLICH.....	30
2.1.2.3. WISSLING.....	30
2.1.3. Les périmètres de protection en fonction de la lithologie de l'aquifère.....	31
2.2. La durée de la mise en place d'un périmètre de protection.....	32
2.3. Comment surveiller les périmètres de protection	32

2.4. Démarche à suivre en cas de pollution des eaux souterraines.....	32
3. Mesures de protection	32
3.1. Protection qualitative.....	32
3.2 Protection quantitative.....	33
3.2.1. Proscrire une baisse durable de la nappe phréatique.....	33
3.2.2. Débits résiduels.....	33
3.2.3. Drainage.....	33
3.2.4. Infiltration.....	33
3.2.5. Constructions.....	33
3.2.6. Extraction de matériaux	34
3.2.7 .Ouvrages de retenue.....	34
3.2.8. Cours d'eau.....	34

Troisième partie

La construction des périmètres de protection du champ captant N’Fis

1. Présentation du champ captant N’FIS.....	35
1.1. L’élaboration des cartes à l’aide d’Arc Gis et Surfer.....	35
1.1.1. La carte de la localisation.....	36
1.1.2. La carte de la piézométrie.....	36
1. 1.3. La carte de la perméabilité.....	38
1.1.4. La carte du coefficient d’emménagement	39
1. 1.5. La carte du gradient hydraulique.....	40
1.1.6. La carte de la vitesse réelle	41
2. Objectif de la protection du champ captant N’Fis.....	43
3. Délimitation des zones de protection.....	43
3.1. Zone de protection immédiate.....	43
3.2. Zone de protection rapprochée.....	43
3.2.1. Le tableau du calcul des isochrones 50 jours.....	45
3.2.2. Conclusion.....	45
3.3. Zone de protection éloignée.....	45
3.3.1. Le tableau du calcul d’air de recharge.....	46
3.3.2. Conclusion.....	46
3.4. Schéma des périmètres de protection des puits du champ captant N’Fis.....	46
Conclusion.....	48
Bibliographie.....	49
Liste des abréviations	50

Liste des figures

- Figure 1 : Situation de la plaine du Haouz.
- Figure 2 : Carte de la géologie de la plaine du Haouz.
- Figure 3 : Carte structurale de la plaine du Haouz.
- Figure 4 : Bilan de la nappe Haouz-Mejjet.
- Figure 5 : Vulnérabilité globale des ouvrages d'alimentation en eau potable captant la nappe du Haouz de Marrakech.
- Figure 6 : Schéma représentatif des périmètres de protection.
- Figure 7 : Les zones de protections d'un captage d'eau.
- Figure 8 : Organigramme d'élaboration de la zone de protection immédiate.
- Figure 9 : Organigramme d'élaboration de la zone de protection rapprochée.
- Figure 10 : Organigramme d'élaboration de la zone de protection éloignée.
- Figure 11 : Détermination des isochrones (Méthodes d Wyssling).
- Figure 12 : Dessin présentant la modélisation et l'analyse des données à référence spatiale.
- Figure 13 : La carte de localisation du bassin versant N'fis.
- Figure 14 : La carte de la piézométrie du champ captant de N'fis.
- Figure 15 : La carte de la perméabilité du champ captant de N'fis.
- Figure 16: La carte du coefficient d'emmagasinement du champ de captage du N'fis.
- Figure 17: La carte du Gradient hydraulique du champ captant de N'fis.
- Figure 18 : La carte des vitesses réelles du champ captant de N'fis.
- Figure 19 : Schéma représentatif des périmètres de protection du champ captant N'fis.

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Tableau de l'entrée et sortie de la nappe.
- Tableau2 : A et B Tableaux des paramètres hydrauliques caractérisant le champ captant de N'fis.
- Tableau 3 : Tableau de calcul de l'isochrone 50 jours.
- Tableau 4 : Tableau du calcul des périmètres de protection éloignée.

Introduction Générale

Avec le développement socio-économique d'une part, et la forte pression démographique et urbanistique d'autre part, la demande en eau ne cesse pas de s'accroître.

La rareté des ressources en eau et la forte irrégularité aussi bien spatiale, que temporelle qui caractérise le contexte marocain et la diversité des sources de pollution incitent l'adaptation des mesures préventives visant une gestion durable et optimale.

La pérennisation de ressources souterraines nécessite donc la mise en place des périmètres de protection destinés à éviter les pollutions diverses pouvant altérer la qualité des nappes phréatiques.

L'objectif de notre travail consiste à élaborer les périmètres de protection du champ de captage N'Fis situé au niveau de la plaine du Haouz. En se basant sur des critères géologiques, hydrogéologiques et environnementaux.

La première partie de ce rapport est réservée pour la présentation du bassin du Haouz qui présente la zone d'étude. La deuxième partie est consacrée à la bibliographie des périmètres de protection des eaux souterraines. Dans la Troisième partie on présente les calculs élaborés pour l'obtention des périmètres de protection du champ captant N'Fis.

L'agence du Bassin Hydraulique Tensift " L'ABHT"

Nous avons effectué notre stage au sein de l'agence du bassin hydraulique du Tensift (l'ABHT). L'ABHT constitue un espace de concertation au service de l'eau. Elle permet d'assurer une gestion intégrée des ressources en eau pour un développement durable du bassin hydraulique du Tensift.

Sa création a pour objectifs :

- ❖ La planification cohérente à l'échelle du bassin hydraulique.
- ❖ La protection et conservation quantitative et qualitative des ressources en eau.
- ❖ L'utilisation rationnelle et optimale de l'eau.

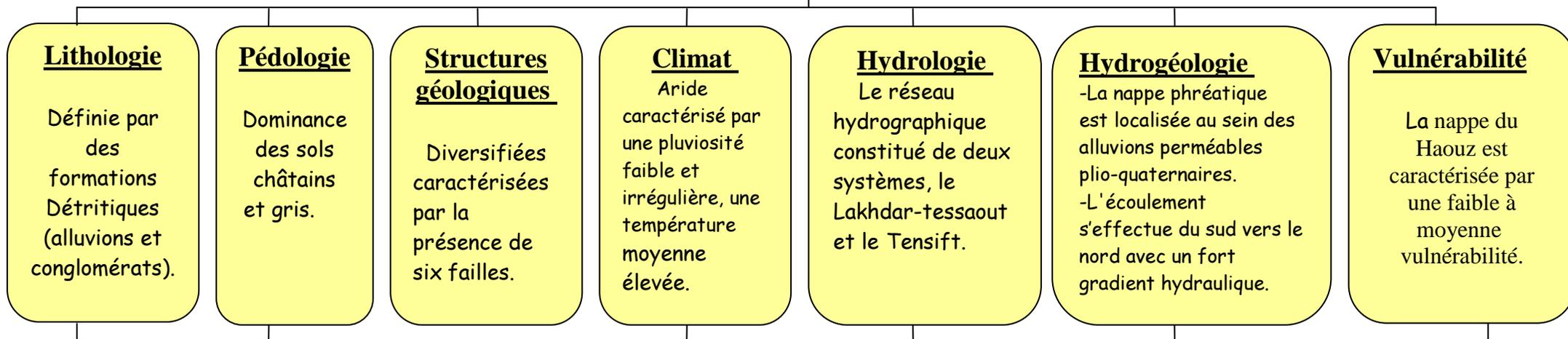
Elle s'intéresse qu'au bassin Tensift-Ksob-Igouzoulen qui s'étend sur une superficie de l'ordre de 24 800 km² et qui peut être subdivisée en quatre domaines géographiques différenciés :

- Le Haut Atlas au sud.
- La plaine du Haouz et le bassin de Mejjate au centre.
- Les Jbilet au nord.
- Le bassin d'Essaouira-Chichoua à l'ouest.
-

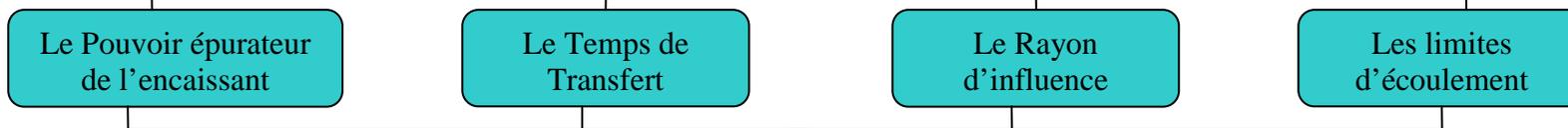
Les partenaires de l'agence du bassin hydraulique sont représentés par l'ensemble des acteurs intervenants dans le secteur de l'eau notamment :

- Les services centraux, régionaux et provinciaux des secteurs de :
 - l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement
 - l'Intérieur
 - la Santé
 - Finances
 - l'Agriculture, des Eaux et Forêt
 - Tourisme, etc.
- Les établissements publics opérant dans le domaine de l'eau :
 - ONEP
 - RADEE
 - ORMVA
 - ONE
 - LPEE
 - CDER
 - CNESTEN
 - CRI et Agences Urbaines, etc.
- Les associations d'usage de l'eau
- Les universités et Les grandes écoles
- Les bureaux d'études.

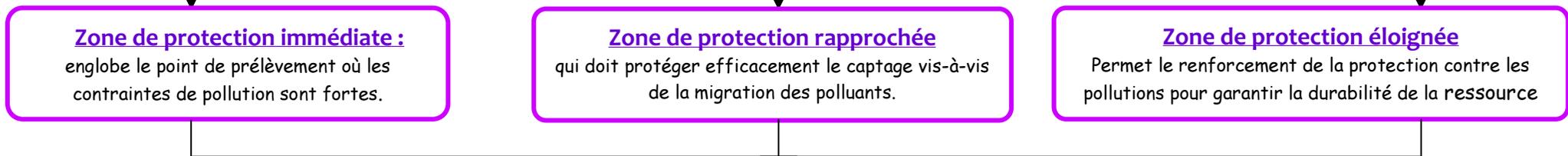
Zone d'étude (La plaine du Haouz)



Les critères de délimitation des périmètres de protection des eaux souterraines



Les périmètres de protection des eaux souterraines un outil idéal pour aviser et réduire toute cause de pollution susceptible de nuire à la qualité des eaux



APPLICATION

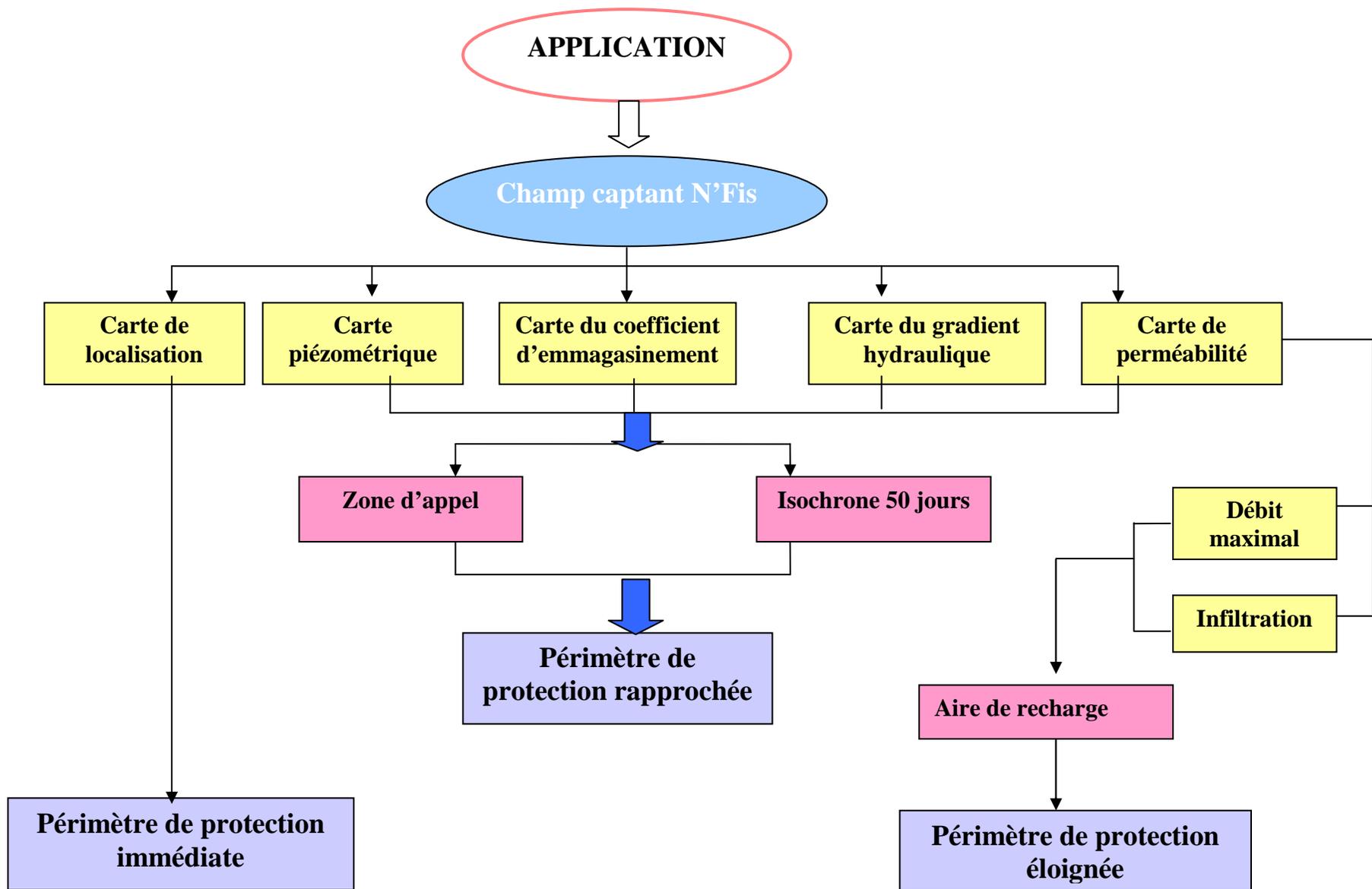


Figure 1 : Diagnostic Général des périmètres de protection des eaux souterraines

Première partie

Contexte général du bassin du Haouz

1. Contexte Géographique

Au centre du Maroc se situe la plaine du HAOUZ entre (7°2' et 9°1') W, (31°5'et32°) N, cette plaine qui fait partie du bassin Tensift est limitée par la chaîne atlasique au sud et les chaînons de Jbilet au nord. Elle a pour largeur 40km et sa superficie d'environ 6000 km². (figure1)

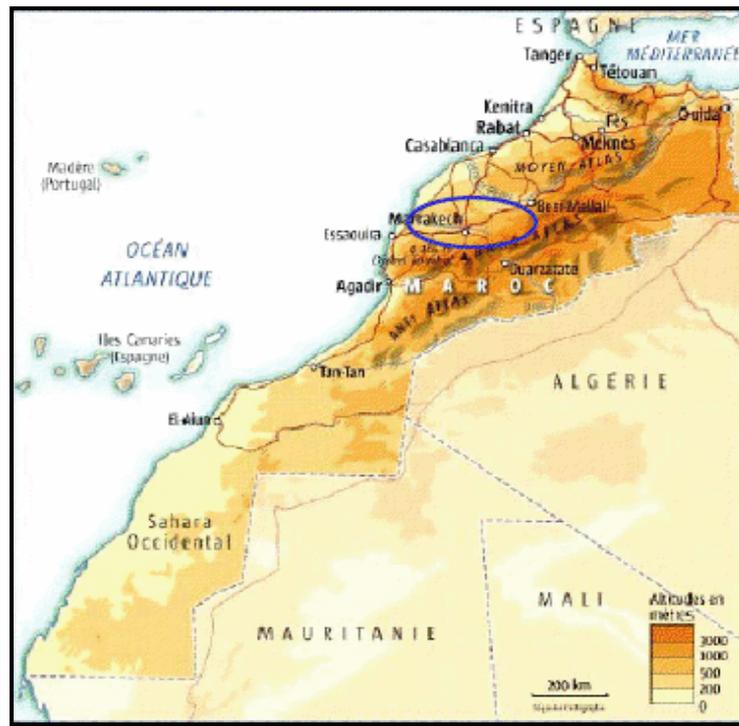


Figure 1 : Situation de la plaine du Haouz

La plaine du Haouz peut être subdivisée en trois parties qui sont d'est en ouest :

- **Le Haouz oriental** : sa superficie est d'environ 1500km², limitée entre l'oued Lakhdar à l'est et l'oued R'dat à l'ouest.
- **Le Haouz central** : recouvre une superficie de l'ordre 2000km², limitée entre l'oued R'dat à l'est et l'oued N'fis à l'ouest.
- **Le Haouz occidental** : s'étend sur une superficie de l'ordre de 2500km², limitée par l'oued N'fis à l'ouest et par la bordure orientale du plateau Essaouira-chichaoua.

2. Contexte Géologique

1.2. Lithologie

Du point de vue géologique la plaine de HAOUZ est un bassin de sédimentation d'origine tectonique, constitué de formations détritiques (alluvions et conglomérats) issues de l'érosion de la chaîne atlasique. La chaîne atlasique présente les formations allant de primaire

jusqu'au quaternaire récent dont le faciès et l'épaisseur sont très variables. (Figure 2). (N.El Goumi et al; 2010 ; Estudios geológicos 181-191)

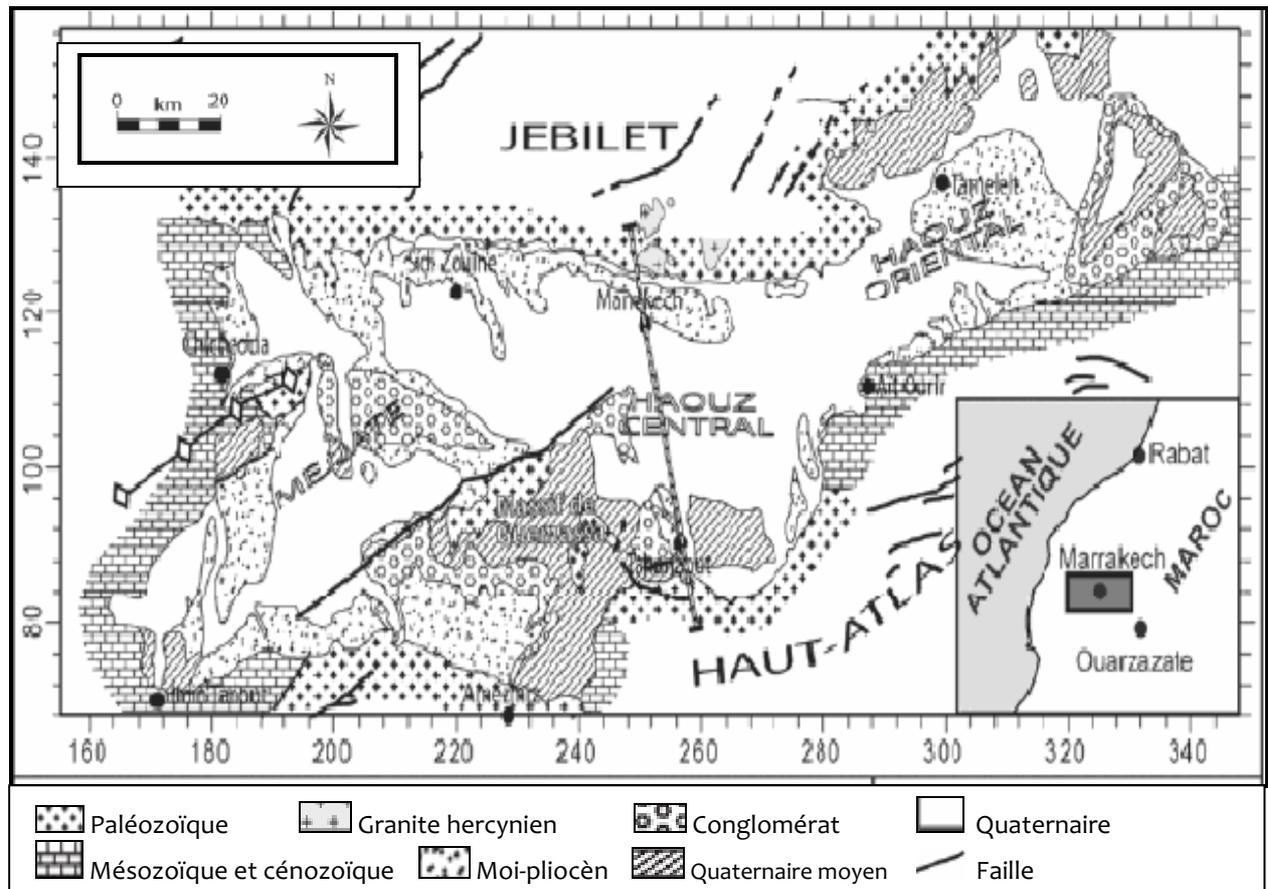


Figure 2: Carte de la géologie de la plaine du Haouz (N.El Goumi et al, 2010 ; Estudios geológicos 181-191)

2.2. Structure

Sur le plan structural, la plaine du Haouz constitue une vaste dépression comblée par des formations détritiques issues de l'enchaînement de plusieurs étapes tectoniques provoquées principalement par la succession des deux cycles orogéniques hercyniens et atlasique (figure3) (N.El Goumi et al, 2010 ; Estudios geológicos 181-191)

- **La phase d'ouverture du bassin** : caractérisée par une instabilité sédimentaire et une tectonique au cours de laquelle des failles à composante normale et à enfoncement Est à Sud-est ont été développées.
- **La phase de compression** : phase majeure qui a permis une schistosité régionale de direction NNE-SSW.
- **La phase de déformation cassante Tardi-hercynienne** accompagnée de plissements cartographiques.
- **La phase atlasique** responsable d'une tectonique cassante de direction moyenne ENE-WSW.

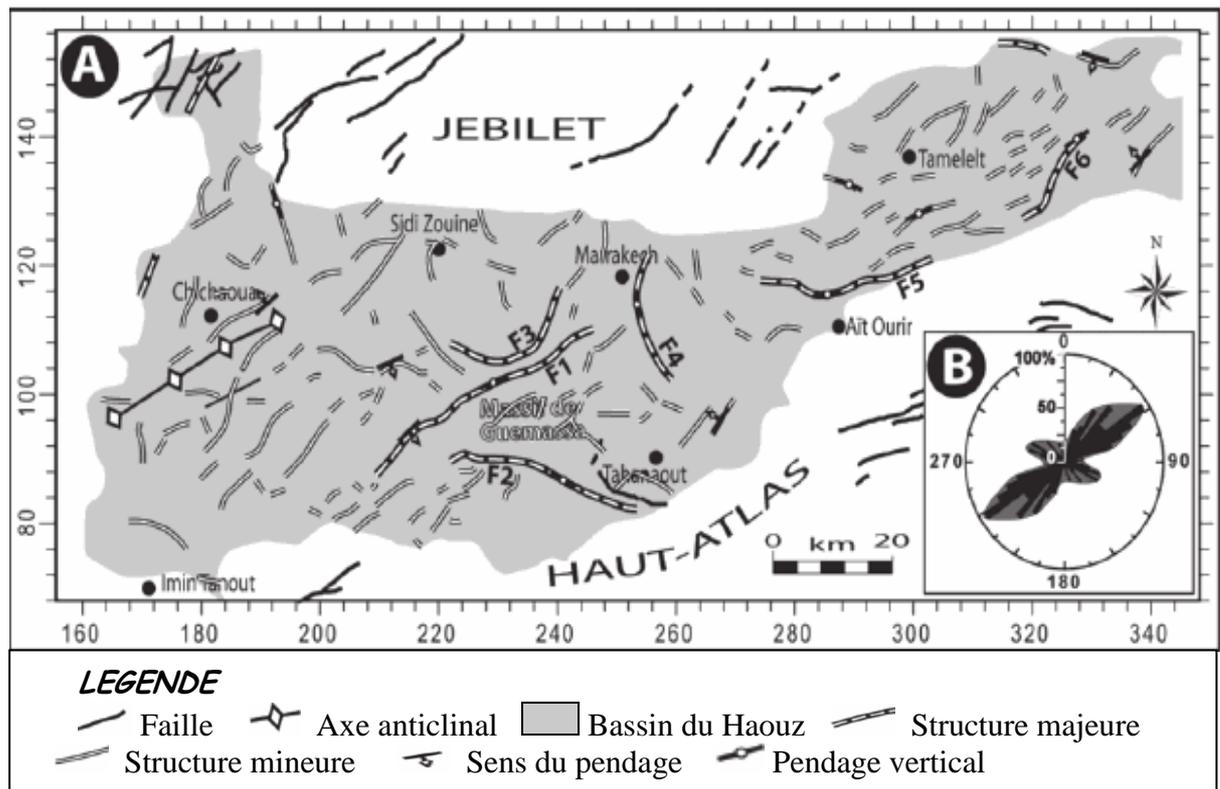


Figure 3 : Carte structurale de la plaine du Haouz (N.El Goumi et al; 2010 ; Estudios géologicos 181-191)

F1 : Faille de Guemassa (FG) ou faille d'Assoufid de direction NE-SW c'est une faille normale.

F2 : Faille Nord-Atlasiqne ou FNA, présente une limite sub-occidentale du massif de Guemassa. Elle est caractérisée par un pendage vertical.

F3 : Correspond à l'association de deux failles de directions différentes NE-SE et NE-SW. Elle a une allure courbe à convexité vers le sud.

F4 : Faille située près de Marrakech, décrit une structure verticale de forme générale courbe à convexité ouest. Elle présente le résultat de la succession de deux accidents de directions NNW-SSE et NNE-SSW.

F5 et F6 : failles normales situées dans le Haouz de directions générales respectives E-W et NE-SW. Elle indique la limite entre le domaine méridional à forte épaisseur de sédiments et le domaine septentrionale où le substratum Hercynien est peu profond.

En effet le système de failles responsable de la structuration du bassin du Haouz est organisé selon deux familles de directions NE-SW et NW-SE.

3. Contexte pédologique :

En général les sols de la plaine du Haouz sont déposés sur des vastes cônes de déjection caillouteux et conglomératiques (Mohamed SINAN octobre 2000 ; Thèse d'état ; Ecole Hassania des travaux publics). Les différents types de sols rencontrés sont:

- **Sols rouges ou châtaîns rouges** situés au niveau de la zone centrale du Haouz oriental et à la limite sud du Haouz central. Ce type de sol est développé sur des cailloutis cimentés et/ou calcaire.

- **Sols châtaîns** sont distribués le long du canal de Rocate dans le Haouz central et au niveau de la limite du Haouz oriental.
- **Sols châtaîns bruns à cailloutis** répartis au nord de Tamlelelt dans le Haouz oriental et au sud de Marrakech.
- **Sols bruns à croûte graveleuse ou lamellaire** ou parfois calcaire rencontrés au nord du Haouz central et au long des reliefs des Jbilets.
- **Sols gris** rencontrés principalement aux avals des oueds au niveau du Haouz central.
Les sols châtaîns et gris sont les plus dominants.

4. Contexte climatique

La plaine du Haouz appartient à une zone aride caractérisée par une pluviosité faible et irrégulière, une température moyenne élevée, une forte évaporation et un faible taux d'humidité (Mohamed SINAN octobre 2000 ; Thèse d'état ; Ecole Hassania des travaux publics).

4.1. Précipitations

Elles sont faibles et irrégulières dans le temps et dans l'espace, et dont la pluviométrie est partout inférieur à 300mm par an.
Les mois mars et avril présentent le maximum des précipitations tandis que le minimum est rencontré en juillet et août.

4.2. Température

Les températures sont élevées avec des amplitudes thermiques journalières et annuelles très élevées. Les températures hivernales très basses de (moyenne minimale 4,9°C) et températures estivales très élevées de (moyenne maximale de l'ordre de 37,7°C).

5. Contexte Hydrologique

Le réseau hydrographique de la plaine du Haouz est constitué de deux systèmes, le Lakhdar-Tasseout et le Tensift (Projet SudMed ; Hydrogéologie de la plaine du Haouz)

Le système Lakhdar-Tasseout est situé à l'est de la plaine et dont l'écoulement se fait du sud vers le nord. La pente moyenne de l'oued est assez forte, l'écoulement est rapide. Les crues hivernales y sont violentes ; le substrat grossier (blocs et galets) domine souvent au milieu du lit.

Le système de l'oued Tensift est alimenté par les affluents atlasique : R'dat, Zat, Ourika, Rheraya, N'Fis et Chichaoua.

6. Contexte Hydrogéologique

6.1. Nappes profondes

Au niveau de la plaine du Haouz les nappes profondes n'existent pas suite à l'absence des formations calcaires du secondaire ou du tertiaire.

6.2. Nappe phréatique

Les alluvions plio-quadernaires et les formations du Néogène (dont l'épaisseur diminue du sud au nord de la plaine du Haouz), sont le siège d'une nappe libre généralisée sur l'ensemble de la plaine. Cette nappe constitue le principal réservoir d'eau souterraine du bassin du Haouz.

La surface libre de la nappe s'établit en moyenne à 25m sous le niveau du sol, mais se situe entre 0 à 5m le long du l'oued Tensift et peut descendre jusqu'à 70m le long du piémont de l'Atlas. Dans les zones où l'eau souterraine fait l'objet d'une exploitation intensive, elle s'établit aux environ de 45m (Mohamed SINAN octobre 2000 ; Thèse d'état ; Ecole Hassania des travaux publics).

6.2.2. Conditions aux limites

La recharge de la nappe se fait en majeure partie par infiltration des eaux d'irrigation et des eaux de crues le long des oueds atlasiques traversant la plaine, principalement les oueds du N'Fis, de Rheraya, d'Ourika, du Zat, du R'dat et de Chichaoua. Et la sortie s'effectue par pompes et drainage de l'oued Tensift.

6.2.3. Hydrodynamiques de la nappe

L'écoulement général de la nappe se fait du sud (bordure atlasique) vers le nord (l'oued Tensift), avec un fort gradient hydraulique (1.5 à 2 %) au niveau de la limite sud de la nappe.

Les vitesses des écoulements souterrains sont faibles, généralement inférieures à 1.10^{-4} m/s (soit des déplacements inférieurs à 3.2 km/an). Les plus grandes vitesses ($\geq 5.10^{-4}$ m/s, soit plus de 15 km/an) sont rares dans la nappe et sont localisées notamment le long de la bordure sud du Haouz oriental (Mohamed SINAN octobre 2000 ; Thèse d'état ; Ecole Hassania des travaux publics).

6.2.3.1. Transmissivité

Suite à la forte hétérogénéité des alluvions aquifères, la nappe du Haouz peut être divisée en zones à faible Transmissivité et autres à Transmissivité élevée.

Les zones les plus transmissives sont situées dans l'axe centrale de l'aquifère de direction SW – NE, le long de la faille d'Assoufid qui s'étend entre le nord de l'affleurement primaire de Guemassa et le Haouz oriental. Ainsi que la zone d'Ait Ourir et la partie sud du Haouz oriental (Mohamed SINAN octobre 2000 ; Thèse d'état ; Ecole Hassania des travaux publics).

Les zones de faible transmissivité sont situées généralement au nord de la nappe, en raison de la réduction de l'épaisseur de celle-ci. La nappe affleure en effet au niveau de l'oued Tensift qui la draine dans son parcours de direction Est-Ouest. Le Haouz occidental est généralement caractérisé par une faible transmissivité (de l'ordre de 10^{-4} m²/s) en raison de la réduction de l'épaisseur et du caractère argileux de ses alluvions.

6.2.3.2. Perméabilité

La nappe du Haouz est localisée au sein des dépôts alluvionnaires plio-quadernaire, constitués par une alternance de lentilles perméables composées de galets, graviers et sables et de formation argilo marneuses quasi-imperméables. Et dont l'ensemble repose sur un substratum imperméable de faciès essentiellement argileux et marneux du Miocène.

6.2.3.3. Le Coefficient d'emménagement

Comme la transmissivité le coefficient d'emménagement est très variable au niveau de la nappe du Haouz.

6.2.4. Bilan de la nappe

Le bilan hydraulique est négatif au niveau de la nappe du Haouz. Le déstockage, est de l'ordre de **-105** Mm³ en configuration « moyenne », s'accroît bien évidemment en année hydro-climatologique déficitaire avec les effets conjugués d'une moindre recharge naturelle (réduction de la pluie efficace et du terme infiltré) et anthropique (moindre apport en eau de surface pour l'irrigation) et un accroissement des prélèvements à la nappe (Tableau 1)

Entrée	Volume (Mm3)
Apport pluviométrique	98
Infiltration des oueds	84
Apports profonds et latéraux	98
Retour des eaux (Irrigation + réseau divers)	242
Total Entrée	522
Sources captées	0
Sources non captées et drainage par les oueds	0
Pompages	627
Sortie vers autre nappe	0
Débordement	0
Evaporation	0
Total sortie	627
Bilan nappe	-105

Tableau 1: Tableau de l'entrée et sortie de la nappe

6.2.5. La vulnérabilité

Elle est liée à un niveau de risque dépendant principalement de trois facteurs ;
- les caractéristiques hydrogéologiques du site (épaisseur, perméabilité, substrat et des couches géologiques en particulier),

- les activités humaines, actuelles et anciennes (les quelles par exemple liées à la proximité d'autres puits, cuves, fosses ou réseaux d'égout, friches polluées (actifs ou anciens etc.).

- certains risques naturels tels que risque sismique, coulées de boue, pénétration d'un « biseau salé »,

Autour du puits de forage de captages souterrains se forme un cône de rabattement de la nappe phréatique, induit par le pompage. Si le sol n'est pas totalement imperméable ou que des fuites peuvent exister le long du puits ou à proximité, des polluants peuvent être facilement « aspirés » dans ce cône puis dans le réseau d'eau potable (le polluant dissous circulant par capillarité, ou solubilisé dans l'eau (nitrates par exemple), risquant de nuire à la potabilité de l'eau. C'est pourquoi dans la plupart des pays, des règles coutumières ou des lois protègent, au moins en théorie, les périmètres de captage voire la totalité de sols couvrant un champ captant vulnérable (Il peut s'agir de tout un bassin versant, si ce dernier est vulnérable). Le degré de la vulnérabilité de la nappe du Haouz est mesuré par quatre méthodes, la plus utilisée c'est la méthode DARSTIC qui est basée sur les paramètres suivants :

- ❖ D : Profondeur de la nappe ;
- ❖ R : Recharge de la nappe ;
- ❖ A : nature lithologique de l'Aquifère ;
- ❖ S : Nature du Sol ;
- ❖ T : Topographie ;
- ❖ I : Impact de la zone non saturée ;
- ❖ C : Conductivité hydraulique ;

A l'aide de ces paramètres on peut calculer l'indice de vulnérabilité et par la suite élaborer la carte de vulnérabilité pour délimiter les zones plus sensibles et celles les moins sensibles à la pollution. La figure 5 présente la carte de vulnérabilité.

La carte ci-dessous montre que la nappe du Haouz est globalement de faible à moyenne vulnérabilité et sensibilité à la pollution. Ceci s'explique par le caractère généralement faible à moyen de la vulnérabilité verticale de l'aquifère d'une part et de sa sensibilité d'autre part.

Le champ captant de l'oued N'Fis est situé à proximité d'un secteur de moyenne Vulnérabilité-sensibilité de la nappe.

La présence de plusieurs sources potentielles de pollution à proximité de ces importants champs captants (zone industrielle, décharges brutes, périmètre irrigué) impose leur protection, dans les plus brefs délais, par des périmètres de protection rapprochée et éloignée. (Sinan et al, 2000).

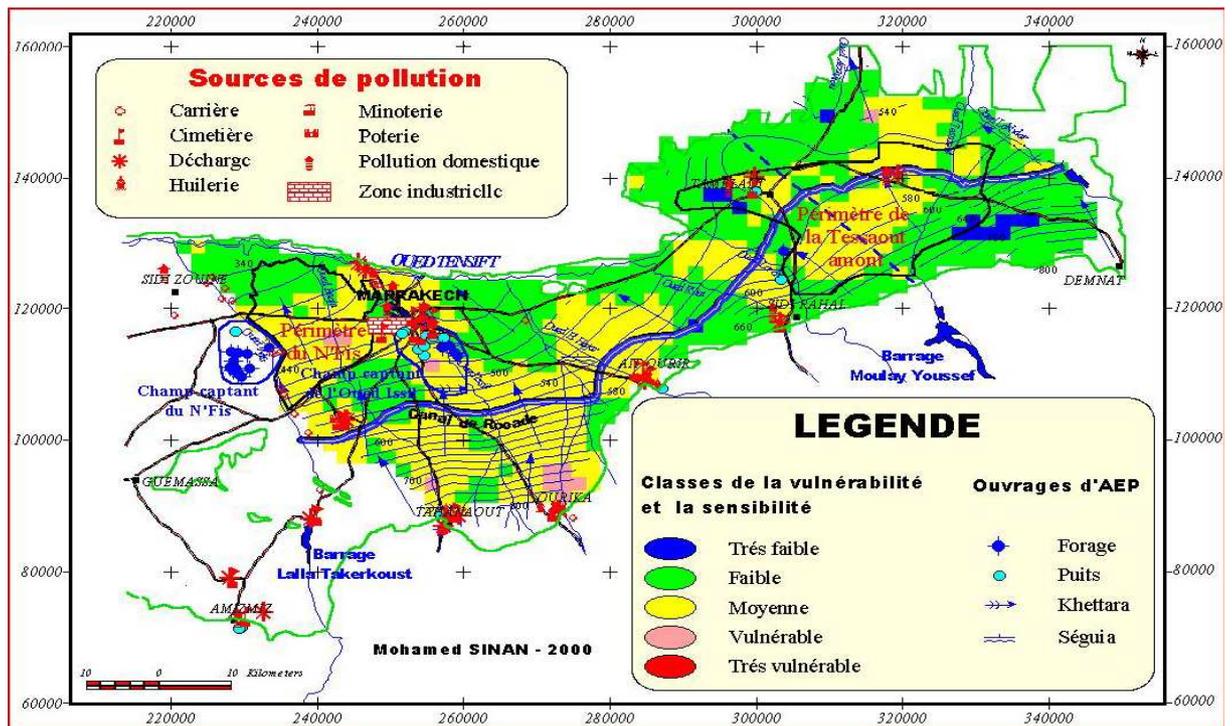


Figure 5: Vulnérabilité globale des ouvrages d'alimentation en eau potable captant la nappe du Haouz de Marrakech (Sinan et al, 2000)

Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines

1. Notion des périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines

1.1. Introduction

Au Maroc, les eaux souterraines représentent environ le tiers de la quantité d'eau mobilisée pour l'approvisionnement en eau potable. Elles offrent en général l'avantage de ne pas nécessiter des traitements poussés avant leur mise à disposition pour la distribution. La pérennisation de cette ressource nécessite la mise en place de périmètres de protection destinés à éviter les pollutions diverses pouvant altérer la qualité des nappes phréatiques.

La qualité des ressources en eau du Maroc connaît une dégradation croissante ces dernières années sous l'effet de la présence de foyers de pollution engendrés par des activités anthropiques. Il est devenu, de ce fait, nécessaire de mettre en place des mécanismes et des actions visant la préservation et la sauvegarde de ces ressources. La prévention de la contamination à l'échelle locale prévoit l'établissement de périmètres de protection autour des puits.

1.2. Définition et objectif

Un périmètre de protection est un espace délimité physiquement (clôture, cercle de pierres...) afin de sauvegarder et protéger l'accès à un espace qui présente un intérêt esthétique ou patrimonial, ou bien une dangerosité certaine.

Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines sont définies comme autant un outil idéal pour aviser et réduire toute cause de pollution susceptible de nuire à la qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable.

La mise en place des périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation et la surveillance des prescriptions associées, améliore la sécurité sanitaire en réduisant le risque de pollution microbienne ou toxique massive et brutale en contrôlant les activités susceptibles de générer des pollutions accidentelles pouvant avoir un impact sur la qualité des eaux.

La notion des périmètres de protection est largement traitée dans la littérature internationale. Au niveau national, la loi n° 10-95 sur l'eau au Maroc prévoit trois zones de protection des ressources en eau (forages, champs captants, barrages, sources, etc.) : la zone de protection immédiate ; la zone de protection rapprochée et la zone de protection éloignée.

1.3. La loi d'eau N° 10-95

1.3.1. Principes

La loi de l'eau repose sur un certain nombre de principes de base qui découlent des objectifs cités ci-dessous :

- **La domanialité publique des eaux** : d'après ce principe, posé par les dahirs de 1914 et 1919, toutes les eaux font partie du domaine public à l'exception des droits acquis et reconnus. Cependant, la nécessité d'une valorisation maximale des ressources en eau imposée par leur rareté a fait que la loi a apporté une limite à ces droits de telle sorte

que les propriétaires de droits sur les eaux seulement ou sur des eaux qu'ils n'utilisent qu'en partie seulement pour leurs fonds ne peuvent les céder qu'aux propriétaires de fonds agricoles,

- **La mise au point d'une planification** de l'aménagement et de la répartition des ressources en eau basée sur une large concertation entre les usagers et les pouvoirs publics,
- **La protection de la santé de l'homme** par la réglementation de l'exploitation, de la distribution et de la vente des eaux à usage alimentaire,
- **La réglementation des activités** susceptibles de polluer les ressources en eau,
- **La répartition rationnelle** des ressources en eau en période de sécheresse pour atténuer les effets de la pénurie,
- **Une plus grande revalorisation agricole** grâce à l'amélioration des conditions d'aménagement et d'utilisation des eaux à usage agricole,
- **La prévision de sanctions et la création d'une police des eaux** pour réprimer toute exploitation illicite de l'eau ou tout acte susceptible d'altérer sa qualité.

Parmi les apports de cette loi, figure également la contribution à l'amélioration de la situation environnementale des ressources en eau nationales. Cette loi constituera en effet un moyen efficace de lutte contre la pollution des eaux étant entendu que la réalisation de cet objectif nécessite, par ailleurs, un travail législatif supplémentaire en matière de gestion du littoral et de réglementation des produits chimiques utilisés dans les activités économiques productrices.

1.3.2. Périmètres de sauvegarde et périmètres d'interdiction

1. 3.2.1. Article 49

Des périmètres dits de sauvegarde peuvent être délimités dans les zones où le degré d'exploitation des eaux souterraines risque de mettre en danger les ressources en eau existantes. A l'intérieur de ces périmètres, sont soumis à autorisation préalable :

- toute exécution de puits ou forages,
- tous travaux de remplacement ou de réaménagement de puits ou forages,
- et toute exploitation d'eaux souterraines, quel que soit le débit à prélever.

Les conditions de délimitation de ces périmètres et d'octroi d'autorisation sont fixées par voie réglementaire.

1. 3.2.2 Article 50

En cas de nécessité, des périmètres d'interdiction peuvent être délimités, par décret, dans les zones où le niveau des nappes ou la qualité des eaux est déclaré en danger de surexploitation ou de dégradation.

Dans chacun de ces périmètres, les autorisations et les concessions de prélèvement d'eau ne sont délivrées que lorsque l'eau prélevée est destinée à l'alimentation humaine ou à l'abreuvement du cheptel.

1.3.2.3. Article 62

Le ravitaillement en eau potable par tonneaux ou citernes mobiles ne peut être effectué que dans les conditions fixées par la réglementation. Dans tous les cas, l'eau doit provenir d'une adduction publique contrôlée ou, à défaut, d'un point d'eau autorisé.

1.3.2.4. Article 63

Des zones de protection doivent être établies autour des captages d'alimentation publique tels que sources, puits, forages, impluviums.

Ces zones comprennent :

- a) Un périmètre de protection immédiate des ouvrages vis-à-vis de la pollution bactérienne, dont les terrains doivent être acquis et protégés par l'organisme chargé de l'exploitation des ouvrages ; ces terrains font partie intégrante de l'ouvrage au profit duquel ils ont été acquis,
- b) Le cas échéant, un périmètre de protection rapprochée des points de prélèvement vis-à-vis de la pollution chimique, à l'intérieur duquel est interdite toute activité ou installation susceptible de constituer une source de pollution permanente et réglementé tout dépôt ou toute installation constituant un risque de pollution accidentelle des eaux.

La procédure de délimitation des périmètres de protection rapprochée est fixée par voie réglementaire.

Des périmètres de protection semblables peuvent être délimités, dans les mêmes conditions autour des retenues de barrages, des réservoirs enterrés ainsi qu'autour des ouvrages de retenue, d'adduction et de distribution.

1.4. Périmètres (ou zones) de protection

Les périmètres de protection des eaux souterraines constituent la mesure de protection des eaux la plus efficace en matière d'organisation du territoire. Elles doivent être définies autour de tout captage d'intérêt public (Figure 6).

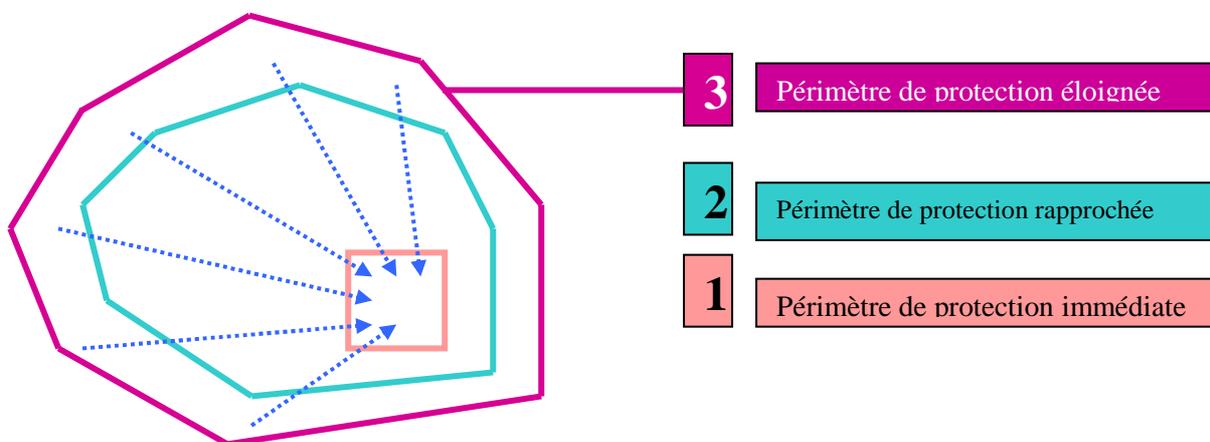


Figure 6 : Schéma représentatif des périmètres de protection

1.4.1. Périmètre de Protection Immédiate (PPI)

La zone de protection immédiate est la zone de captage. Elle comprend les alentours immédiats d'un captage ou d'une installation de réalimentation de la nappe (un périmètre de 10 m au moins autour du captage et des drains des puits filtrants). Seules les interventions et activités en rapport avec le captage de l'eau sont autorisées dans cette zone. Toute interdiction vise à éviter des dégâts aux installations de captage ou une pollution directe de l'eau exploitée. La zone d'implantation du captage doit donc appartenir au service d'approvisionnement en eau et être clôturée.

Le périmètre de protection immédiate a donc pour fonctions d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et d'éviter que des déversements ou des infiltrations de substances polluantes se produisent à l'intérieur ou à proximité immédiate du captage.

Compte tenu de l'accroissement général des risques de pollution, une grande surface offrira plus de garantie et permettra, en outre, une augmentation du délai d'intervention face à une pollution venant de l'extérieur de la zone intégralement protégée.

Un aménagement correct et un entretien efficace des ouvrages de captage complètent cette première mesure de protection.

1.4.2. Périmètre de Protection Rapprochée (PPR)

Le périmètre de protection rapprochée a pour rôle la protection efficace du captage vis-à-vis de la migration souterraine des substances polluantes. Il présente une zone intermédiaire, qui accepte des activités sans risques pour la ressource et le captage, ou des activités diminuant le risque de pollution. Sa surface varie selon la vulnérabilité du captage et de la ressource en eau, c'est-à-dire selon les caractéristiques de l'aquifère et le débit de pompage.

La zone de protection rapprochée doit garantir qu'aucun microorganisme pathogène ne parvienne dans l'eau potable et que l'eau souterraine ne soit pas contaminée ou bloquée sur le dernier tronçon qu'elle parcourt avant le captage.

1.4.3. Périmètre de Protection Éloignée (PPE)

Le périmètre de protection éloignée prolonge éventuellement le précédent pour renforcer la protection contre les pollutions permanentes ou diffuses. Il sera créé si l'on considère que l'application de la réglementation générale, même renforcée, n'est pas suffisante, en particulier s'il existe un risque potentiel de pollution que la nature des terrains traversés ne permet pas de réduire en toute sécurité, malgré l'éloignement du point de prélèvement.

La zone de protection éloignée doit garantir que l'on dispose, en cas d'accident, de suffisamment de temps et d'espace pour écarter tout danger pour l'eau potable exploitée. Les entreprises qui représentent une menace pour les eaux souterraines (les stations d'essence par exemple) ne sont donc pas admises dans la zone de protection éloignée. Il est également interdit d'y laisser s'infiltrer les eaux usées et d'y extraire du gravier.

1.5. Les critères de délimitation des zones de protection

Les critères utilisés pour délimiter les zones de protection sont au nombre de cinq :

1.5.1. Le pouvoir épurateur d'encaissement

La sensibilité de la nappe est en fonction de la nature pédologique du sol et la lithologie de la zone non saturée.

On peut estimer le pouvoir épurateur par la méthode empirique de RHESE qui consiste à estimer quelle mesure un polluant déversé en surface du sol, verra sa teneur diminuer après parcours vertical jusqu'à la nappe, puis après parcours horizontal dans la nappe jusqu'au point de prélèvement.

1.5.2. Le rabattement

Ce critère qui dépend du débit du pompage met l'accent sur deux zones :

1.5.2.1. Zone d'influence

Zone où le niveau de la nappe est rabattu par le pompage.

1.5.2.2. Zone d'appel

Zone où l'ensemble des lignes de courant se dirigent vers le captage.

La détermination graphique de cette zone suppose la connaissance de la piézométrie avant et après la réalisation d'un essai de pompage. Elle consiste à tracer les courbes d'égal rabattement autour du forage ou puits en fonction du débit choisi.

A partir des valeurs de charge hydraulique on construit la surface piézométrique rabattue par le pompage et le tracé des lignes de courant qui en sera déduit, la zone d'appel du captage est définie.

1.5.3. Temps du transfert

C'est le temps nécessaire pour la migration des substances polluantes vers le captage au niveau de la nappe, il est déterminé soit par le calcul (technique de HOFMANN et LILLICH. Technique de WYSSLING ou bien celle de EPA) soit par des abaques (mises au point par SAUTY & THIERY).

1.5.4. Le rayon d'influence

Ce paramètre est déterminé par la distance qui peut être mesurée par Nomogramme mis au point par VAN WAEGENING & VAN DUIJVENBODEN et Le Nomographe de PETTYJHON si on connaît l'épaisseur de l'aquifère, la porosité, l'infiltration efficace, et la vitesse efficace.

1.5.5. Les limites d'écoulement

À l'aide des caractéristiques topographiques, physiques et hydrogéologiques qui contrôlent l'écoulement on peut préciser les périmètres de protection.

1.6. Délimitation des périmètres de protection des eaux souterraines

Les périmètres de protection des eaux souterraines sont délimités de telle manière que des captages ou des installations d'alimentation artificielle puissent, en cas de besoin, être

construits aux bons emplacements et être protégés par des zones de protection des eaux souterraines conformes aux prescriptions. Ce faisant, il faut tenir compte du fait que différents types de captage (par exemple puits unique, série de puits ou puits filtrant à drains horizontaux) peuvent entrer en ligne de compte et que la dimension des zones de protection variera en fonction des débits de concession.

La détermination d'un périmètre de protection des eaux souterraines implique donc d'une part que les conditions hydrogéologiques soient connues et d'autre part que les conditions d'implantation d'une installation de production d'eau potable soient respectées. Les investigations hydrogéologiques nécessaires doivent être effectuées avant délimitation (figure7).

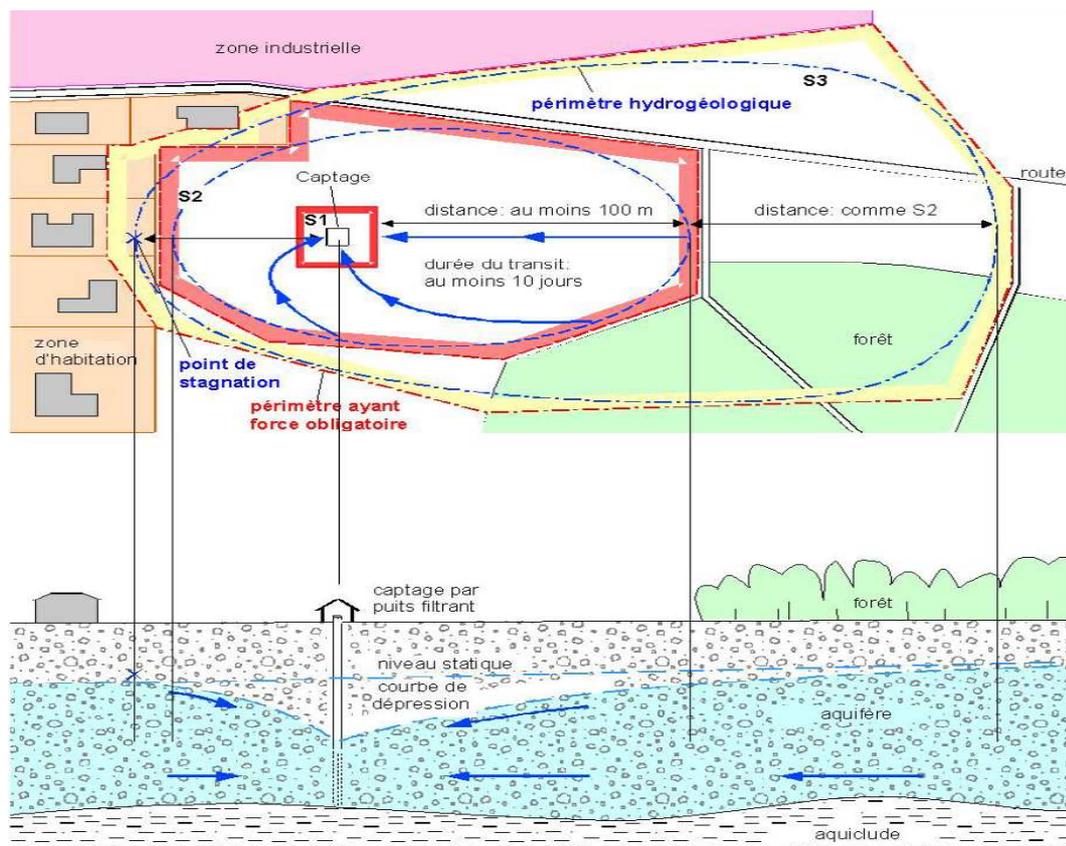


Figure 7: Les zones de protection d'un captage d'eau (instruction pratique des périmètres de protection des eaux souterraines)

1.6.1. Délimitation de la zone de protection immédiate (S1)

La zone de protection immédiate englobe le point de prélèvement où les contraintes de pollution sont fortes. Pour la délimitation de cette zone, on utilise la fonction de voisinage (zone tampon) autour des ouvrages à protéger, puis ensuite on procède à des ajustements pour tenir compte de l'occupation du sol et des contraintes locales. Elle doit être acquise en toute propriété et clôturée par l'exploitant et aucune activité polluante n'y est admissible.

Cette zone comprend le captage ou l'installation d'alimentation artificielle, la zone désagrégée par les travaux de forage ou de construction et, au besoin, l'environnement immédiat des installations.

Pour les eaux du sous-sol en milieu karstique ou fissuré, elle couvre encore d'autres zones :

a. si ces dernières présentent une vulnérabilité particulièrement forte (par exemple ponors, dolines, fissures et zones tectonisées), et

b. si l'existence d'une liaison directe entre ces zones et le captage ou l'installation d'alimentation artificielle est prouvée ou doit être présumée

1.6.2. Délimitation de la zone de protection rapprochée (S2)

La zone S2 est déterminée en prenant notamment en compte :

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

Les notions de base à retenir pour délimiter ce périmètre sont :

- la durée et la vitesse de transfert de l'eau entre les points d'émission de pollutions possibles et le point de prélèvement dans la nappe ;
- le pouvoir de fixation et de dégradation du sol et du sous-sol vis-à-vis des polluants ;
- le pouvoir de dispersion des eaux souterraines.

Dans des situations complexes, le périmètre de protection rapprochée peut comporter plusieurs zones, disjointes ou non, délimitées suivant la vulnérabilité de l'aquifère.

Pour faciliter son repérage, les limites de ce périmètre (ainsi que celles du périmètre de protection éloignée) suivront autant que possible les limites cadastrales (communes ou parcelles) et géographiques (cours d'eau, voies de communication).

La zone de protection rapprochée est obtenue à partir des couches d'informations correspondant à la zone d'appel, à l'isochrone 50 jours et à la carte pédologique (pouvoir épurateur des sols). L'ajustement final de cette zone est réalisé en tenant compte des différentes contraintes d'occupation du sol.

1.6.2.1. Délimitation de la zone S2 dans la roche meuble

Lorsque la nappe phréatique se situe dans une roche meuble, la zone S2 doit être délimitée de telle sorte que la durée d'écoulement des eaux dans le sous-sol, de la limite extérieure de la zone au captage, soit de 10 jours au moins. La plupart des agents pathogènes restent ainsi dans l'aquifère ou meurent avant de parvenir au captage.

De plus, il importe de veiller à ce qu'aucun agent pathogène ne puisse parvenir dans l'aquifère à l'intérieur de la zone S2, en raison par exemple de l'épandage de purin ou de

fuites dans les égouts. Ces mesures de précaution permettent d'éviter les infections transmises par l'eau potable.

1. 6.2.2. Délimitation de la zone S2 dans un milieu fissuré

Les aquifères fissurés présentent parfois des conditions similaires aux aquifères karstiques : les vitesses d'écoulement y sont très variables et peuvent être très élevées.

Ainsi, selon le critère de la durée d'écoulement de 10 jours, la zone S2 en milieu fissuré ne peut être délimitée que pour certains aquifères. Dans tous les cas, il faut tenir compte du type et de l'ouverture des fissures ainsi que de l'exposition du captage à la pollution (vulnérabilité).

La zone S2 est délimitée selon différentes méthodes en fonction de la vulnérabilité du captage ainsi que de la taille et de la distribution des fissures.

1. 6.2.3. Délimitation de la zone S2 dans un milieu karstique

Dans un sous-sol de type karstique, la vitesse d'écoulement des eaux souterraines est extrêmement variable, pouvant atteindre des valeurs très élevées (plusieurs kilomètres par jour). De plus, ce type de sous-sol assure un filtrage nettement moins efficace que les roches meubles. Dans ces conditions, la durée d'écoulement de 10 jours ne peut pas servir de critère pour la délimitation de la zone S2.

1 .6.3. Délimitation de la zone de protection éloignée (S3)

La zone de protection éloignée se situe entre la limite de la zone de protection rapprochée et la limite de l'aire d'alimentation.

Pour les eaux du sous-sol présentes dans les roches meubles, la distance entre la limite extérieure de la zone S2 et la limite extérieure de la zone S3 doit en règle générale être aussi grande que la distance entre la zone S1 et la limite extérieure de la zone S2.

Pour les eaux du sous-sol en milieu karstique ou fissuré, la zone S3 comprend les parties du bassin d'alimentation du captage ou de l'installation d'alimentation artificielle qui présentent une vulnérabilité moyenne.

1.7. Les activités interdites au niveau de chaque périmètre

- Dans la zone S1, seuls les travaux de construction et les activités servant à l'approvisionnement en eau potable sont autorisés ; une exception est consentie pour l'herbe fauchée laissée sur place.
- Au niveau de la zone S2, les activités non autorisées sont :
 - La construction d'ouvrages et d'installations (l'autorité peut accorder des dérogations pour des motifs importants si toute menace pour l'utilisation d'eau potable peut être exclue)
 - Les travaux d'excavation altérant les couches de couverture protectrices ;
 - L'infiltration des eaux à évacuer ;

- Les autres activités susceptibles de réduire la quantité d'eau potable et d'altérer sa qualité.
- En ce qui concerne la zone S 3, les activités interdites sont :
 - Les exploitations industrielles et artisanales impliquant un risque pour les eaux du sous-sol ;
 - les constructions diminuant le volume d'emmagasinement ou la section d'écoulement de l'aquifère ;
 - l'infiltration des eaux à évacuer, à l'exception des eaux non polluées s'écoulant des toits à travers une couche recouverte de végétation ;
 - la réduction importante des couches de couverture protectrices ;
 - les circuits thermiques qui prélèvent ou rejettent de la chaleur dans le sous sol ;
 - les réservoirs contenant des liquides de nature à polluer les eaux, dont le volume utile dépasse 450 l par ouvrage de protection, à l'exception des réservoirs non enterrés pour huile de chauffage et huile diesel destinés à l'approvisionnement en énergie de bâtiments ou d'exploitations pour deux ans au maximum ; le volume utile total de ces réservoirs ne doit pas dépasser 30 m³ par ouvrage de protection ;
 - les installations d'exploitation contenant des liquides de nature à polluer les eaux, dont le volume utile dépasse 2000 l.

1.8. Dossier technique relatif à la protection des champs de captage des eaux souterraines

Le dossier de technique comprend un certain nombre de données multidisciplinaires :

- Une description des caractéristiques des ouvrages et des contraintes de la situation ;
 - Caractéristiques du captage
 - Terrains traversés par le captage
 - Environnements du captage et occupation du sol
- Un rapport géologique et des analyses de l'eau brute ;
 - Données géologiques
 - Données pédologiques
 - Données climatologiques
 - Données hydrologiques
 - Données hydrogéologiques
 - Qualité de l'eau
- Des informations sur la vulnérabilité des ressources et les risques de pollution ;
 - Inventaire des sources et foyers de pollution
 - Vulnérabilité de l'aquifère

- Une analyse des conséquences du prélèvement sur le milieu naturel

2. L'élaboration des périmètres de protection

2.1. Démarche à suivre

L'établissement de périmètres de protection suit une procédure très précise. La phase préparatoire comprend :

- une étude technique (enquêtes de terrain, analyse de la qualité de l'eau) ;
- la consultation d'un hydrogéologue agréé ;
- l'élaboration des dossiers réglementaires

Une fois élaborés, ces éléments sont remis aux pouvoirs publics qui les instruisent puis organisent une enquête publique.

Les périmètres font ensuite l'objet :

- D'une déclaration d'utilité publique, c'est à dire d'un arrêté préfectoral qui les institue ;
- Eventuellement de servitudes : elles réglementent les activités agricoles ou industrielles dans ces périmètres pour aboutir à une meilleure protection de la ressource en eau ;
- D'une acquisition foncière pour le périmètre de protection immédiat.

2.1.1. Organigrammes pour l'élaboration des périmètres de protection des ressources en eaux souterraines

Pour l'élaboration du périmètre de protection immédiate on a besoin de la carte de situation de l'ouvrage (figure 8).

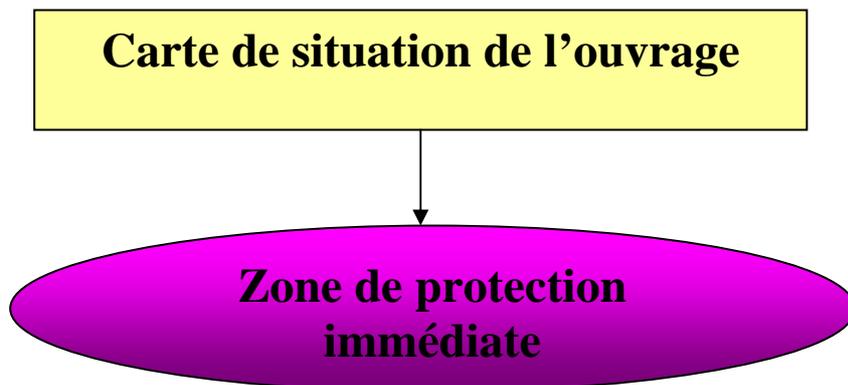


Figure 8: Organigramme d'élaboration de la zone de protection immédiate

Pour l'élaboration des périmètres de protection rapprochée on aura besoin des données telles que le réseau hydrographique, données climatiques, carte de qualité d'eau, occupation du sol, carte géologique et essais de pompage (figure 9).

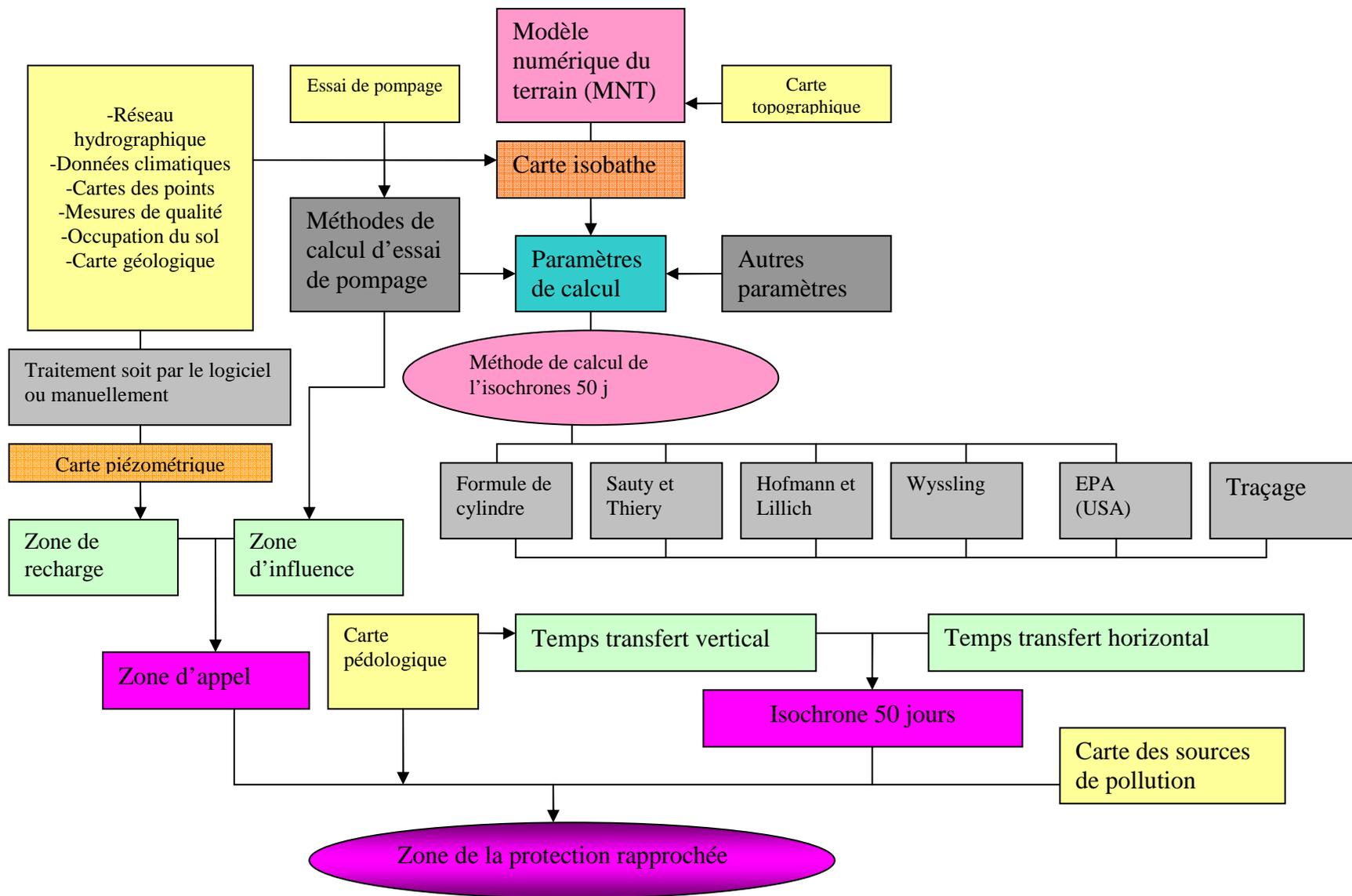


Figure 9: Organigramme d'élaboration de la zone de protection rapprochée

La méthode de délimitation de la zone de protection éloignée est expliquée par le schéma suivant (figure 10) :

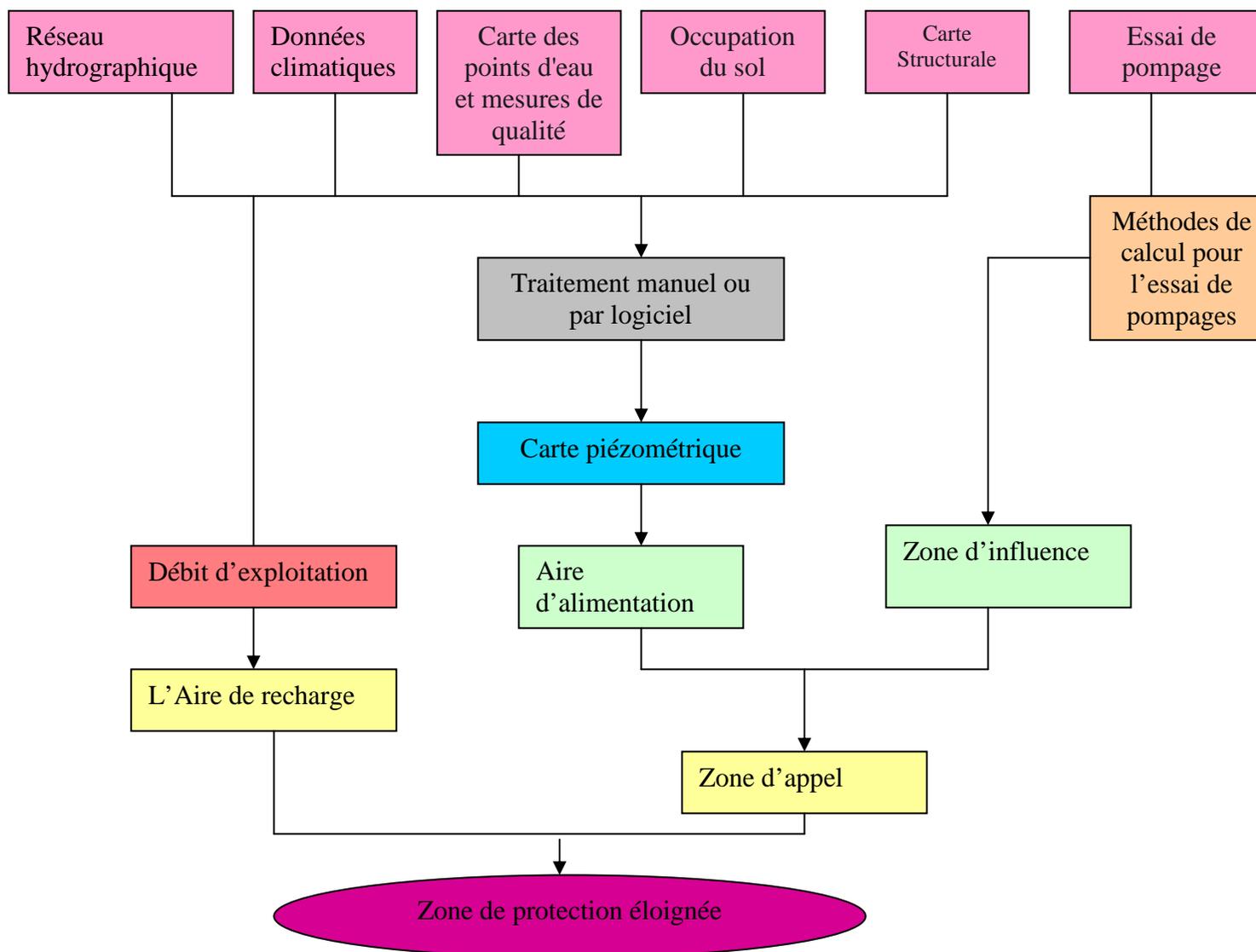


Figure 10 : Organigramme d'élaboration de la zone de protection éloignée

2.1.2. Méthodes de calcul de l'isochrone 50 j

Concernant la détermination de l'isochrone 50 jours, on a procédé de la manière suivante :

Calcul de la vitesse de transfert vertical par les différentes méthodes (formule de cylindre, Wyssling, etc.) à l'aide d'un programme spécifique. Le choix de l'une ou l'autre de ces méthodes se fait selon le contexte étudié

2.1.2.1. Sauty et Thiery

La méthode SAUTY et THIERY présente un moyen pratique pour la détermination des courbes d'égal temps de transfert. Dans le cas d'une nappe en équilibre hydrostatique (avant pompage) ainsi que pour une nappe en écoulement uniforme dans un aquifère (soumis à un pompage à un débit constant)

2.1.2.2. Hofmann et Lillich

La technique de HOFMANN et LILLICH ne s'applique que si le milieu est homogène et si le rabattement est faible en faisant appel à des données telles que la porosité efficace, la perméabilité, les caractéristiques du captage et un essai de pompage.

2.1.2.3. Wyssling

Elle consiste à calculer à la fois la zone d'appel et le temps de transfert en tenant compte du contexte hydrogéologique ou intervenant les caractéristiques transmissivité T, perméabilité K, porosité efficace (ou le coefficient d'emménagement S assimilé à la porosité). (Figure 11)

Formule de Wyssling

Les données utilisées sont les suivantes

b = épaisseur de l'aquifère en mm

K= perméabilité en m /s

I= gradient

w=porosité efficace

Q=débit du puits m³/s

Dans un premier temps on détermine la zone d'appel par le calcul. Dans une nappe libre, si B est la largeur du front d'appel.

On a :

$$Q=kBbi \quad B=Q/Kbi \text{ en mètres}$$

Le rayon d'appel :

$$X_0=Q/2\Pi Kbi$$

La largeur du front d'appel à hauteur du captage :

$$B'=B/2=Q/2Kbi$$

D'autre part la vitesse effective U est égale

$$U=Ki /w$$

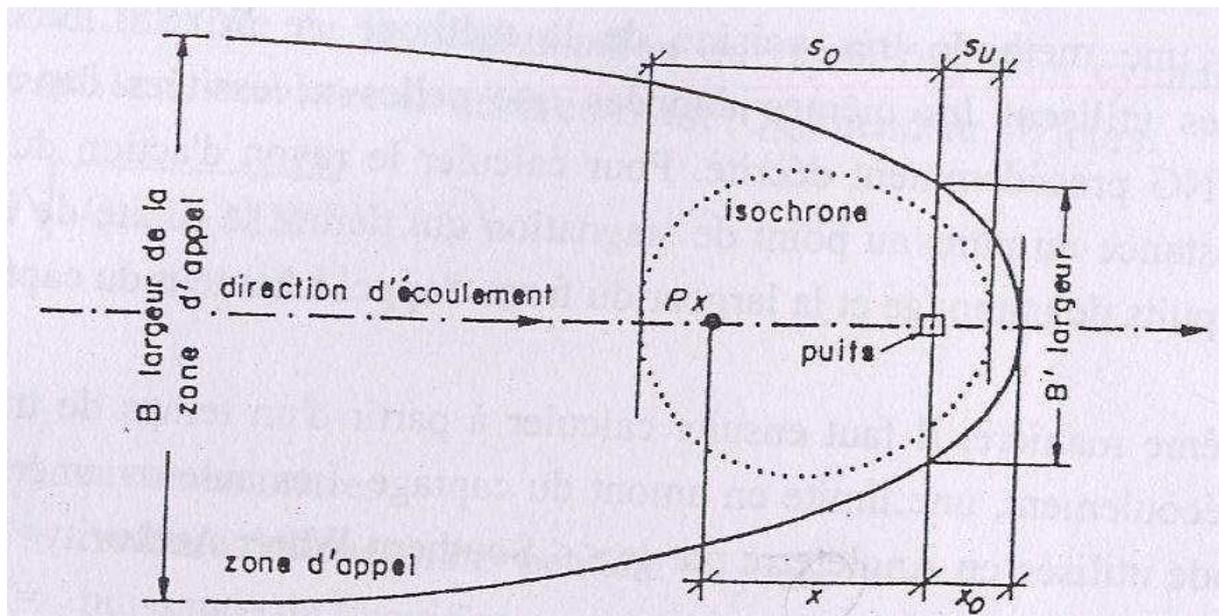


Figure 11 : Détermination des isochrones (Méthode Wyssling)

Une fois déterminée la zone d'appel, on cherche sur la direction d'écoulement la distance correspondant à un temps de transfert souhaité, par exemple 50 jours, c'est-à-dire cette distance est calculée par les formules suivantes :

$$S_0 \text{ ou } S_u = \frac{\pm L + \sqrt{L(L+8x_0)}}{2}$$

S_0 : Distance en amont du captage depuis le puits jusqu'à la distance correspondant au temps de transfert t souhaité en m.

S_u : Distance en aval du captage ; sur l'axe d'écoulement depuis le puits jusqu'à la distance correspondant au temps t souhaitée.

$$L = U * t$$

Cette formule donne une valeur approchée de S_0 et S_u .

Cette méthode est simple à utiliser. Elle demande un pompage d'essai et les essais et les données exposées précédemment.

2.1.3. Les périmètres de protection en fonction de la lithologie de l'aquifère

Pour les milieux poreux :

- la zone de protection immédiate est de l'ordre de 10 à 20m.
- la zone de protection rapprochée est de l'ordre de 100m.
- la zone de protection éloignée présente 4 km en amont du captage.

Pour un milieu karstique :

- la zone de protection immédiate est de l'ordre de 30m.
- la zone de protection rapprochée a pour distance maximale 1000m.
- la zone de protection éloignée reste la même (4 km en amont).

2. 2. La durée de la mise en place d'un périmètre de protection

Constituer des dossiers administratifs est une tâche parfois lourde, surtout lorsqu'il s'agit de régulariser la situation administrative d'ouvrages de prélèvement d'eau qui existent depuis longtemps.

La procédure est longue et complexe, il faut en règle générale plusieurs années entre la délibération initiale de la collectivité et la fin de la procédure. Aussi, il est important de faire appel à des spécialistes connaissant bien la démarche et capables de la suivre sur toute sa durée.

2. 3. Comment surveiller les périmètres de protection

La connaissance de l'impact des éventuelles activités sur la ressource est fondamentale, d'où l'intérêt de confier cette mission à l'opérateur du service d'eau. Il est souvent le mieux placé car le plus présent sur le site. Surveiller les périmètres relève par ailleurs de son intérêt, puisqu'il est en charge de la production d'eau potable et donc de sa qualité.

La gestion du périmètre immédiat et celle du périmètre éloigné sont relativement faciles. C'est la gestion du périmètre rapproché qui est la plus délicate, en raison des contraintes qui sont imposées aux occupants de l'espace.

2. 4. Démarche à suivre en cas de pollution des eaux souterraines

Si les eaux souterraines sont constatées polluées, l'autorité doit :

- Déterminer et évaluer la nature et l'ampleur de la pollution ;
- Déterminer les causes ;
- Apprécier l'efficacité des mesures possibles ;
- Veiller à ce que les mesures nécessaires soient prises en vertu des prescriptions légales correspondantes ;

3. Mesures de protection

La pollution constitue un risque permanent de limitation des ressources en eaux souterraines. L'urbanisation croissante et le développement économique contribuent à la dégradation quantitative et qualitative des nappes phréatiques. La protection et la préservation de ces ressources sont une nécessité de premier ordre particulièrement dans les zones arides et semi-arides (plaine du Haouz) où l'eau souterraine constitue la principale source hydrique.

3.1. Protection qualitative

L'eau est la seule boisson indispensable à la vie. C'est pourquoi il faut préserver sa qualité contre la pollution qui peut avoir une origine double naturelle (géologique) et anthropique (activités humaines).

La cartographie de la vulnérabilité environnementale présente un outil efficace pour limiter et contrôler les risques de dégradation de la qualité de ces eaux.

La préservation qualitative des eaux souterraines consiste à élaborer des périmètres de protection afin de :

- supprimer et ne plus autoriser (ni laisser faire!) les rejets directs d'eaux usées (domestiques, agricoles, industrielles).
- ne plus tolérer le déplacement des rejets des substances polluants dans les zones d'alimentation.
- réglementer strictement le transport des produits toxiques pour éviter toute pollution ou dégradation accidentelle des eaux souterraines.
- diminuer les quantités de phosphates et nitrates rejetées par l'agriculture.

3.2. Protection quantitative

Non seulement il est essentiel de ne pas polluer l'eau, mais il faut aussi l'économiser. Comment préserver les ressources, afin de ne pas épuiser les nappes phréatiques ou souterraines ?

3.2.1. Proscrire une baisse durable de la nappe phréatique

Les prélèvements opérés dans une nappe souterraine ne doivent pas être durablement supérieurs à la quantité d'eau qui l'alimente. Et il ne faut pas que le niveau des nappes d'eaux souterraines soit abaissé sur une grande surface, de façon prolongée ou permanente.

3.2.2. Débits résiduels

Le régime d'exploitation et le débit de concession des captages sont fixés en tenant compte de l'aspect des prélèvements d'eau souterraine qui doit respecter les prescriptions relatives aux débits résiduels des eaux superficielles.

3. 2.3. Drainage

Le drainage permanent d'une région exploitée à des fins agricoles, provoquant une baisse des nappes d'eaux souterraines sur une grande surface, n'est autorisé que s'il n'y a pas d'autre moyen de maintenir l'exploitation des terres agricoles². Pour d'autres besoins, tels que des constructions atteignant la nappe d'eaux souterraines, seul un abaissement temporaire est admis.

3.2.4. Infiltration

Les eaux non polluées doivent être évacuées par infiltration selon les directives des autorités cantonales. L'ordonnance sur la protection des eaux définit les notions d'eaux polluées et d'eaux non polluées.

3.2.5. Constructions

Les constructions réalisées dans un aquifère ne doivent pas en diminuer de façon notable et permanente la capacité d'emmagasinement ni d'écoulement ; cette règle s'applique également aux travaux souterrains profonds (voiles d'injection, enceintes de fouilles, parois

étanches) qui restent souvent en place après la fin des travaux et peuvent avoir des impacts sur les eaux souterraines plus marqués que ceux provoqués par l'ouvrage principal.

3.2.6. Extraction de matériaux

Quiconque entend extraire du gravier, du sable ou un autre matériau, ou effectuer des fouilles préparatoires à cet effet, doit obtenir une autorisation.

3. 2.7. Ouvrages de retenue

Les ouvrages de retenue de faible hauteur ne doivent pas affecter gravement les nappes d'eau souterraine ni la végétation qui en dépend. L'application de cette règle peut conduire à un mode d'utilisation qui diffère nettement du plan d'exploitation hydraulique optimal en terme de rentabilité.

3.2.8. Cours d'eau

Lors d'interventions (corrections, endiguements) sur un cours d'eau, son tracé naturel doit autant que possible être respecté ou, à défaut, rétabli. La correction (revitalisation) d'eaux courantes a également pour but de favoriser les échanges entre les eaux superficielles et les eaux souterraines. L'endiguement de cours d'eau peut par contre perturber la réalimentation naturelle des eaux souterraines et provoquer une baisse du niveau des nappes d'eaux souterraines. Les ouvrages de ce genre sont conçus de manière à préserver au mieux les interactions entre les eaux superficielles et les eaux souterraines.

La construction des périmètres de protection du champ captant N'Fis

1. Présentation du champ captant N'FIS

1.1 L'élaboration des cartes à l'aide de Arc Gis et Surfer

Le SIG est un système informatique de matériels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion (Figure 12).

Surfer est un logiciel qui permet la création de plusieurs types de graphique, la représentation cartographique en 3D, et la conversion des données en cartes et surfaces.

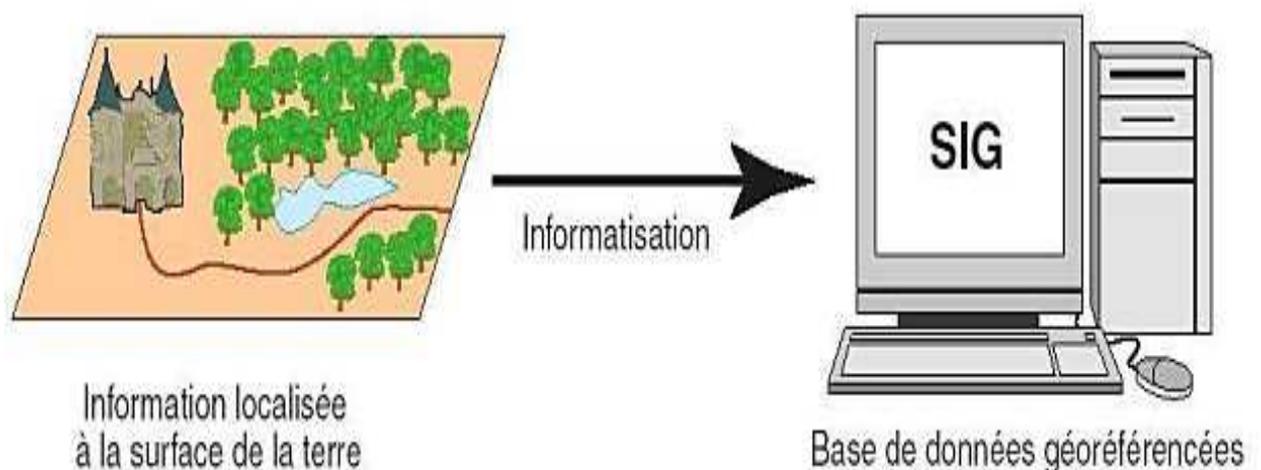


Figure12 : Dessin présentant la modélisation et l'analyse des données à référence spatiale

1.1.1. La carte de la localisation

Le champ captant N’Fis contenant 13 puits se localise au niveau du périmètre du N’fis qui est situé à l’extrême ouest du Haouz central, il est limité à l’est par la ville de Marrakech à l’Ouest par les collines des M’zoudias, au sud et au sud-est par le piedmont du Haut Atlas, au nord par l’Oued Tensift qui représente le collecteur naturel des oueds atlasiques du Haouz central. (Figure 13)

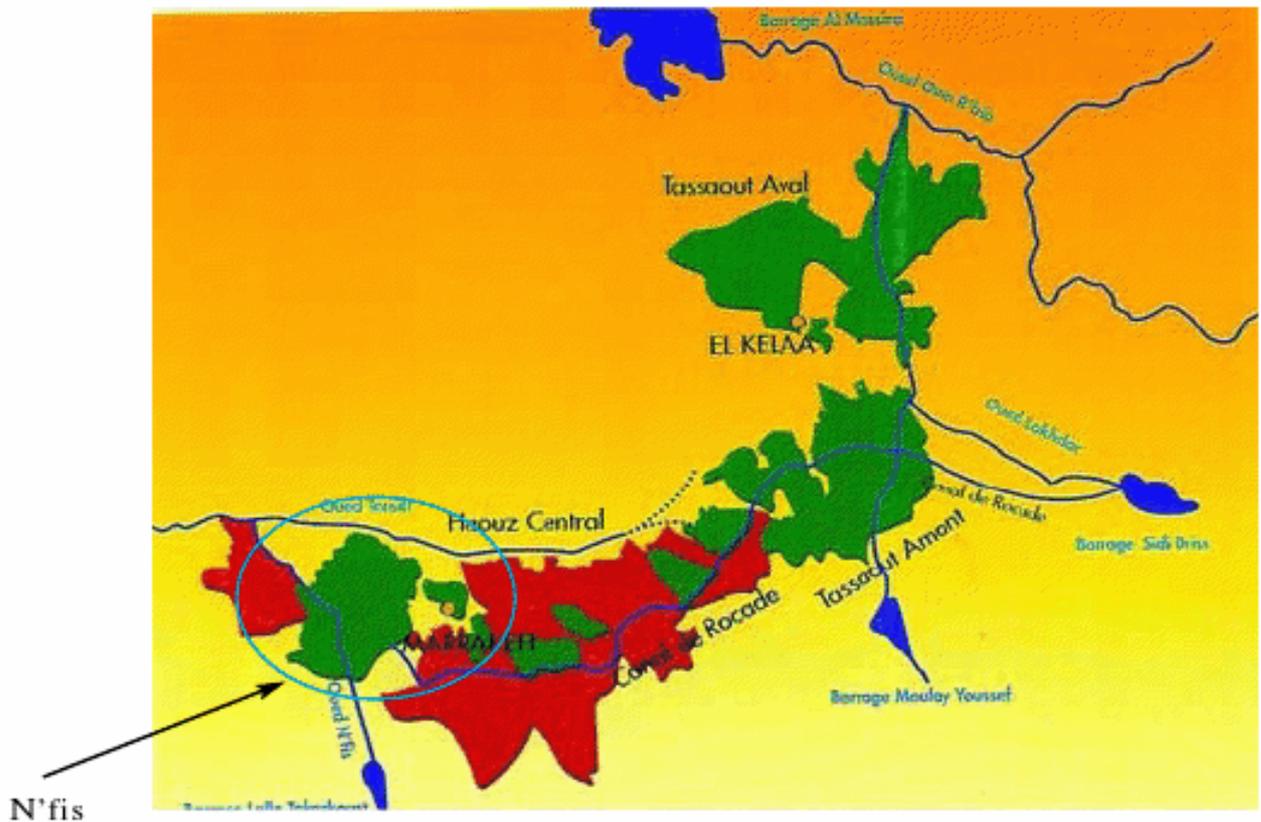


Figure13 : La carte de situation du périmètre de N’fis (A.Sbai, 2006)

1.1.2 .Carte piézométrique

Le traitement des données piézométriques de l’ABHT de l’année 2000 en utilisant les logiciels Surfer et Arc Gis nous a aidé à tracer la carte piézométrique du champ captant N’fis (figure14). Cette dernière montre que la piézométrie présente une baisse de l’ordre de 130m vers le Nord-Ouest. De ce fait l’écoulement de Sud-Est vers le Nord-Ouest. Les 13 puits du champ captant du N’Fis se trouvent entre les deux niveaux piézométriques 380 et 430m.

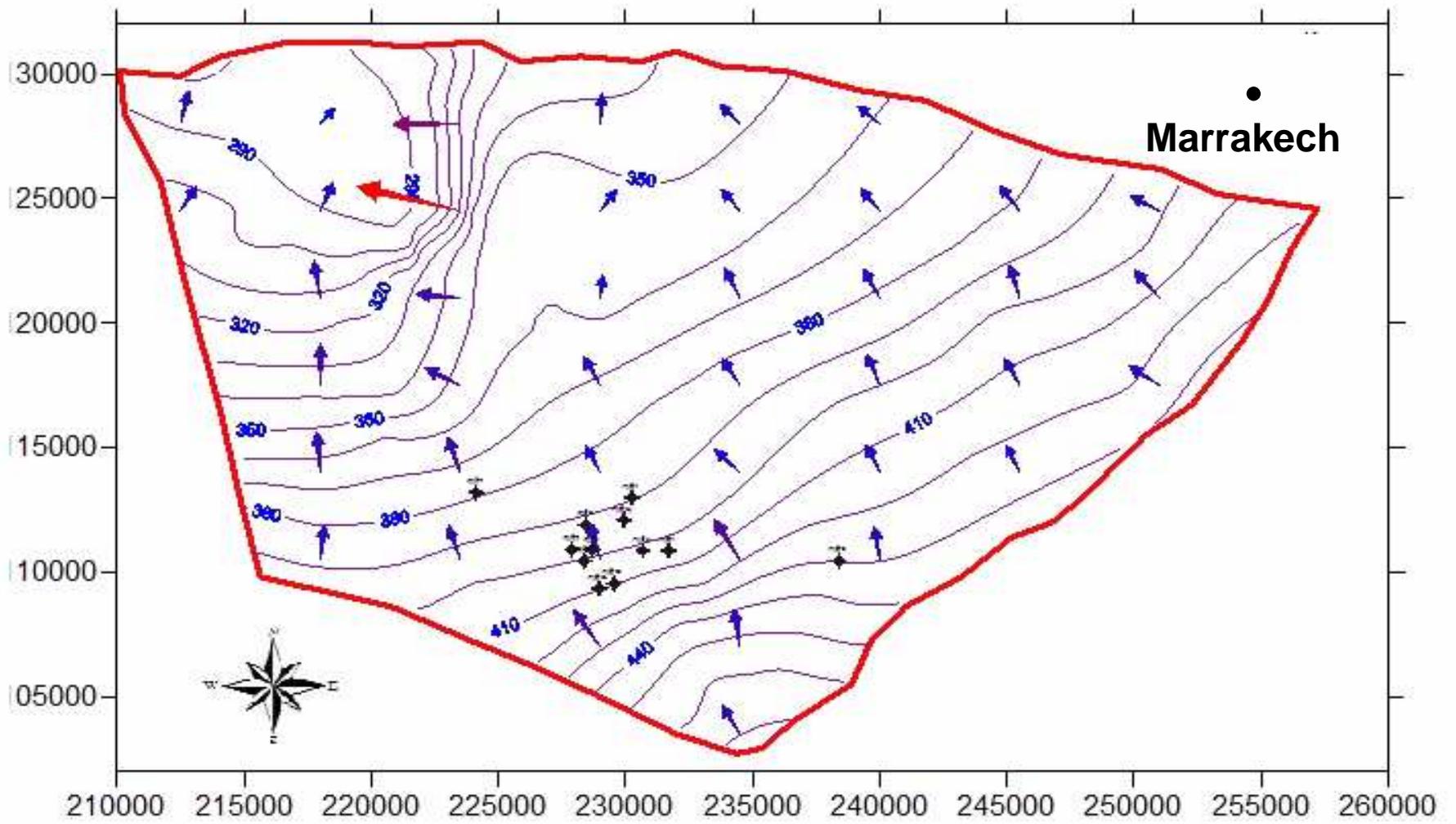


Figure 14 : La carte de la piézométrie du champ captant de N'fis

1.1.3. Carte de Perméabilité

Les données de perméabilité de l'ABHT et le logiciel Surfer nous ont permis de réaliser la carte de perméabilité du champ captant N'fis. Ce dernier définit les faibles perméabilités puisqu'il est situé dans un milieu poreux. Les valeurs de perméabilité les plus élevées sont localisées au Sud-est et dont la valeur maximale est 0,003 m/s. (Figure 15).

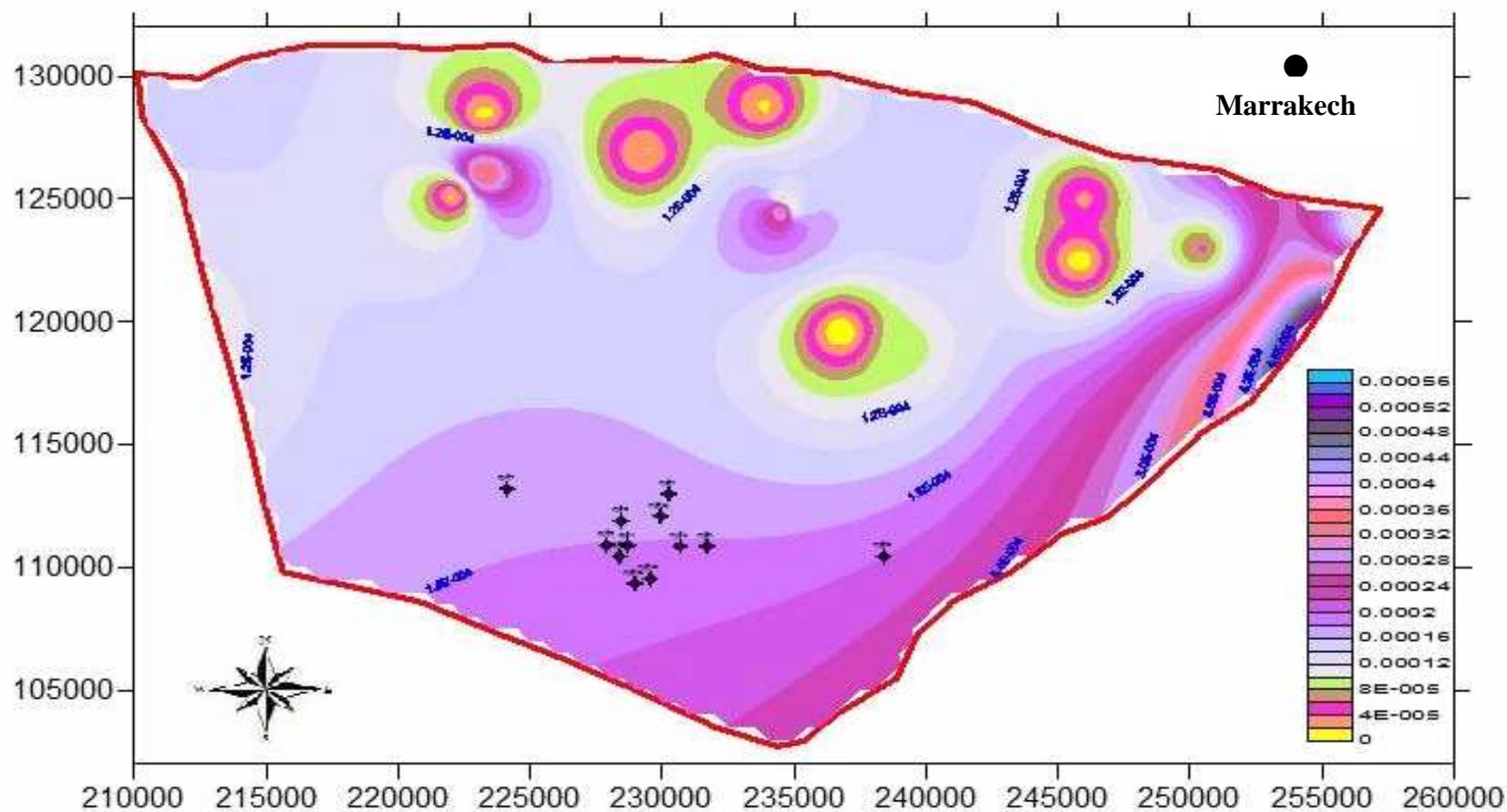


Figure 15 : La carte de la perméabilité du champ captant de N'fis

1.1.4. Carte de coefficient d'emmagasinement (S)

La carte de coefficient d'emmagasinement est obtenue en traitant les données de l'ABHT de l'année 2000 à l'aide du logiciel Surfer. D'après cette carte on constate que le champ captant de N'Fis est subdivisé en trois zones à coefficients d'emmagasinement différents. (Figure 16) :

- ❖ Zone à $S=0,01$ dans la partie Nord
- ❖ Zone à $S=0,025$ à l'Est et l'Ouest du champ captant.
- ❖ Zone à $S=0,05$ au centre et au Sud-est du champ de captage

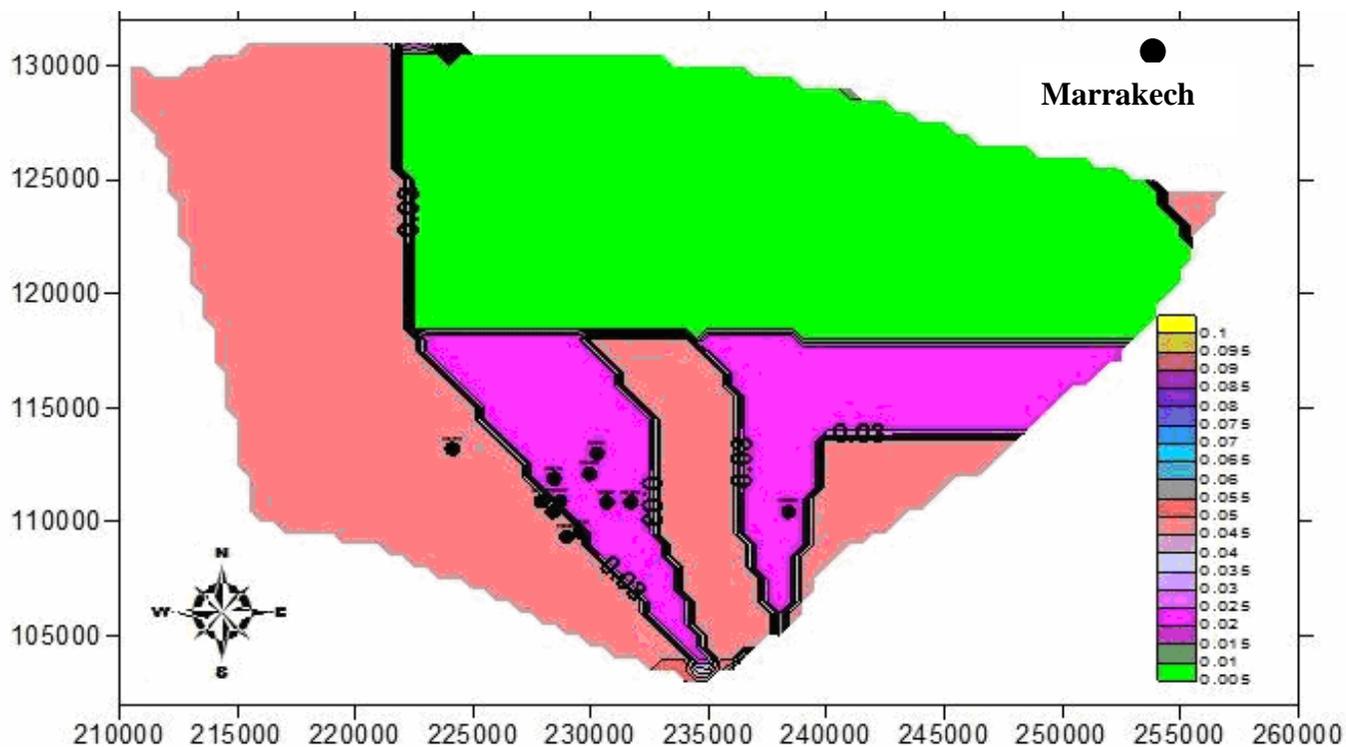


Figure 16 : La carte du coefficient d'emmagasinement du champ de captage du N'fis

1.1.5. Carte du gradient hydraulique

Le gradient hydraulique est calculé au niveau du logiciel Surfer en déterminant la pente de la piézométrie à l'aide de la formule suivante :

$$I = \text{Racine carrée } ((\Delta z / \Delta x)^2 + (\Delta z / \Delta y)^2)$$

Selon la carte obtenue on remarque que le champ captant N'fis est caractérisé par des faibles valeurs du Gradient hydrauliques.

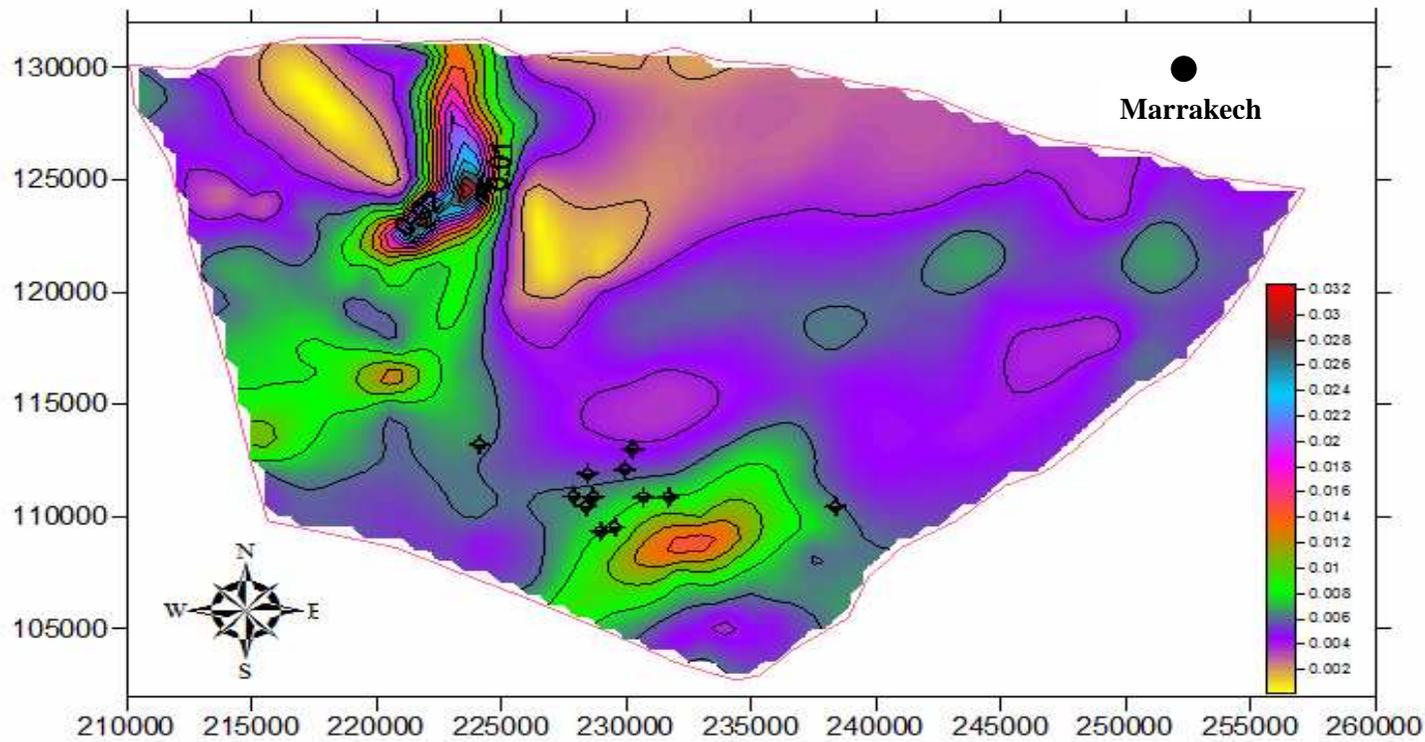


Figure 17: La carte du Gradient hydraulique du champ captant de N'fis

1.1.6. La carte de la vitesse réelle

A l'aide du logiciel Surfer on a calculé les vitesses réelles au niveau du champ captant N'fis en appliquant la relation suivante :

$$V_r = K i / S$$

Avec V_r : Vitesse réelle m/s

K : Perméabilité en m²/s

i : Gradient hydraulique

S : Coefficient d'emmagasinement

Les résultats des vitesses réelles montrent une variabilité de cette dernière au niveau du champ captant N'fis (Figure18).

Ce paramètre de la vitesse réelle est indispensable pour le calcul des isochrones 50 jours et par la suite l'élaboration des périmètres de protection rapprochée.

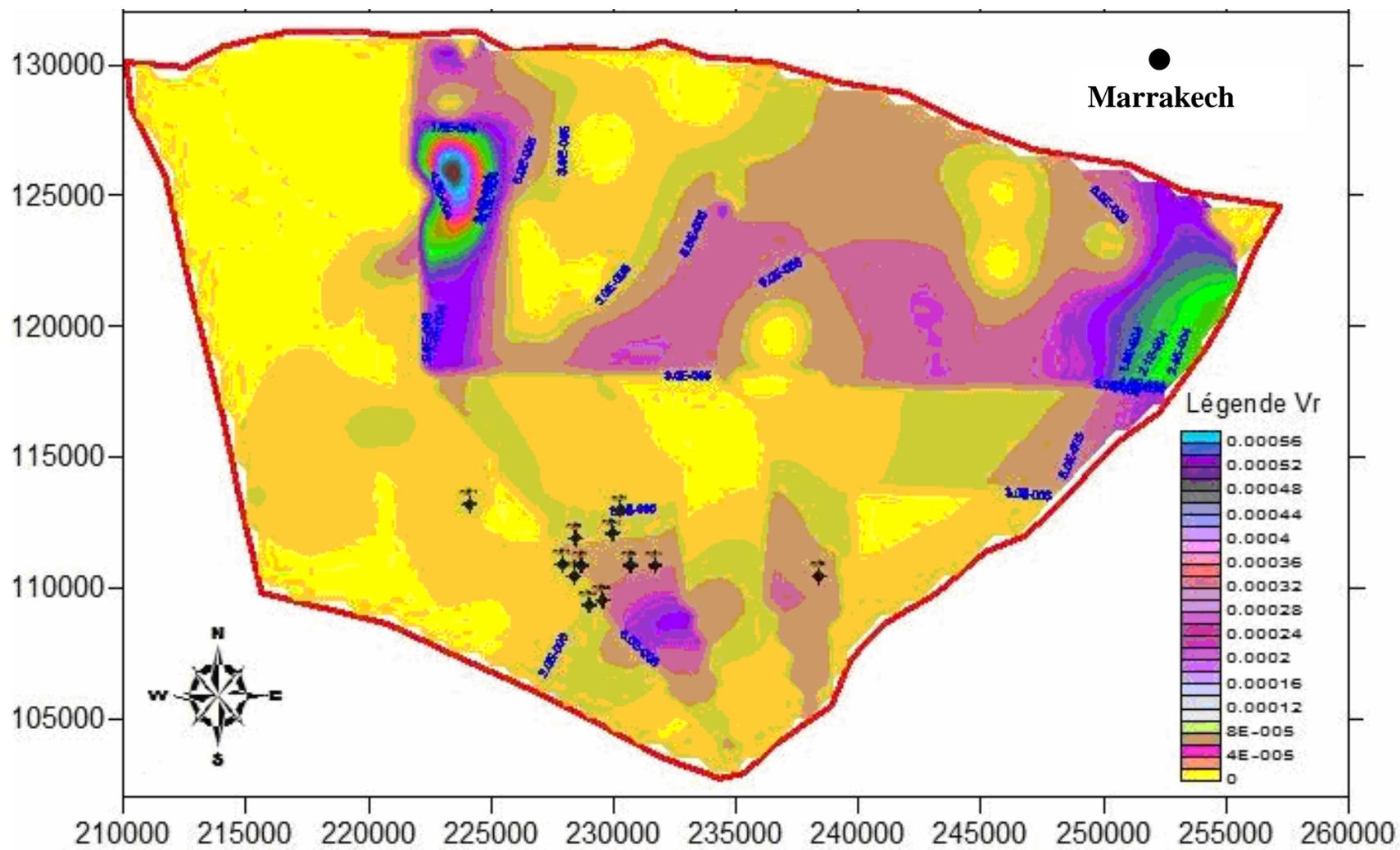


Figure 18 : La carte des vitesses réelles du champ captant de N'fis

2. Objectif de la Protection du champ captant N’Fis

Les eaux souterraines exploitées par l’ONEP dans le champ captant de N’Fis (Tableau 2) sont menacées par les différents types de pollution engendrés par les diverses activités que connaît la région.

A cet effet, il est nécessaire de prendre des mesures adéquates afin de réduire le risque de contamination de ces ressources. Ce qui rend la construction des périmètres de protection une priorité.

3. Délimitation des zones de protection

3.1. Zone de protection immédiate

Dans un milieu poreux comme le cas du bassin du Haouz la zone de protection immédiate varie entre 10 à 20 m autour du captage. En ce qui concerne les puits du champ captant du N’fis la zone de protection immédiate présentera un carré de 10 m de côté.

3.2. Zone de protection rapprochée

Pour la délimitation du périmètre de protection rapproché, il faut calculer la zone d’appel et l’isochrone 50 jours pour cela on va utiliser la méthode Wyssling puisque l’écoulement de la nappe n’est pas uniforme et le milieu est hétérogène.

Les relations utilisées pour le calcul :

$$VD=K*i$$

$$Vr=VD/ne=VD/S$$

$$t=Xo/Vr$$

VD : vitesse Darcy.

K : Perméabilité

I : Gradient hydraulique

Vr : vitesse réelle

Ne : Porosité efficace

S : Coefficient d’emménagement

$Ne=S$ (Puisque on est dans une nappe libre)

T : Temps de transfert

X_0 : Rayon d'appel

Les données nécessaires pour le calcul :

A	X	Y	Perméabilité k en m/s	Coefficient d'emménagement (S)	Gradient hydraulique (i)
Puits 1	230687	110863	0,000185	0,025	0,008
Puits 3	228450	111900	0,00018	0,025	0,006
Puits 4	227900	110900	0,000185	0,05	0,007
Puits 5	228687	110882	0,000185	0,025	0,007
Puits 6	230264	113003	0,000165	0,025	0,005
Puits 7	224122	113202	0,000165	0,05	0,0065
Puits 8	231689	110862	0,000185	0,025	0,008
Puits 9	228388	110444	0,00019	0,05	0,007
Puits 10	229950	112100	0,000175	0,025	0,006
Puits 11	228980	109350	0,000195	0,05	0,008
Puits 12	229550	109525	0,000195	0,05	0,008

B	Q en m ³ /s	Q en l/s	Altitude en m	NP en m	Epaisseur en m
Puits 1	0,00032629	0,32629376	427,4	400	27,4
Puits 3	0,00038559	0,385591071	414,8	397	17,8
Puits 4	0,00177607	1,776065449	422	392	30
Puits 5	0	0	421,14	392	29,14
Puits 6	0,00030473	0,304731101	411	390	21
Puits 7	0,00150019	1,500190259	407,64	380	27,64
Puits 8	0	0	431,8	405	26,8
Puits 9	0,00150431	1,504312532	428,4	400	28,4
Puits 10	0,00244482	2,444824962	426	397	29
Puits 11	0,00278792	2,787924911	429	410	19
Puits 12	0,00215309	2,153094876	430,715	410	20,715

Tableau 2 : A et B Tableaux des paramètres hydrauliques caractérisant le champ captant de N'fis (Source : L'ABHT)

3.2.1. Le tableau du calcul des isochrones 50 jours

La largeur du front d'appel est un paramètre nécessaire pour la délimitation du périmètre de protection rapprochée, ainsi que l'isochrone 50 jours. Ce dernier est calculé en utilisant la vitesse réelle et le rayon d'appel. (Tableau 3)

	Le rayon d'appel	La largeur du front d'appel B	B'	Vitesse réelle Vr en m/s	L=Vr*t	L'isochrone 50jours en m
Puits 1	1,281258755	8,04630498	4,02315249	0,0000592	255,744	516,56
Puits 3	3,193916562	20,057796	10,02889801	0,0000432	186,624	385,61
Puits 4	7,279613117	45,7159704	22,85798519	0,0000259	111,888	249,86
Puits 5	0	0	0	0,0000518	223,776	447,55
Puits 6	2,800811582	17,5890967	8,794548368	0,000033	142,56	295,91
Puits 7	8,058447072	50,6070476	25,30352381	0,00002145	92,664	213,33
Puits 8	0	0	0	0,0000592	255,744	511,49
Puits 9	6,341740232	39,8261287	19,91306433	0,0000266	114,912	252,88
Puits 10	12,78500289	80,2898181	40,14490906	0,000042	181,44	408,33
Puits 11	14,97763454	94,0595449	47,02977246	0,0000312	134,784	320,03
Puits 12	10,60947729	66,6275174	33,3137587	0,0000312	134,784	306,85

Tableau 3: Tableau de calcul d'isochrones 50 jours

3.2.2. Conclusion

Le puits 1 localisé à l'amont décrit une forte perméabilité et un fort gradient hydraulique par rapport aux autres puits, ainsi qu'un faible coefficient d'emmagasinement. C'est pour cette raison qu'il présente l'isochrone le plus élevé avec une valeur de l'ordre 516,56 m.

Le puits 7 situé en aval, présente une faible perméabilité et un fort coefficient d'emmagasinement, définit l'isochrone le plus faible au niveau du champ captant N'fis.

3.3. Zone de protection éloignée

La délimitation des périmètres de protection éloignée des puits du champ captant N'fis est déterminée en calculant l'aire de recharge de la nappe par la formule suivante qui prend en compte le débit et l'infiltration, cette dernière définit l'alimentation verticale qui présente 5% de la moyenne des précipitations annuelles (300mm par an).

$$SR = (Q * 10^3) / I$$

SR: surface de recharge ou Aire de recharge autour du puits

Q : débit maximal (m³ /an)

I: infiltration (mm)

3.3.1. Tableau du calcul de l'air de recharge.

En ce qui concerne le périmètre de protection éloignée. Il est délimité par le calcul de la surface de recharge de chaque puits en se basant sur le débit maximal et la vitesse d'infiltration (Tableau 5).

	Cordonnées X	Coordonnées Y	Débit en m ³ /an	Infiltration en mm/an	Surface de recharge en m ²
Puits1	230687	110863	10290	15	10290000
Puits 3	228450	111900	12160	15	12160000
Puits 4	227900	110900	56010	15	56010000
Puits 5	228687	110882	0	15	0
Puits 6	230264	113003	9610	15	9610000
Puits 7	224122	113202	47310	15	47310000
Puits 8	231689	110863	0	15	0
Puits 9	228388	110444	47440	15	47440000
Puits 10	229950	112100	77100	15	77100000
Puits 11	228980	109350	87920	15	87920000
Puits 12	229550	109525	67900	15	67900000

Tableau 5 : Tableau du calcul de la surface de recharge du champ captant N'fis

3.4. Schéma des périmètres de protection des puits du champ captant N'Fis :

La carte ci-dessous définit une représentation schématique des périmètres de protection du champ captant N'Fis.

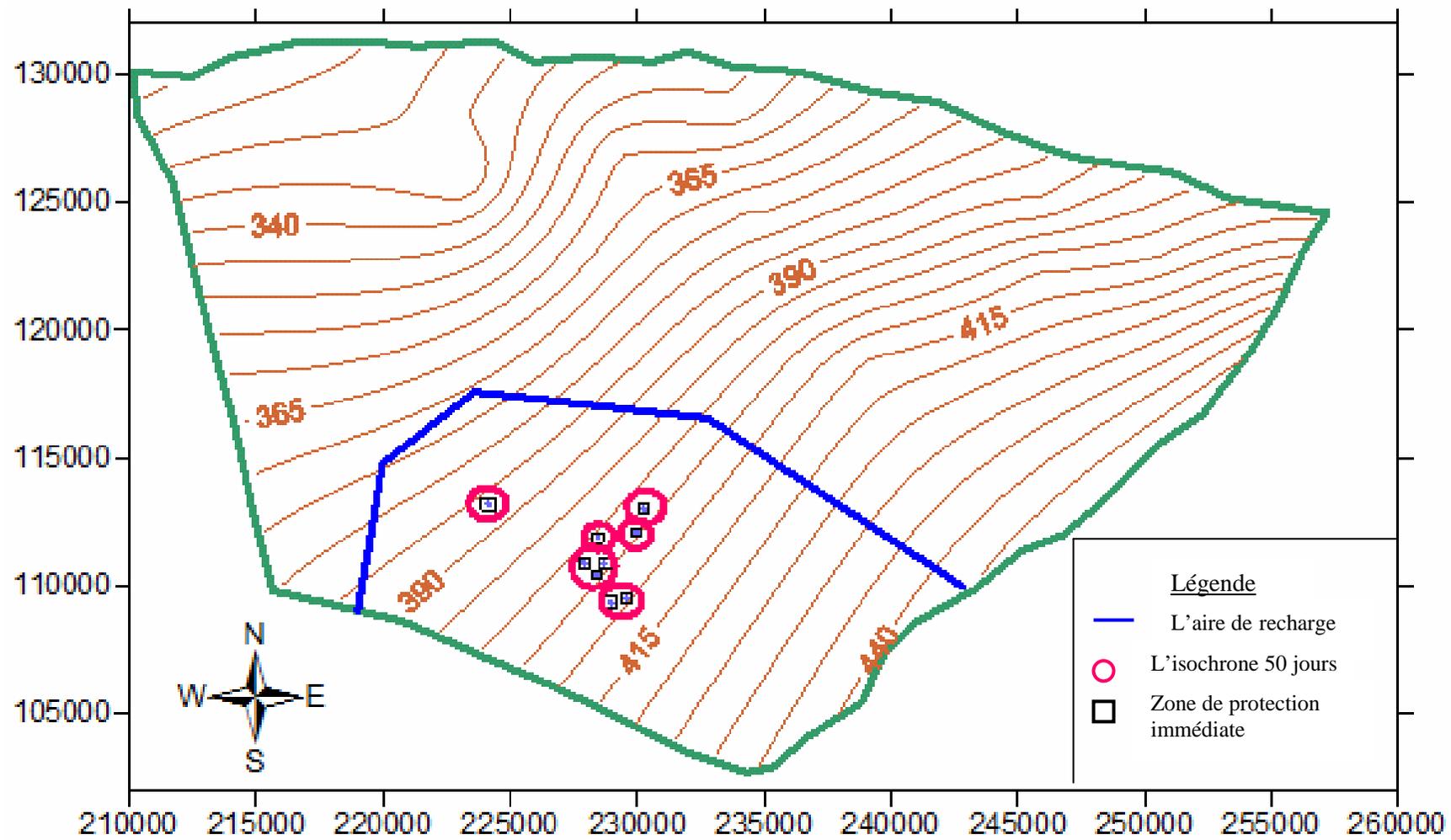


Figure 19 : Schéma représentatif des périmètres de protection du champ captant N'Fis

Conclusion

L'élaboration des périmètres de protection du champ captant du N'Fis qui présente une tâche primordiale pour assurer la préservation de la qualité et la quantité de ces eaux destinées à l'alimentation en eau potable, s'effectue en trois étapes :

- L'étape technique : qui consiste à établir le dossier technique en rassemblant tous les données nécessaires pour le calcul des périmètres de protection citant les caractères hydrodynamiques de la nappe et sa vulnérabilité, ainsi que les critères géologiques et environnementaux.
- L'étape administrative : cette phase exige la consultation des administrations et les services concernés pour la mise en place des périmètres de protection.
- L'étape de surveillance : il s'agit d'un suivi et gestion de ces périmètres. Elle présente la phase la plus délicate surtout au niveau de la zone de protection rapproché suite aux contraintes imposées aux occupants de l'espace.

La réussite de ces trois phases va garantir une bonne conservation de ces ressources souterraines qui deviennent de plus en plus rares.

Notre travail est limité au niveau de la phase technique, cette dernière se traduit en traitant les données de l'ABHT en utilisant les logiciels Surfer et Arc Gis qui nous ont permis d'établir des diverses cartes telles que la carte piézométrique, la carte de perméabilité et celle du coefficient d'emmagasinement, ainsi que la détermination du gradient hydraulique et la vitesse réelle qui sont nécessaires pour le calcul du rayon d'appel, la largeur du front d'appel et l'isochrone 50 jours afin de délimiter le périmètre de protection rapproché du champ captant N'fis.

En ce qui concerne le périmètre de protection éloignée, nous avons calculé la surface de recharge de chaque puits en se basant sur le débit maximal et la vitesse d'infiltration.

Bibliographie

- **Mohamed SINAN**, (octobre 2000), Méthodologie d'identification d'évaluation et de protection des ressources en eau des aquifères régionaux par couplage des SIG, de la géophysique et de la géostatique. Application à l'aquifère du Haouz de Marrakech (Maroc). Thèse d'Etat, Ecole Hassania des travaux publics
- **Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)**, Instruction pratiques pour la protection des eaux souterraines. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Instruction pratiques pour la protection des eaux souterraines
- **Mohamed SINAN et Rachid MASLOUHI, Maroc et Moumtaz RAZACK**, (2003), Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraines. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc. (2nd FIG Regional Conference, Marrakech ; Morocco ; Décembre 2-5 ; 2003).
- **J.Y.CAOUS et E.ROUXEL DAVID**, (Janvier 2004), Avis sur les périmètres de protection du nouveau captage AEP d'Oches. (08). BRGM/RP -52869-FR
- **Abdelkader El Garouani et Abdelaziz Merzouk**, (2005), Approche géomantique pour la délimitation de périmètres de protection des ressources en eaux souterraines (champ captant). Sechresse, (8,76)
- **N.EL.Goumi, M Jaffal, A.Kchikach, A.Manar**,(2010), Apport de la gravimétrie à l'étude de la structure du bassin du Haouz(Maroc). Estudios geológicos (181,191).

Sites web consultés

- <http://www.anafide.org/doc/HTE%20122/122-1.pdf>
- http://www.admin.ch/ch/f/rs/814_201/app6.html
- http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:tMUnu9g2FboJ:www.oosa.unvienna.org/pdf/sap/2007/morocco/presentations/3-5.pdf+utilisation+de+la+nappe+du+Haouz&hl=en&pid=bl&srcid=ADGEEsSzCCqxDs25rxIBHhBA0LI-YSq0YilgWcfHlsWixIOwlycl-BneB6HFm3rDJMBXpZ1IYRgyqYSrJMIV0pUr6_7AYGu25oQNx-KBZHfgmRSYUvHaNEBPD-WVKzFfVI7EpxgNGhiU&sig=AHIEtbQCyvvhBh93OKrUf0RqM0olnTzfA
- http://www.eau-tensift.net/fileadmin/user_files/pdf/Sud_Med/Poster-Aahd-Jurassique_infiltration_nappe.pdf
- <http://www.cwepss.org/protectionEau.htm>
- http://www.reme.info/fileadmin/user_files/pdf/r%C3%A9glementation_mar_eau/loi_10-95_sur_1_eau-1.pdf
- http://iahs.info/redbooks/a066/iahs_066_0564.pdf
- http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique176&id_article=351
- <http://www.secheresse.info/spip.php?article1952>
- [http://www.anafide.org/doc/HTE%20133/HTE133\(S_Bai\)2v.pdf](http://www.anafide.org/doc/HTE%20133/HTE133(S_Bai)2v.pdf)
- <http://www.eau-tensift.net/menu/nos-ressources-en-eau/eaux-souterraines/nappe-du-haouz-m.html>.

- http://www.irrimed.org/sudmed/documents/bibliotheque/posters/SudMed_hydrogeologie.pdf
- <http://www.universalis.fr/encyclopedie/haouz/>
- http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rga_0035_1121_1962_num_50_4_1002#
- http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:UM9MjP_rbocJ:smap.ew.eea.europa.eu/media_server/files/S/u/debat_abht.pdf+les+nappes+profondes+du+bassin+du+Haouz&hl=en&pid=bl&srcid=ADGEESipGKC15PPRMwKLJH326MQDp--xC1cBI0hRBsMEjUJhpZngne44gXp809E72WbUVxUXAwYi310ZkRfkrMrQN4MaGJaF2zWnqa2qQgvWjELwUvbMStfT7JKuhy6uIjt7F59YI7X6&sig=AHIEtbQtSM32TPLh0IFFQ8TVANYVYfzjNw
- <http://www.eau-tensift.net/index.php?id=211&type=123>
- <http://pays-de-la-loire.sante.gouv.fr/envir/seep013.htm>
- <http://www.wademed.net/Articles/212Abourida.pdf>

Liste des abréviations

ABHT : Agence du Bassin Hydraulique de Tensift.
 ONEP : Office National de l'Eau Potable.
 RADEE Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité
 ORMVA : Office Régional de Mise en valeur Agricole
 ONE : Office National de l'Electricité
 LPEE : Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes
 CDER : Centre de Développement des Energies Renouvelables
 CNESTEN : Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaires
 CRI : Centre Régional d'Investissement..