

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université de Mohamed Seddik Benyahia - Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

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

Option : Eau et Environnement

Thème

Modélisation du fonctionnement hydrodynamique de la
nappe Alluvial d'Oued Nil (wilaya de Jijel)

Membres de Jury

Président :

Examinateur :

Encadrant : Taha-Hocine DEBIECHE

Présenté par :

Chouial Hocine

Zitari Manel

Année Universitaire 2014-2015

Numéro d'ordre (bibliothèque) :



Remerciement

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à terme ce présent travail.

Nous remercions énormément, très chaleureusement Monsieur Debieche Tah-Hocine, d'avoir accepté de nous encadrer et nous lui sommes très reconnaissant pour ces précieuses aides pendant les moments difficiles

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné spécialement : Mr Mehdiel Souhil, Mr Zahi Faouzi et Mr Derouiche Abdelmalek et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Nous remercions tous les professeurs qu'il nous ont enseigné durant les cinq années passé au département STU et aussi mes amis pour leur soutien et patienter

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de s'enrichir par leurs propositions

Hocine

Manel

N Figures	Titre	N° pages
Figure 1	Cycle d'eau (A) et sa représentation schématique (B) (Freeze, 1979).	01
Figure 2	Régime d'infiltration et de ruissellement au cours d'une pluie d'intensité supérieure à l'infiltrabilité du sol.	02
Figure3	Classification des modèles proposée par Singh (1995).	06
Figure 4	Cycle de modélisation par simulation (Tranouez, 2005)	07
Figure 5	Schéma conceptuel simplifié du fonctionnement de MACRO (source Vincent et al. 2006)	07
Figure 6	Taille et forme des mailles (Ledoux, 2003)	10
Figure 07	Schéma de résolution aux différences finies (exemples : MODFLOW, MARTHE)	10
Figure 08	Exemple de maillage pour un modèle numérique aux DF (réalisé sous MODFLOW 2000 - USGS)	10
Figure 09	Schématisation multicouche (Girard et al., 1981)	11
Figure 10	Eléments de la terminologie de la modélisation (Schesinger et al. 1979)	13
Figure 11	Situation géographique de wilaya de Jijel	16
Figure 12	Situation du bassin versant d'oued El Nil par rapport au grands bassins-versants de L'Algérie	17
Figure 13	Situation géographique du BV et de la plaine alluviale d'oued Nil	18
Figure 14	Esquisse géologique de la région d'oued Nil (Provenant de la carte géologique d'El-Milia N°29, Durozoy 1951)	21
Figure 15	Position des forages dans la plaine d'oued Nil	23
Figure 16	Carte de substratum en 3D (in Maoui et Meddour 2014)	23
Figure 17	Coupes lithologique à partir des logs stratigraphiques	24
Figure 18	Représentation graphique du bilan hydrique selon Thornthwaite a la station d'Achouat (période 1988 -2014).	29
Figure19	Carte piézométrique des forages et des puits de la nappe alluviale d'oued Nil en régime permanent et transitoire	32
Figure 20	Carte piézométrique des forages et des puits de la nappe alluviale d'oued Nil en régime permanent et transitoire de la campagne d'avril 2015	33
Figure 21	Carte de la perméabilité de la plaine alluviale d'oued Nil	35
Figure 22	Carte de la transmissivité de la plaine alluviale d'oued Nil	36
Figure 23	bilan hydrodynamiques des oueds et de la nappe	38

Figure 24	Maillage	40
Figure 25	Répartition des couches selon une coupe Nord-Sud du modèle	41
Figure 26	Répartition des perméabilités sur les trois couches de la nappe	42
Figure 27	Conditions aux limites	43
Figure 28	Répartition spatial des puits, des forages et des piézomètres	44
Figure 29	Calage du modèle en régime permanent	45
Figure 30	Calage du modèle en régime transitoire	47
Figure 31	Validation du modèle sur la carte piézométrique réalisée au mois d'avril 2015	49
Figure 32	Scénario 01 (Année sèche)	50
Figure 33	Scénario 02 (Année normale)	51
Figure 34	Scénario 03 (Année pluvieuse)	52

N Tableau	Titre de tableau	N° Pages
Tableau 01	Liste non exhaustive d'outils de modélisation disponibles	14
Tableau 02	Caractéristiques morphométriques du bassin versant d'oued Nil	19
Tableau 03	précipitation moyennes annuelles en mm (1988-2014) station d'Achouat	26
Tableau 04	Température moyenne annuelles (1988-2014) station d'Achouat	26
Tableau 05	Bilan hydrique selon Thornthwaite a la station d'Achouat (période 1988 -2014).	29
Tableau 06	Limites géographiques du modèle	40
Tableau 07	Porosité totale et efficace des trois couches	

TABLE DE MATIÈRE

	INTRODUCTION GENERALE	
CHAPITRE I SYNTHÈS BIBLIOGRAPHIQUE		
	Introduction	01
I.1	Cycle de l'eau	01
I.2	Description des composantes du cycle hydrologique	01
I.2.1	L'Interception	02
I.2.2	Rétention et Stockage superficiels	02
I.2.3	L'infiltration	02
I.2.4	Le ruissellement	03
I.2.5	L'évapotranspiration	03
I.2.6	La percolation ou recharge	04
I.2.7	eaux souterraines	04
I.2.8	eau de surface	05
I.2.9	eaux superficielles	05
I.3	Modélisation du fonctionnement hydrodynamique	05
I.3.1	Introduction	05
I.3.2	Objectifs de modélisation	05
I.4	Type de modèles.....	06
I.4.1	Modèles d'échelle physique.....	07
I.4.2	Le modèle conceptuel.....	07
I.4.3	Modèles mathématiques de simulation.....	08
A	Le modèle déterministe	08

B	Le modèle probabiliste.....	08
C	Le modèle statistique et stochastique.....	09
I.4.4	Le modèle global ou distribué.....	09
I.5	Etapes de la modélisation.....	09
I.5.1	Discrétisation du domaine d'écoulement.....	10
A	Différences finies.....	10
B	Eléments finis.....	11
C	Eléments limites.....	12
I.5.2	Conditions aux limites.....	12
I.5.3	Modélisation en régime permanent.....	12
I.5.4	Modélisation en régime transitoire (non stationnaire).....	13
I.6	Outils.....	14
I.7	Simulation et utilisation du logiciel MODFLOW.....	14
	Conclusion.....	15
CHAPITRE II PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE		
II	Présentation de la zone d'étude.....	16
II.1	Situation géographique et administrative de la région d'étude.....	16
II.2	Présentation du bassin versant et de la plaine alluviale de l'oued Nil.....	16
II.3	Géomorphologie et relief.....	19
II.4	Le climat.....	20
II.5	Le couvert végétal.....	20
II.6	Géologie de la zone d'étude.....	20
II.7	Classifications des formations géologiques selon leur intérêt hydrogéologique.....	21

II.7.1	Terrains perméables.....	21
a	Terrains à petit perméabilité.....	21
b	Terrains à grand perméabilité.....	22
II.7.2	Terrains imperméables.....	22
II.8	Géométrie du système aquifère.....	22
	Conclusion.....	24
CHAPITRE III RESULTAT ET DISCUSSION		
III.1	HYDROCLIMATOLOGIE	
III.1.2	Précipitations..... ...	26
III.1.3	Température	26
III.1.4	Bilan hydrologique.....	27
III.1.4.1.1	Calcul de l'évapotranspiration potentiel (ETP)	27
III.1.4.1.2	Calcul de l'évapotranspiration réelle ETR.....	28
III.2	HYDRODYNAMISME DE LA NAPPE	
	Introduction.....	31
III.2.1	Points d'eau de la nappe alluviale d'oued Nil.....	31
III.2.2	Les limites de la nappe.....	31
III.2.3	Carte piézométrique.....	31
III.2.3.1	Carte piézométrique de la campagne d'avril 2013.....	32
III.2.3.2	Carte piézométrique de la campagne d'avril 2015.....	33
III.2.4.	Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe.....	34
III.2. 4.1	perméabilité.....	34
III.2.4.2	Transmissivité.....	36

III.2.4.3	Le coefficient d’emmagasinement (S)	37
III.2.5	Bilan hydrodynamique de la nappe.....	37
	Conclusion.....	38
III.3	MODÉLISATION	
III. 3. 1	Logiciel de modélisation.....	39
III. 3. 2	Les objectifs de la modélisation.....	39
III. 3. 3	Le Maillage du modèle.....	40
III. 3.4	Géométrie du système aquifère.....	40
A	Limites géographiques.....	40
B	Substratum.....	40
C	Toit.....	41
III. 3. 5	Caractéristiques hydrodynamiques du modèle.....	41
A	Perméabilité.....	41
B	Porosité.....	42
III. 3. 6	Conditions aux limites.....	42
A	Flux entrant.....	42
B	Flux nul.....	43
C	Potentiel imposé.....	43
D	Flux sortant.....	43
III. 3. 7	Calage du modèle.....	45
A	Régime permanent.....	45
B	Régime transitoire.....	46
III. 3. 8	Validation du modèle.....	49
III. 3. 9	Scénarios futurs pour la gestion de la nappe.....	50

	Scénario 01 : Année sèche.....	50
	Scénario 02 Année normale (moyenne)	51
	Scénario 03 Année pluvieuse.....	52
III. 3.10	Conclusion.....	54
	Conclusion générale et recommandation	

Introduction Générale

La compréhension du fonctionnement hydrodynamique des nappes et la gestion des eaux souterraines est basée principalement sur la modélisation. Cette dernière s'appuie sur une bonne connaissance des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe, la géométrie de l'aquifère et les conditions aux limites. Ces derniers sont obtenus à partir d'un travail de terrain et du laboratoire.

La plaine alluviale de l'oued Nil, se trouve à une vingtaine de kilomètres au Sud-Est de la ville de Jijel, elle est très représentative des nappes côtière de Jijel et présente une richesse en données hydrodynamique et géophysique. En plus elle est considérée comme la source en eaux d'irrigation et d'alimentation en eau potable de plusieurs communes (Chekfa, Taher, Oudjana...). Pour cela une bonne gestion de cette ressources et très intéressante pour conserver l'eau et prévoir son évolution en fonction des conditions climatiques et l'augmentation des besoins en eaux.

Pour atteindre ces objectifs, cette étude a été menée, dont l'objectif est d'établir un modèle hydrodynamique pour la nappe à l'aide du logiciel Visual Modflow. Ce travail sera réparti en trois chapitres :

- Chapitre 01 : rappel bibliographie : il présente dans un premier lieu les ressources en eaux (aperçu général sur l'eau, le cycle de l'eau, ses origine, et les différent types des eaux de surface et souterraine) et dans un deuxième lieu la modélisation hydrodynamique (principes et objectifs de la modélisation hydrodynamique, la réalisation du model conceptuel, les différentes étapes de la modélisation, les conditions aux limites et modélisation en régime permanant et transitoire).
- Chapitre 02 : il concerne la présentation de la zone d'étude de point de vue géographique, géologique et hydrologique, dont l'objectif est de bien montrer les caractéristiques de la nappe.
- Chapitre 03 : Résultats et discussion : ce chapitre est divisé en trois sous-chapitres : le premier concerne l'étude climatologique et qui montre les grandeurs des conditions climatiques (précipitation, température et évapotranspiration), le deuxième montre l'étude hydrodynamique à travers la réalisation et l'interprétation des cartes piézométriques ainsi que la réalisation des cartes du sol, du substratum, de la perméabilité et la transmissivité. Et enfin le sous chapitre de la modélisation dont lequel nous exposons les différents technique qu'on a utilisé pour établir, callé et validé le modèle ainsi que les scénarios future pour la gestion de la nappe.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale et des recommandations pour améliorer les estimations du modèle.

Introduction :

Pour mieux comprendre les processus qui interviennent dans le fonctionnement des eaux souterraines, cette étude bibliographique a été menée. Elle débute par le cycle de l'eau, les mécanismes hydrodynamique et enfin la modélisation.

I. 1 Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau, appelé aussi cycle hydrologique est l'ensemble des cheminements que peut prendre une particule d'eau. Ces mouvements, qui s'accompagnent de changement d'état s'effectuent dans l'atmosphère, les océans et sur les continents. Seule la portion continentale telle qu'elle se présente dans un bassin versant est abordée ici.

La figure 1 fournit un diagramme schématique de ce cycle. Elle est utilisée dans les modèles hydrologiques, il ne reflète pas la situation dynamique mais différencie clairement les termes qui engendrent un mouvement (en rectangle) et ceux qui engendrent un stockage(En losange).

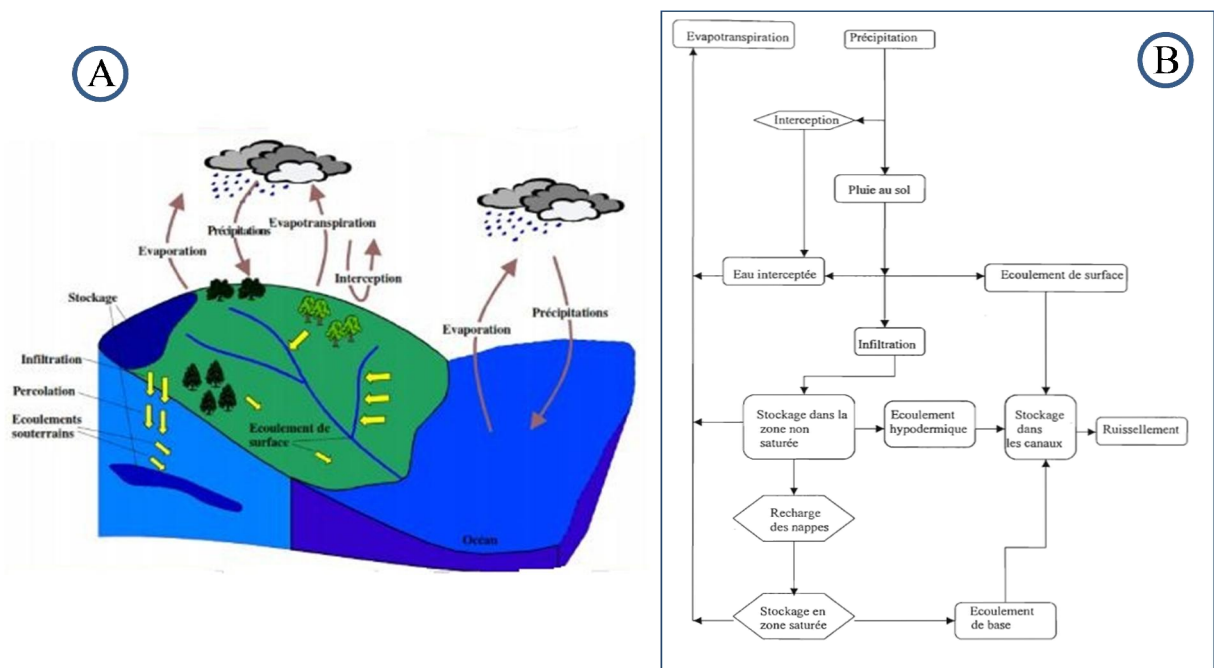


Figure 01 : Cycle d'eau (A) et sa représentation schématique (B) (Freeze, 1979).

I. 2- Description des composantes du cycle hydrologique

I.2.1 L'interception : L'interception est la fraction de la pluie arrêtée principalement par la végétation. Cette fraction peut, soit être restituée au sol par égouttage ou par ruissellement le long des troncs, soit stockée pour être reprise en différé par l'évaporation. La quantité d'eau interceptée est fonction des caractéristiques de la pluie, des espèces, de l'âge et de la densité de la végétation.

I.2.2 Rétention et Stockage superficiels : La rétention superficielle désigne la partie de la pluie qui reste piégée dans les nombreuses dépressions de la surface du sol et qui peut par la suite seulement s'infiltrer ou s'évaporer. Elle dépend de la texture du sol, de la pente et de la taille des dépressions.

Le stockage superficiel se réfère à la fraction de la pluie qui reste à la surface du sol pendant l'averse et qui, graduellement, s'écoule vers l'aval; à la fin de la pluie, ce volume d'eau stocké peut s'infiltrer ou donner lieu à un écoulement superficiel retardé (**Horton, 1933;Roche, 1986**).

I.2.3 L'infiltration : désigne généralement le passage de l'eau de l'extérieur vers l'intérieur du sol ainsi que sa redistribution dans la zone non saturée. Le processus d'infiltration a été largement étudié aussi bien par les physiciens du sol que les hydrologues. Horton (1933) a montré que lorsque la pluie atteint la surface du sol, elle s'infiltrate à une vitesse décroissante avec le temps. La figure02 illustre cette décroissance de la capacité d'infiltration en fonction du temps pour une pluie d'intensité constante donnée.

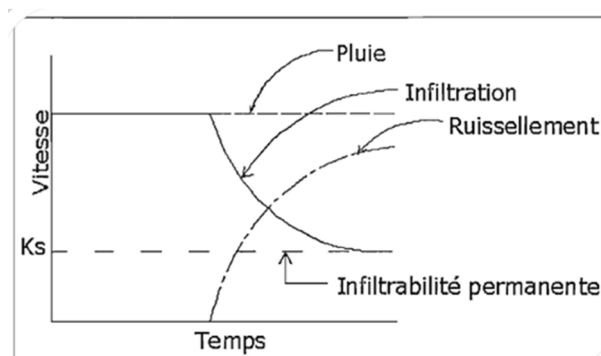


Figure 02 : Régime d'infiltration et de ruissellement au cours d'une pluie d'intensité supérieure à l'infiltrabilité du sol.

La vitesse d'infiltration ou infiltrabilité du sol est égale à l'intensité de la pluie et ceci jusqu'à ce que les premiers centimètres du sol (10 cm environ) soient saturés ; elle décroît ensuite asymptotiquement vers une valeur constante K_s , appelée infiltrabilité finale ou permanente ou vitesse d'infiltration stabilisée. Le surplus de la pluie non absorbée par le sol s'accumule à la surface du sol et engendre le ruissellement. La diminution de la capacité d'infiltration au cours d'une averse est due à deux phénomènes principaux :

- La dégradation de l'état de la surface du sol par des mécanismes tels l'intensité de la pluie qui crée une pellicule (cas des limons) empêchant l'eau de s'infiltrer ;
- La diminution du gradient de succion matricielle. En effet, malgré une augmentation de la conductivité du sol, le gradient de succion diminue laissant le gradient gravitationnel comme seule force d'entraînement de l'eau vers le bas. De nombreux tests réalisés par les hydrologues sur différents types de sol ont montré que la diminution est plus rapide et la constante plus faible pour les sols argileux que pour les sols sableux.

I.2.4 Le ruissellement : constitue la part de la pluie qui n'est pas retournée à l'atmosphère par évaporation ou qui n'a pas été absorbée par le sol, et qui ne s'accumule pas à la surface mais qui s'écoule sur la surface du sol par de petites rigoles jusqu'à atteindre le réseau naturel de drainage du bassin. La lame d'eau ruisselée dépend de l'intensité et de la hauteur des averses, de la succession des pluies, de l'état d'humidité et de la structure de l'horizon superficiel du sol avant l'averse, du couvert végétal, de la pente et de la rugosité de la surface du sol. L'influence de tous ces facteurs fait que le ruissellement est très difficile à estimer avec précision. (Ndiagasow ,2006)

I.2.5 L'évapotranspiration : Le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau qui retourne à l'atmosphère. Elle se fait de différentes manières :

- Évaporation à partir de la surface d'eau libre (lacs et cours d'eau).
- Évaporation à partir du sol ou par l'intermédiaire des végétaux.

Celle-ci constitue le mécanisme principal de transfert de l'eau vers l'atmosphère quand la surface du sol est couverte de végétation.

Lorsque la surface n'est que partiellement nue, l'évaporation se fait aussi bien à partir du sol que les plantes ; comme il est difficile de dissocier ces deux processus, ils sont communément combinés et analysés comme un seul processus appelé évapotranspiration (**Hillel, 1974**). En général, la végétation n'est pas toujours aussi bien fournie en eau si bien qu'on a défini le terme évapotranspiration réelle (ETR) qui est inférieur ou égale à l'ETP et qui reflète mieux la réalité.

Cette évapotranspiration est importante dans le cycle hydrologique du fait que la fraction de la pluie tombant sur la surface du sol qui retourne à l'atmosphère varie entre 50% pour les régions humides à presque 100% pour les régions arides.

I.2.6 La percolation ou recharge

Après la pluie, une partie des eaux infiltrées dans le sol ayant échappée à la repense évaporatoire s'écoule vers les couches plus profondes dont elle augmente le stock d'eau.

L'humidification du sol progresse plus on se rapproche du bas. Après reconstitution du stock d'eau de rétention du sol, l'excès d'eau continue son cheminement pour aller alimenter les réserves des nappes aquifères. C'est ce cheminement sans fixation que l'on désigne par percolation ou recharge. Tout le problème de l'alimentation des nappes repose en fait sur l'évaluation de cet excès qui atteindra finalement la nappe. (**Ndiagasow ,2006**)

I.2.7 Eaux souterraines

Les eaux souterraines qualifient toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, en contact direct avec le sol ou le sous-sol, et qui transitent plus ou moins rapidement (jour, mois, année, siècle, millénaire) dans les fissures et les pores en milieu saturé ou non.

I.2.8 Eau de surface

Une eau de surface précède qu'une eau, telle qu'issue d'un ruissellement, reste à la surface du sol et peut être stockée en étangs ou autres ouvrages de retenue. Elle résume la collecte de l'eau souterraine ou de l'eau atmosphérique.

L'eau de surface est de l'eau qui s'accumule sur le sol ou dans un cours d'eau, dans le lit d'une rivière, d'un lac, d'une zone humide, d'une mer ou d'un océan.

Par définition, les eaux de surface sont tirées des lacs, rivières, chutes d'eau et de la mer. Elles jouent le plus grand rôle dans la formation de l'hydrosphère sur Terre.

Cette eau de surface est naturellement alimentée par les précipitations et naturellement perdue par l'évaporation et l'infiltration souterraine dans le sol. Bien qu'il existe d'autres sources d'eaux souterraines, tels que l'eau fossile et l'eau magmatique, les précipitations sont le principal apport pour les eaux de surface. Les eaux souterraines, qui proviennent de cette façon-là, sont plutôt appelée eaux météoriques (**Zimmer D , 2013**)

I.3 Modélisation du fonctionnement hydrodynamique

I.3.1 Introduction : Le modèle désigne une représentation simplifiée de la réalité. En hydrogéologie la modélisation est de simplifier la représentation d'un système hydrogéologique, de mesurer le degré de compréhension de son fonctionnement et de prédire son comportement futur. Un modèle est donc basé sur une approximation de la réalité.

I.3.2 Objectifs de modélisation

Les objectifs principaux de la modélisation est :

- de réaliser des prédictions sur le comportement du système considéré en réponse à des sollicitations ;
- d'obtenir les informations nécessaires afin de respecter certaines recommandations ou législations ;
- d'obtenir une meilleure compréhension du système d'un point de vue hydrogéologique, chimique ou même géologique ;

- de fournir l'information nécessaire afin de définir le réseau de mesures à installer ;
- de fournir des informations pouvant aider à l'organisation de nouveaux tests in situ (exemple : pompages, traçage). (Dassargues A, 1995)

I.4 Type de modèles

La justification du modèle repose sur le fait que les mêmes équations régissent les phénomènes en vraie grandeur et en modèle réduite. Actuellement, différents types de modèles hydrologiques existent :

- modèles à base physiques / modèles conceptuelles / modèles empiriques, selon qu'ils cherchent à modéliser des phénomènes physiques, des observations ou à seulement reproduire une sortie (débit),
- modèles déterministe / modèle stochastiques, selon qu'ils utilisent des paramètres uniques ou une densité de probabilité,
- modèles globaux / modèles distribués, selon que les paramètres sont supposés constants dans l'espace ou qu'ils prennent des valeurs différentes dans l'espace et dans le temps.

Beaucoup de classifications des modèles ont été proposées et il y a presque autant de classifications que d'hydrologues. La difficulté de trouver une classification unifiée provient du fait que la grande diversité des approches entraîne une non moins grande diversité des caractéristiques des modèles (Perrin, 2000).

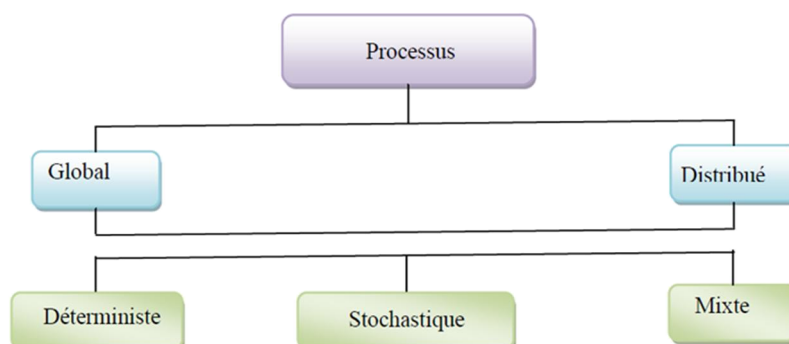


Figure 03 : Classification des modèles proposée par Singh (1995).

I.4.1 Modèles d'échelle physique

La modélisation physique en hydrologie et en hydrogéologie se fait grâce à des modèles de simulations du milieu expérimental pour étudier les paramètres physiques : K, T, la turbulence, l'érosion,....etc.

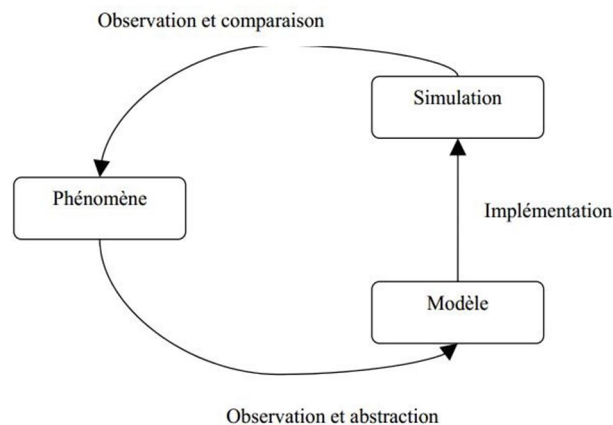


Figure 04 : Cycle de modélisation par simulation (Tranouez, 2005)

I.4.2 : Le modèle conceptuel

En réalité, le système réel à modéliser est très complexe et compliqué. Par conséquent, il faut se poser la question de ce qu'on peut faire pour simplifier la description de système réel. La conceptualisation ou la construction d'un modèle conceptuelle du problème à étudier consiste à choisir les hypothèses fondamentales qui vont sous-tendre toute la modélisation.

Ces hypothèses réduisent le problème réel en un problème simplifié qui doit être acceptable au vu des objectifs de modélisation et des questions spécifiques auxquelles il faut répondre. (Dassargues A, 1995)

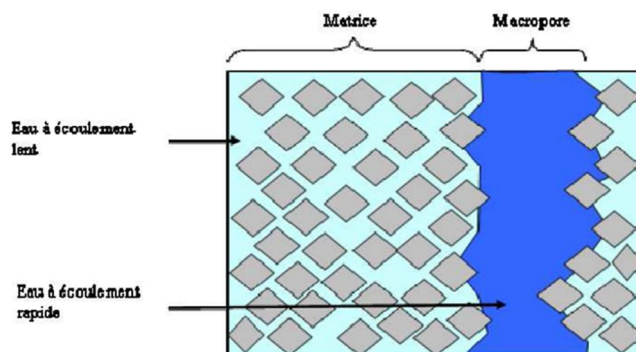


Figure 05 : Schéma conceptuel simplifié du fonctionnement de MACRO (source : Vincent et al. 2006)

I.4.3 : Modèles mathématiques de simulation :

On distingue trois modèles :

A) Le modèle déterministe : Il s'appuie sur la description du bassin versant et prend en compte une ou plusieurs de ses caractéristiques physiques (pente, superficie, type de sol, occupation du sol, ...).

Les modèles déterministes ont pour application la prévision hydrologique pour la gestion des ouvrages hydrauliques ou pour la prévision des crues, la délimitation des zones inondables, la gestion du territoire, la quantification des impacts potentiels des changements climatiques.

Il y a aussi les modèles cinématiques (descriptifs) ou dynamiques (explicatifs), suivant que l'évolution temporelle du système est simplement décrite ou mise en relation avec les forces qui en sont la cause.

B) Le modèle probabiliste : Sert à établir des critères de conception d'ouvrages (par exemple : dimensionnement des évacuateurs de crue des ouvrages hydrauliques grâce au calcul de la crue et de la cote de projet) ou à vérifier les performances d'ouvrages existants.

La finalité du modèle probabiliste est de fournir des grandeurs statistiques de variables hydrologiques : débits maximum de pointe crue d'une occurrence donnée, précipitations minimales d'une durée donnée et d'une période de retour donnée. (**Medane, 2012**).

C) Le modèle statistique et stochastique : Au sein des modèles probabilistes, on distingue les modèles statistiques, ajustement de lois statistiques, méthode du Gradex, et les modèles stochastiques qui représentent la nature aléatoire des phénomènes hydrométéorologiques à l'aide de distributions statistiques.

Le générateur stochastique de pluie horaire de la méthode SHYPRE (**Cernesson, 1993, Arnaud, 1997**) permet ainsi la simulation de longues séries de précipitations grâce à la connaissance de lois de probabilité décrivant les phénomènes pluvieux (durée et nombre des averses, intensité maximale de l'averse, position du maximum, ...) et issues des observations.

I.4.4 : Le modèle global ou distribué : Selon comment sont considérés le territoire étudié et les processus hydrologiques, on parle de modèle global ou de modèle distribué. Le bassin est considéré comme une seule entité qui réagit dans son ensemble. Les caractéristiques physiques et les grandeurs météorologiques sont considérées comme uniformes à l'échelle du bassin versant assimilé à une unité ponctuelle. Il s'agit de valeurs moyennes applicables à tout le bassin versant. Les processus hydrologiques sont simulés pour l'ensemble du bassin versant. **(Medane, 2012)**

I.5 Etapes de la modélisation : Les phases de développement d'un modèle de circulation d'eau souterraine sont :

- définition du but du modèle ;
- créer le modèle conceptuelle et la constitution d'une base de données ;
- constitution du modèle (code informatique) ;
- calage de modèle (l'étape la plus difficile) ;
- analyse sensitive (l'étape de sensibilité du modèle) ;
- validation ;
- prédiction ;
- prédiction de la sensibilité ;
- discussion des résultats.

I.5.1 Discrétisation du domaine d'écoulement

Le maillage est la représentation du domaine étudié par l'assemblage des cellules, il existe trois approches de discrétisation du milieu naturelle **(Dassargues, 1995) :**

A) Différences finies : permet la résolution de problèmes régionaux d'écoulement des nappes, en une ou deux dimensions, dans des systèmes multicouches, il peut représenter les hétérogénéités des propriétés du milieu. La discrétisation de l'espace en maille carrées présente une grande facilité d'emploi, néanmoins, dans certaines zones du modèle, ce maillage peut être raffiné à l'aide de la méthode de maillage de type écossais **(Ledoux E, 2003)**.

Cette méthode utilise des éléments rectangulaires disposés de manière analogue aux rayures d'un tissu écossais.

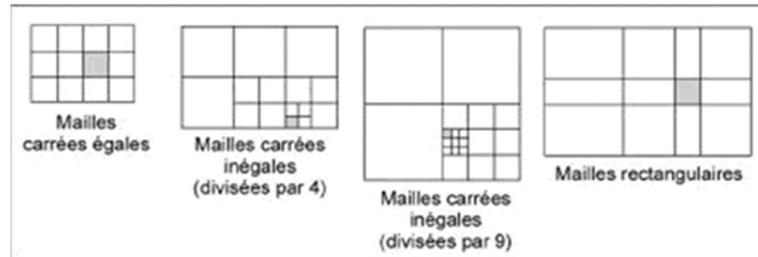


Figure 06 : Taille et forme des mailles (Ledoux, 2003)

En générale la taille des mailles dépend de plusieurs facteurs :

- a) de la précision souhaitée sur les calculs ;
- b) des contours plus au moins sinueux des limites ;
- c) du nombre et de l'éloignement des singularités (puits) ;
- d) mais aussi de la capacité de l'ordinateur.

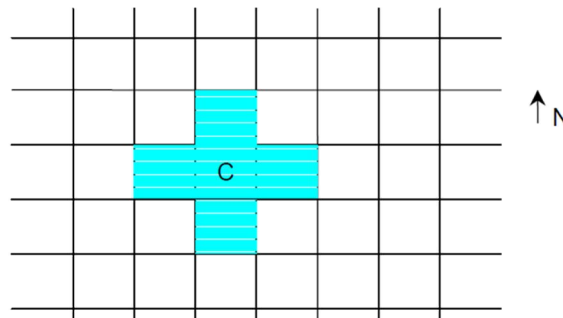


Figure 07 : Schéma de résolution aux différences finies (exemples : MODFLOW, MARTHE)

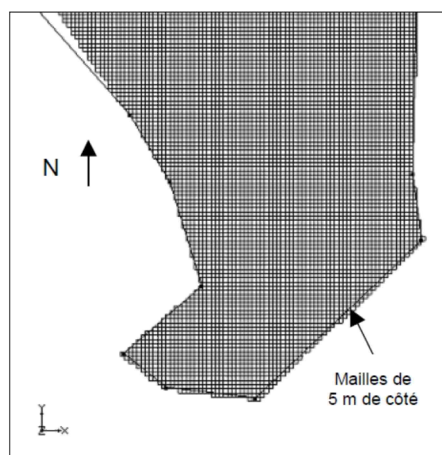


Figure 08 : Exemple de maillage pour un modèle numérique aux DF (réalisé sous MODFLOW 2000 - USGS)

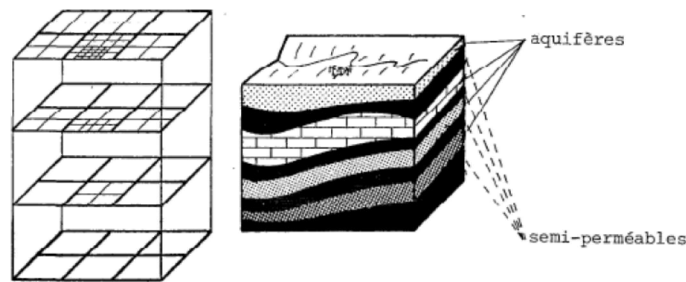


Figure 09 : Schématisation multicouche (Girard et al., 1981)

B) Éléments finis

La méthode des éléments finis est moins facile à expliquer et beaucoup moins facile à programmer que la précédente. Comme cette approche est plus flexible que celle des différences finies, un programme d'éléments finis peut être plus compliqué à utiliser. Cependant la forme des mailles est beaucoup moins limitée : en pratique, on prend des triangles et des quadrilatères en 2D et, en trois dimensions, des tétraèdres et des parallélépipèdes de n'importe quel angle.

Ceci permet de décrire d'une manière beaucoup plus satisfaisante la forme des limites du milieu ainsi que celle des hétérogénéités ou les fonctions sources, ce qui rend également la méthode des éléments finis idéale pour résoudre les problèmes à limite mobile.

C) Éléments limites

Des approches d'éléments aux limites ou d'intégrales de limites ont été proposées pour résoudre l'équation d'écoulement. L'avantage principal de celle-ci est que la précision du calcul ne dépend pas de la taille des éléments utilisés, contrairement aux deux méthodes précédemment décrites. Ainsi, on peut se servir de quelques éléments très grands (ou même infinis), ce qui rend la méthode très efficace du point de vue du temps de calcul. (Ledoux E., Rouquet S, 2010)

I.5.2 Conditions aux limites

La résolution des équations ne peut pas s'effectuer sans formulation explicite de la condition initiale et des conditions aux limites. La condition initiale consiste à connaître la distribution de potentiel hydraulique en tout point du domaine au temps initial. Les conditions aux limites Concernent les règles d'échange des flux entre le

demain modélisé et le milieu extérieure (flux d'eau, flux de matière migrant avec l'eau, ou flux de chaleur).

Les limites du demain d'étude doivent concéder avec des limites physiques ou la description des flux puisse être effectuée de manière conceptuelle à partir des observations sur le terrain.

Les conditions aux limites sont de trois types :

- ✓ **Conditions aux limites de type Dirichlet:** Qui spécifient les potentiels imposés aux frontières du domaine ;
- ✓ **Condition aux limites de types Neumann :** Qui spécifient le flux imposé aux limites du domaine,
- ✓ **Conditions aux limites de type Cauchy :** Qui donnent les combinaisons linéaires existantes entre le flux et le potentiel hydraulique aux frontières du domaine linéaires existants entre le flux et le potentiel hydraulique aux frontières du domaine. **(De Marsily, 2004)**

I.5.3 : Modélisation en régime permanent

Dans un régime permanent, on initialise les données par certaines valeurs probables ou connues à partir des mesures des paramètres hydrodynamiques K et T sur toute la zone modélisée. Le travail se base sur des valeurs mesurées in situ soit de T ou de K.

L'objectif est de généraliser T dans l'ensemble des nœuds, puis simule l'évolution du système .quel que soit les donner de départ, le système évaluer rapidement au départ puis de plus en plus lentement vers une situation stable.

La sauvegarde des paramètres obtenus peuvent servir de point de départ à une nouvelle simulation du régime permanent. Permet les paramètres qu'on utilise également : la géométrie des réservoirs aquifères qui conditionne les résultats des modèles mathématiques. Il s'agit de l'épaisseur de la zone saturée qui généralement reste constante si le modèle converge bien **(Figure10)**.

I.5.4 Modélisation en régime transitoire (non stationnaire)

En régime transitoire, on introduit une perturbation (prélèvements/injection) par rapport au régime permanent et en suit grâce au modèle la vitesse on établit un nouvel équilibre dynamique.

Ce type de simulation permet à mesurer, l'inertie de la réactivité de système hydrogéologique. Pour les systèmes peut réactifs, les paramètres hydrogéologiques comme la piézométrie, la transmissivité, ne réagissent que très lentement aux aléas climatiques et au changement dans le rythme d'exploitation de la nappe. (Kessasra F, 2015)

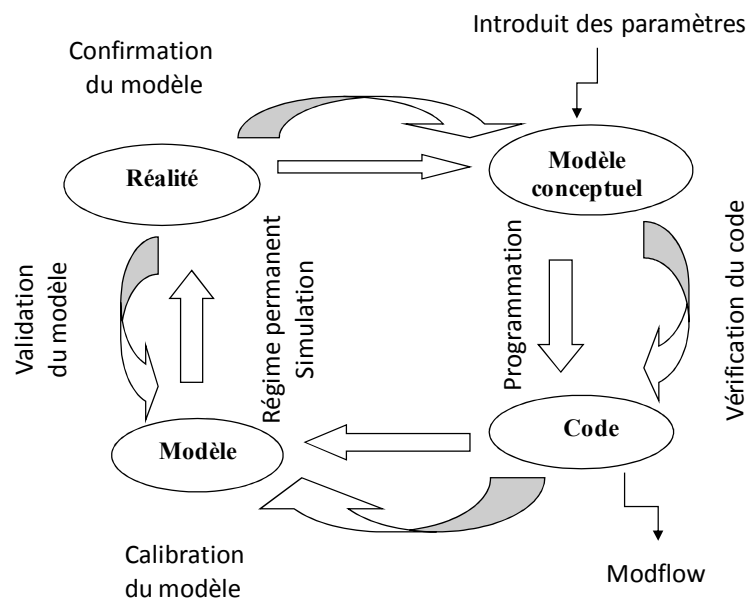


Figure 10: Eléments de la terminologie de la modélisation (Schesinger et al., 1979)

I.6 Outils

Plusieurs modèles sont proposés sur le marché pour faire la modélisation (tableau 01). Pour réaliser notre modèle, nous avons choisi le logiciel Visual Modflow, vu ses performance et son efficacité.

ANALGWST-PATCHF	FEMWATER	NAS
ART3D	GFLOW	PHAST
AT123D	HELP	PHREEQC
BIOTREND	HYDROCHEM	PHT3D
BIO 1D	HYDRUS 1D	POLLUTE
BIOBALANCE	HYDRUS 2D/3D	RBCA
BIOCHLOR	HYTEC	RT3D
BIOMOC	MARTHE	SEAM3D
BIOPLUME III	MASS FLUX TOOLKIT	SESOIL
BIOREDOX	MIKE SHE	SIMUSCOPP
BIOSCREEN	MISP	TRANSIN
BIOSLURP	MOC3D	TOUGH2
CHAIN 2D	MODFLOW-SURFACT	UTCHEM
CHESS	MODPATH	VISUAL RFLOW
CHEMFLOW	MOFAT	VLEACH
CORONA SCREEN	MT3DMS	WINFLOW
FEFLOW	NAPL	

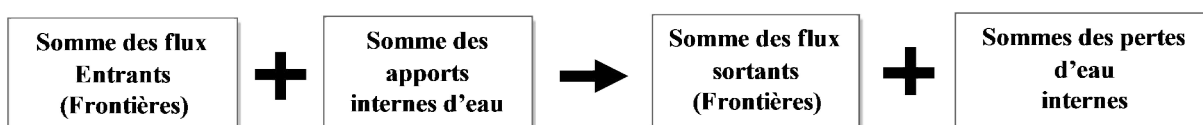
Tableau 01 : Liste non exhaustive d’outils de modélisation disponibles

I.7 Simulation et utilisation du logiciel MODFLOW :

Le logiciel MODFLOW (Harbaugh et al. 1988-2005) est un modèle d’écoulement de l’eau souterraine, lequel a été développé par l’United States Géologique Survey (USGS).

Ce dernier permet de produire des modèles d’écoulement de l’eau souterraine en trois dimensions, en différences finies et ce, autant pour le les régimes permanent et transitoire de l’eau souterraine dans des aquifères captifs et semi-captifs.

Le code MODFLOW résout les équations d’écoulement d’eau souterraine, et ce, en trois dimensions. Les paramètres d’entrée comprennent les conditions limites du modèle, les propriétés des formations géologiques et les conditions de recharge et d’écoulement. MODFLOW utilise ces paramètres d’entrée pour résoudre l’équation du bilan de masse, laquelle peut être exprimée comme suit :



Conclusion :

La modélisation est sans aucun doute un outil très puissant de prévision mais aussi d'apprentissage. Elle permet de mieux cerner les interactions entre les divers mécanismes et l'influence des caractéristiques du milieu sur le résultat. Une bonne utilisation du modèle doit rendre compte de l'essentiel des observations de terrain. Avec l'acquisition d'expérience de terrain et dans la simulation, le fonctionnement du système étudié n'est plus perçu qu'au travers des possibilités du modèle.

Le modèle déforme l'esprit de l'utilisateur qui a un peu d'expérience, mais pas encore assez de recul sur son activité.

La modélisation est sans aucun doute un outil très puissant de prévision mais aussi d'apprentissage

II. Présentation de la zone d'étude

II 1- Situation géographique et administrative de la région d'étude

La wilaya de Jijel est située au Nord-Est de l'Algérie, elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la wilaya de Mila, au Sud-Est par la wilaya de Constantine et au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif. La wilaya de Skikda délimite la partie Est, tandis que celle de Bejaia borde la partie Ouest (**figure 11**).



Figure 11: Situation géographique de wilaya de Jijel

II. 2 Présentation du bassin versant et de la plaine alluviale de l'oued Nil

Le bassin versant de l'Oued Nil se trouve à une vingtaine de kilomètres au Sud-Est de la ville de Jijel. Il fait partie du grand bassin versant de l'Algérie N° 03 (côtiers ouest Constantinois) (figure 12).

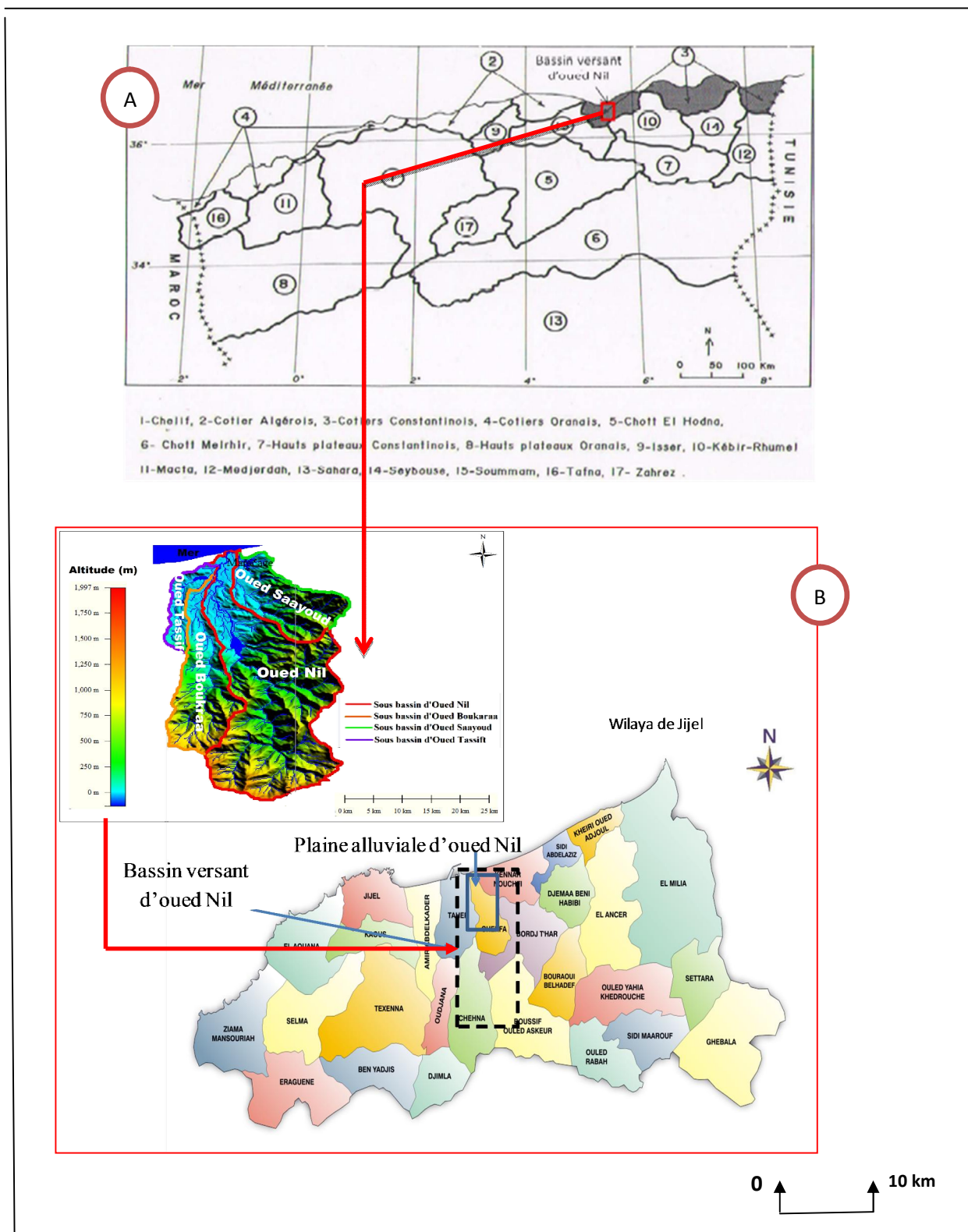


Figure 12 :(A) Situation du bassin versant d'Oued El Nil par rapport au grands bassins-versants de L'Algérie

(B) Situation géographique du BV et de la plaine alluviale d'Oued Nil

Il est limité :

- Au Nord par la mer Méditerranéenne.
- Au Sud par les reliefs de la petite Kabylie (mont des Babors).
- A l'Est par la commune de Chekfa.
- A l'Ouest par la daïra de Taher.

Le BV d'oued Nil occupe une superficie de 303.24 km², subdivisée en quatre sous bassins versants : sous BV d'oued Boukraa, sous BV de l'oued Saayoud, sous BV d'oued Tassift et le sous bassin versant d'oued Nil (**figure 12**). Les lits de ces oueds ont une largeur varies entre 10 à 35 m et une profondeur de 2 à 4 m (**Bechkit, 2005.**). Le débit annuel de l'oued Nil à l'embouchure est de 230 millions de mètres cube, il est l'un des oueds les plus importants de la région de Jijel (**Lehtihet, 1983**).

Tableau 02: Caractéristiques morphométriques du bassin versant d'oued Nil (**Berkane, 2011**)

Paramètre	Symboles	Valeur	Unité
Superficie	(s)	303.24	Km ²
Périmètre	(p)	88	Km
Indice de capacité	(c)	1.37	
Longueur du rectangle équivalent	(L)	34.48	Km
Largeur du rectangle équivalent	(l)	9.27	Km
Altitude moyenne	(H _{moy})	505.31	M
Altitude maximale	(H _{max})	1500	M
Altitude minimale	(H _{Min})	0	M
Altitude médiane	(H _{50%})	475	M
Dénivelé utile	(Du)	1150	M
Dénivelé maximale	(D _{max})	1500	M
Indice de pente globale	(Ig)	0.033	
Dénivelé spécifique	(Ds)	596.28	M
Le temps de concentration	(Tc)	7.33	h
Vitesse d'écoulement	(vc)	1.52	m/s

En plus des oueds, on trouve aussi les marécages :

- d'El-Kannar situé dans la commune d'El-Kannar, et qui s'étend sur une superficie de 1.17 Km²(calculée à partir du logiciel Global Mapper),
- et d'Rajela (Ghedir El-Merdj), situé dans la commune deTaher et qui s'étend sur une superficie de 0.554 Km²(calculée à partir du logiciel GlobalMapper)

II.3 Géomorphologie et relief

La plaine alluviale d'oued Nil est caractérisée par une assez faible pente de 29.06%. La plaine est étagée par différents niveaux de terrasses quaternaires caractérisées par de nombreux petits ravins, ces derniers avec les dépressions fermés ou marécages sont engorgés par les fortes précipitations et par les venues d'eau des massifs montagneux qui se situent aux bordures de la plaine (**tableau 02**).

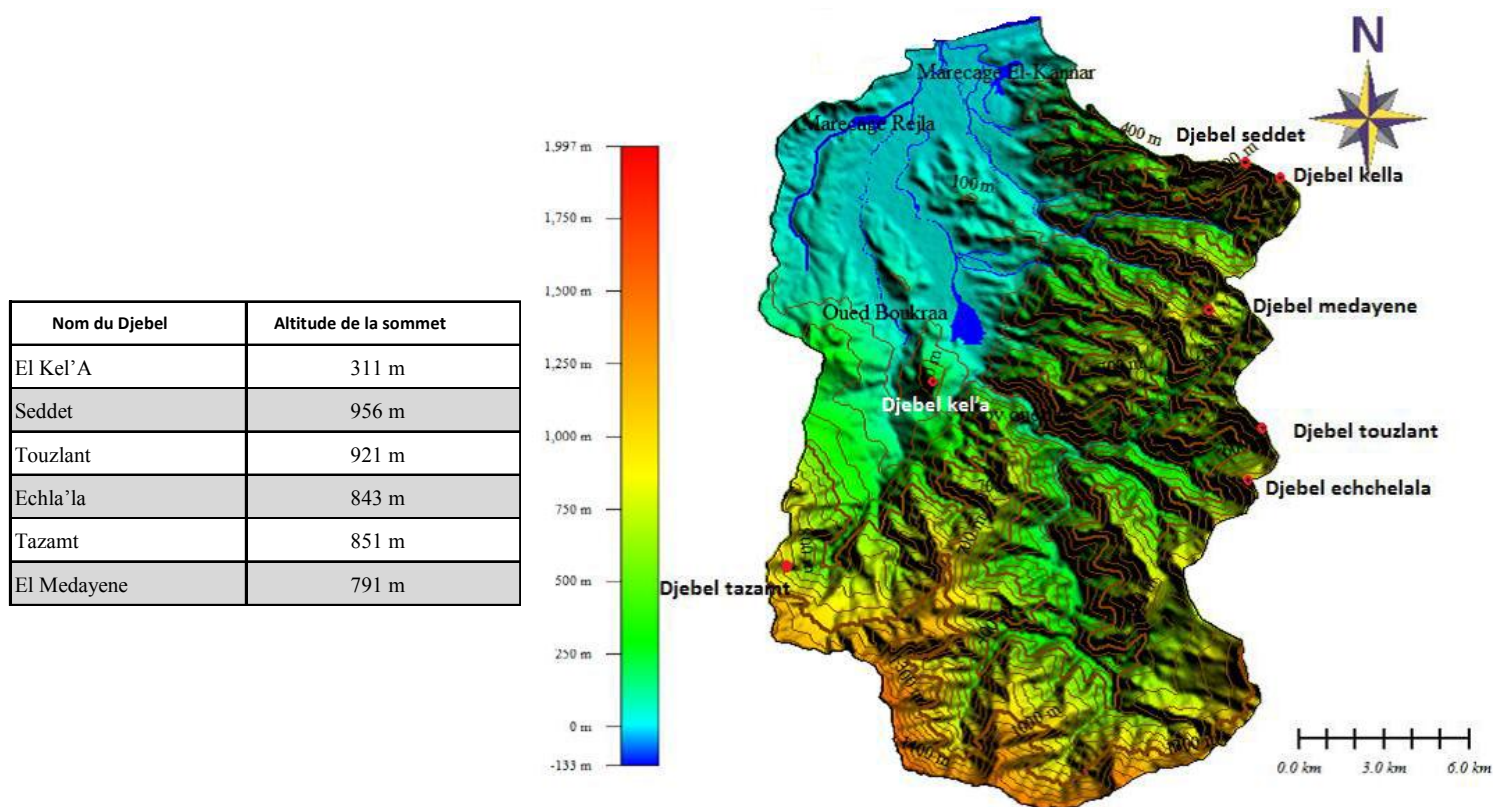


Figure 13: Altitudes et réseau hydrographique du BV d'oued Nil

II.4 Le climat

La région d'étude fait partie de la zone littorale à climat purement méditerranéen humide et tempéré, caractérisé par un hiver doux. Le maximum des températures est atteint au mois d'Août avec 31,56°C et le minimum au mois de Janvier avec 6,52°C.

II-5 Le couvert végétal

La région présente en conséquence un couvert végétal assez dense qui se manifeste par des forêts abondantes de chêne-liège qui couvre les terrains, en amont sur les massifs et sur les piémonts, ainsi que des oliviers. Les parties alluvionnaires de l'aval sont en général dénudées et servent à l'agriculture des serres là où les terres ne sont pas marécageuses. Cette végétation demeure menacée par l'érosion favorisant la dégradation du sol.

II.6. Géologie de la zone d'étude

La plaine alluviale d'oued Nil est formée d'un remplissage alluvionnaire, d'une ancienne vallée creusée dans les marnes miocènes (côté ouest) et les terrains métamorphiques à l'Est de la rive droite d'oued Saayoud, sur ces alluvions se déposent des formations dunaires plus ou moins récentes comme celle de Bazoul et d'El Kennar représentées par des sables rouges limoneux et graviers rous. L'esquisse géologique de la zone d'étude est présentée par la **(figure 14)**

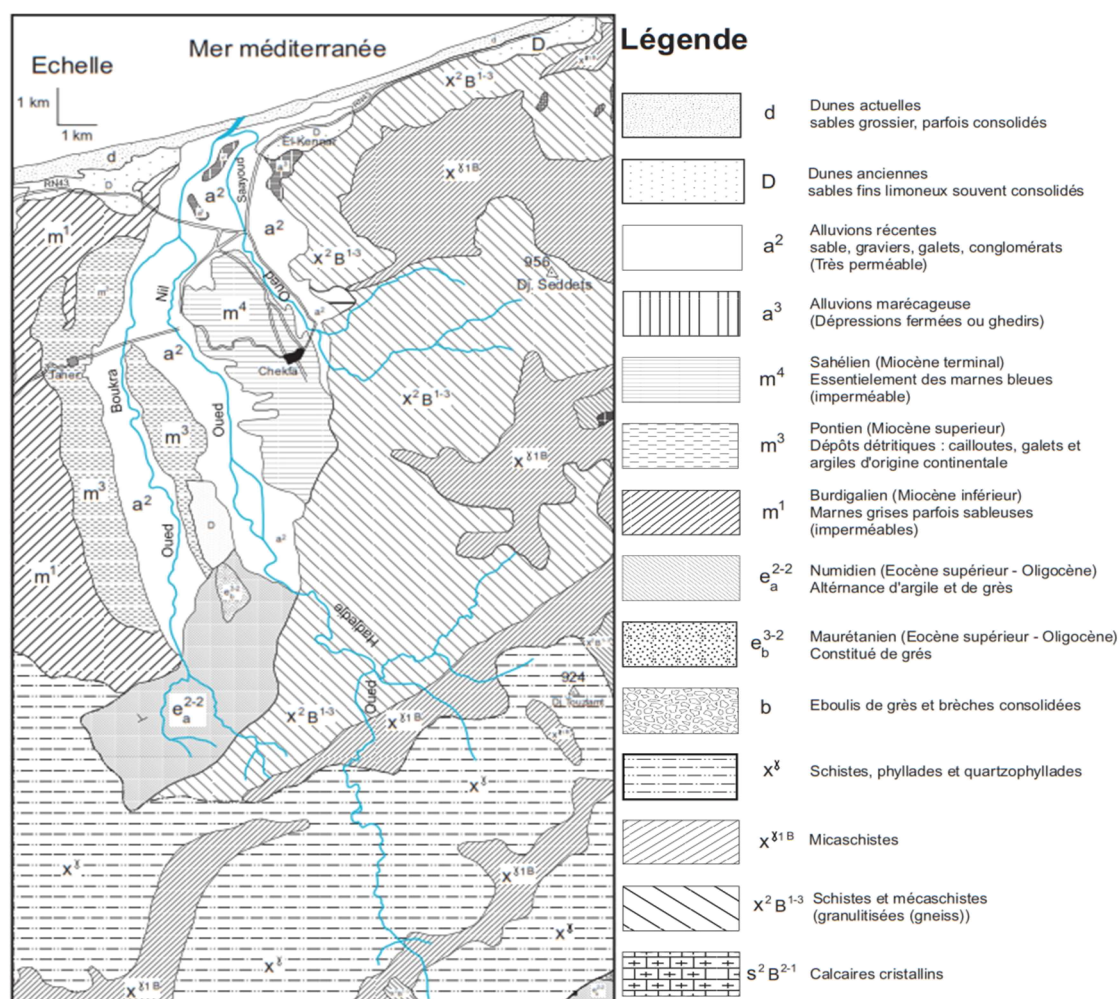


Figure 14: Esquisse géologique de la région d'oued Nil
(Provenant de la carte géologique d'El-Milia N°29, Durozoy 1951)

II.7 Classifications des formations géologiques selon leur intérêt hydrogéologique

En hydrogéologie, l'identification des formations et des structures géologiques est primordiale, elle permet la détermination des formations susceptibles d'emmagasiner l'eau. En se basant sur les caractéristiques hydrodynamiques, l'extension des formations ainsi que leur aspect structural, les principales formations lithologiques du secteur d'étude peuvent être regroupées en deux grands ensembles (Berkane, 2011)

II.7.1 Terrains perméables

a) Terrains à petite perméabilité

Ces terrains sont favorables au développement des aquifères poreux. Il s'agit des dunes, d'alluvions du quaternaire et les formations du Miocène moyen « le Pontien » :

- **Les dunes** : elles sont généralement de faible perméabilité, ce sont : les dunes récents et les dunes anciennes ;
- **Le quaternaire** : il est généralement de bonne perméabilité sauf la couverture argilo-limoneuse qui est peu perméable. Ce sont : les alluvions récentes, les alluvions marécageuses et les alluvions quaternaires ;
- **Les formations du Miocène moyen** : Ce sont des dépôts détritiques d'origine continentale de bonne perméabilité (**Berkane, S.2011**).

b) Terrains à grand perméabilité

Il s'agit essentiellement des terrains métamorphiques qui ont une perméabilité de fissure très faible. Les nombreuses sources qui s'y trouvent grâce à l'abondance des pluies ont un débit limité. Dans le socle métamorphique on distingue : Un complexe schistes-phyllades et quartz-phyllade ; Micaschistes à biotites ; Schistes et micas à biotites (Djellit, 1987).

II.7.2 Terrains imperméables

Il s'agit des : formations du Miocène supérieur «le Sahélien » ; formations du Miocène inférieur «le Burdigalien» (**Berkane, 2011**) ; formations gréseuses du Paléogène «Numidien et Maurétanien».

II.8. Géométrie du système aquifère

Dans la zone d'étude, il existe 35 forages. L'implantation de ces forages dans la plaine est présentée dans la figure 15 :

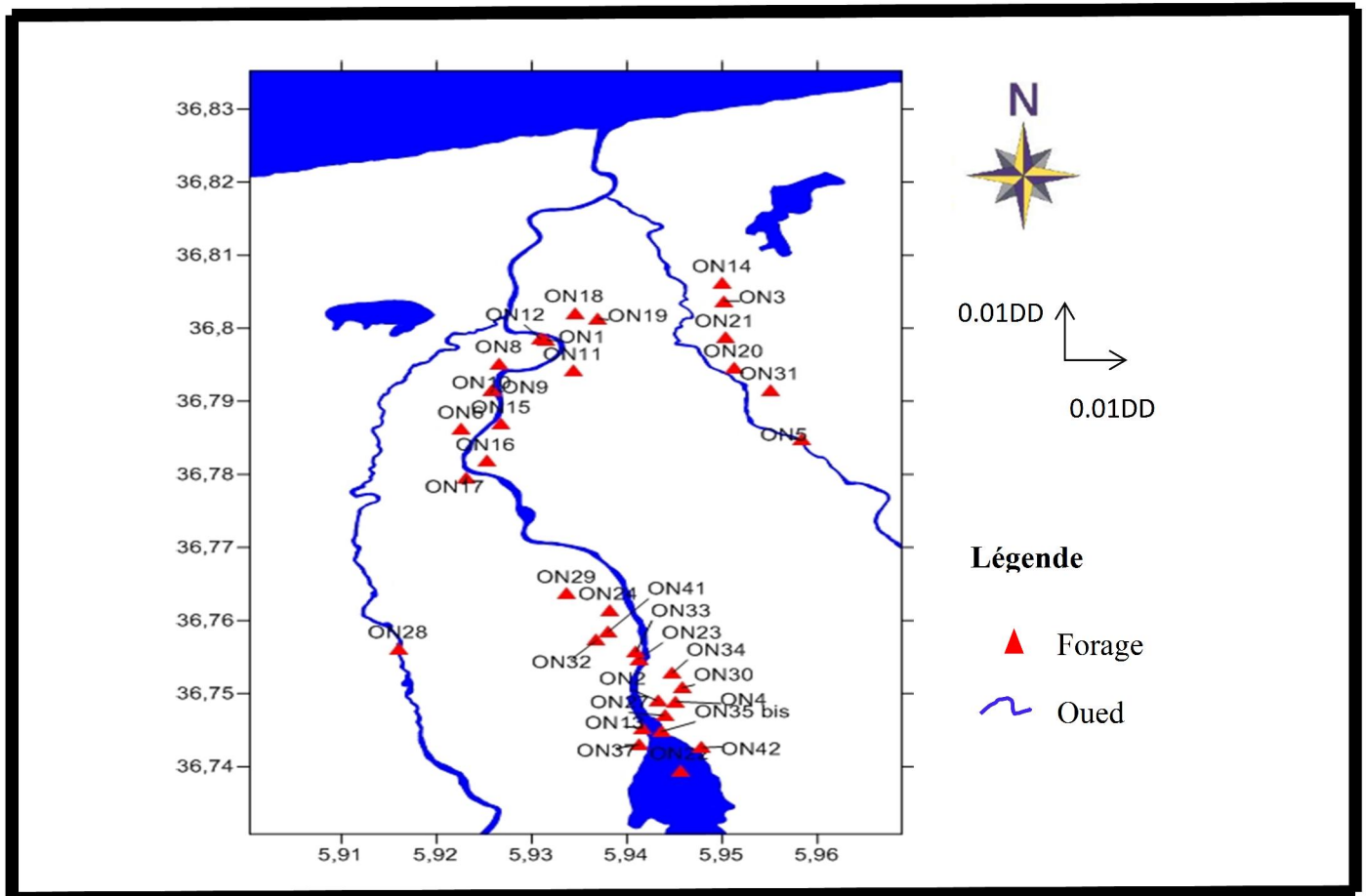


Figure 15 : Position des forages dans la plaine d'oued Nil

La corrélation des profondeurs du substratum entre les différents forages par la méthode du krigeage ordinaire, ont permet d'obtenir la carte 3D de l'évolution spatiale du substratum.

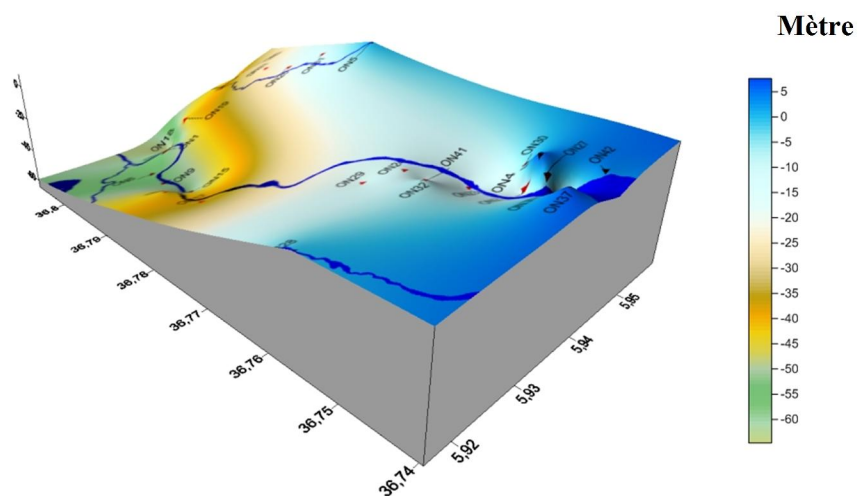


Figure 16 : Carte de substratum en 3D (in Maoui et Meddour 2014)

La figure 16, montre que le substratum est peu profond dans la partie Sud et profonde dans la partie Nord. On observe aussi une dépression du substratum dans la partie Sud, très favorable à l'implantation des forages.

Deux coupes géologiques ont été réalisées par la corrélation entre les logs stratigraphiques. Le choix de ces deux coupes a été faite en fonction de la présence des forages et en suivant la direction Nord-Sud. La position des deux coupes est présentée dans la figure ci-dessous :

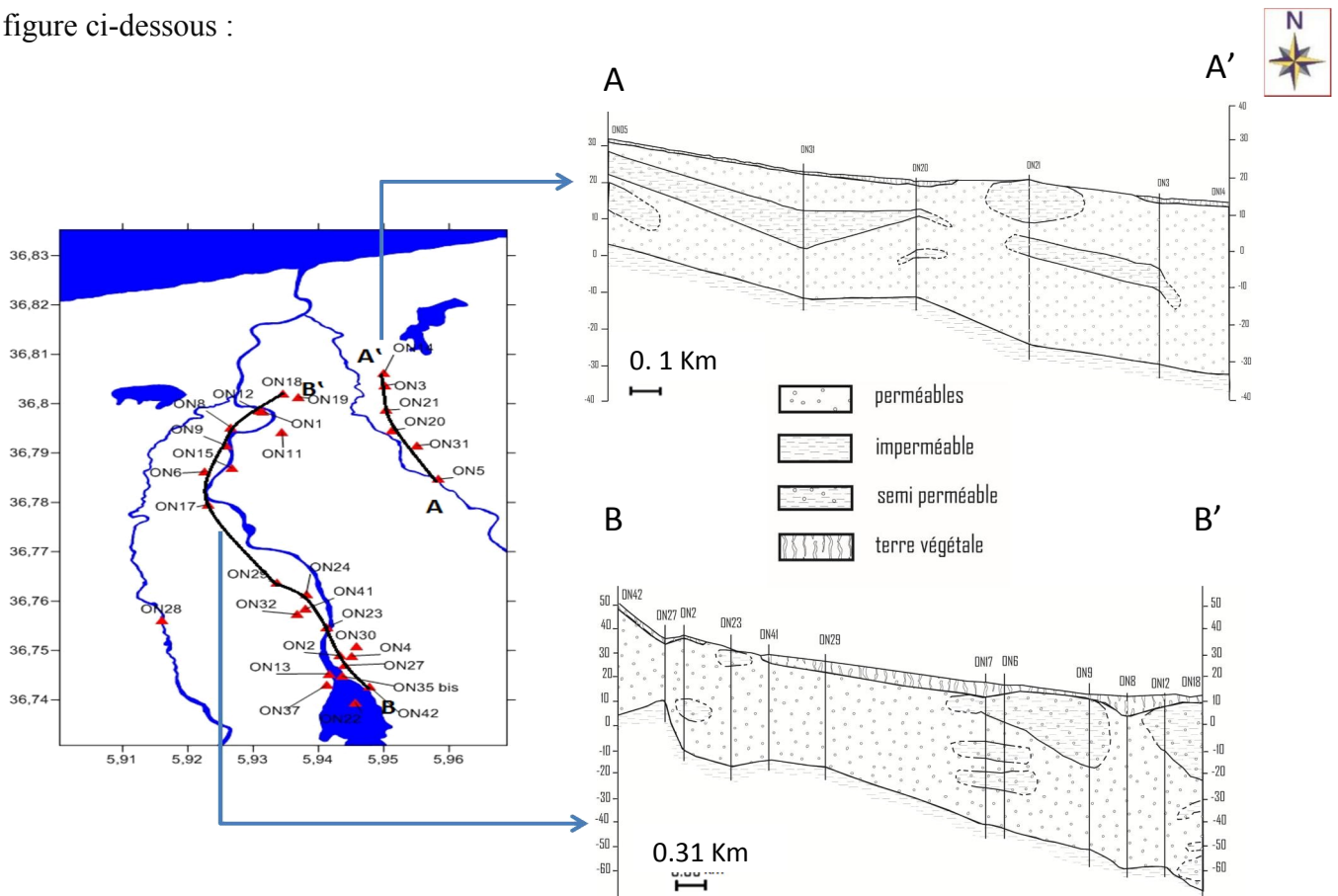


Figure 17 : Coupes lithologique à partir des logs stratigraphiques

Cette figure montre que notre plaine présente une seule nappe avec des passages (lentille) semi-perméables qui rendent la nappe localement captive.

Conclusion

Sur le plan géographique, la zone d'étude fait partie des plaines côtières de la Wilaya de Jijel et caractérisé par un climat méditerranéen de type subhumide à humide une activité agricole importante.

L'étude géologique d'oued Nil a mis en évidence l'existence des alluvions graveleuses récentes, des alluvions grossières anciennes et des dépôts de Pontien. Ces derniers sont perméables à peu perméable et se sont susceptibles d'être aquifères. Ces Alluvions se différencient de leur substratum marneux conducteur et de la couverture argilo-limoneuse conductrice.

Introduction

Un modèle est par définition une représentation simplifiée d'un système complexe. Cette représentation doit être la plus conforme possible à la réalité du point de vue des mécanismes et processus simulés ; elle repose cependant sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices.

Son degré de conformité à la réalité peut aussi dépendre des objectifs assignés à la modélisation. Le rôle d'un modèle peut ainsi être d'intégrer l'ensemble des données disponibles sur un système et d'utiliser le modèle comme outil de synthèse et de vérification de la cohérence de ces données et des hypothèses qui peuvent être formulées sur la structure et le fonctionnement du système étudié.

Un modèle peut aussi être purement opérationnel, afin de fournir une réponse pertinente à une problématique posée. De nombreux intermédiaires existent entre ces deux rôles extrêmes.

Le domaine modélisé en hydrologie correspond en général au bassin versant. Le bassin versant est la surface réceptrice des eaux qui alimentent une nappe souterraine, un lac, une rivière ou un réseau complexe; on le définit par sa morphométrie, ses caractères climatiques, sa géologie, sa végétation, ses sols.

Un modèle hydrologique est caractérisé par 5 éléments constitutifs : la géométrie du système (bassin versant par exemple), les entrées dans le système, les lois de formalisation des processus, l'état initial et les conditions aux limites du système et enfin les sorties

Introduction

Ce chapitre constituée par trois sous chapitre, nous avons commencé par l'étude Hydroclimatologique qui a permet de déterminer les apports d'eau dans la zone d'étude (les quantités d'eau reçues et les quantités d'eau perdues par évaporation)

Puits une étude Hydrodynamisme de la nappe a pour but de connaitre les paramètres hydrodynamiques, notamment le niveau piézométrique de L'aquifère, peut être utilisé pour plusieurs raisons, la plus importante est l'établissement d'une carte piézométrique qui est nécessaire pour connaître l'extension de l'aquifère, la direction et la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines, ainsi que leur zones d'accumulation.

Afin la réalisation d'un modèle qui nous ont permis d'avoir une bonne compréhension du fonctionnement hydrodynamique de la nappe alluviale, de déterminer l'effet de chaque paramètre sur le comportement de la nappe, en enfin l'influence des variations de la précipitation et du pompage sur le comportement de la nappe.

III.1 Hydroclimatologie

Les caractéristiques hydroclimatologiques jouent un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, l'évolution des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour cela, l'élaboration du bilan hydrique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement hydrodynamique d'une région donnée.

III.1.2 Précipitations

Les précipitations moyennes annuelles pour une période de 26 ans au niveau de la station d'Achouat (période 1988 – 2014) sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 03 : précipitation moyennes annuelles en mm (1988-2014) station d'Achouat

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
P moy (mm)	64.31	94.16	158.66	186.69	131.8	115.35	86.31	85.83	51.44	13.77	3.11	16.18

Ce tableau montre que les précipitations les plus élevées sont observées au mois de novembre à février et les précipitations les plus faibles au mois de Juin à août.

III.1.3 Température

C'est un paramètre important régissant les facteurs climatiques et intervenant dans les calculs d'évapotranspiration.

Tableau 04 : Température moyenne annuelles (1988-2014) station d'Achouat

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
T moy (C°)	23.57	20.44	15.9	12.71	11.56	11.73	13.56	15.56	18.36	22.53	25.31	26.18

D'après le tableau, nous remarquons que :

- Une période froide qui débute le mois d'novembre jusqu'Avril avec une température minimal d'ordre 11.56°C enregistré au Janvier ;
- Une période chaude de Mai jusqu'au Octobre avec une température maximal de l'ordre 26.18°C enregistré au mois d'Août.

III.1.4 Bilan hydrologique

Le bilan hydrique est basé sur la disponibilité en eau dans le sol, son évaporation et son renouvellement. L'équation du bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit :

$$P = ETR + R + I + W$$

Où : **P** : précipitations (liquide et solide) (mm) ; **ETR** : évapotranspiration réelle en (mm) ; **R** : ruissellement de surface et écoulements souterrains (mm) ; **I** : l'infiltration en (mm) ; **W** : variation des réserves en mm qui peut être considéré comme négligeable.

III.1.4.1 : L'évapotranspiration : est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'un bassin versant. On distingue :

- Une évapotranspiration potentielle qui correspond à la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant ;
- Une évapotranspiration réelle qui est une réponse, en termes de vapeur d'eau, d'un milieu donné à la demande exercée par l'évapotranspiration potentielle, compte tenu de la quantité d'eau disponible.

III.1.4.1.1 : Calcul de l'évapotranspiration potentiel (ETP)

Partant d'expériences réalisées sur divers climats (subhumide-humide), Thornthwaite, propose la formule suivante pour le calcul de l'ETP :

La formule utilisé pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP), établie par Thornthwaite est la suivante :

$$ETP = 16 (10T/I)^a$$

Où : **I** : indice thermique annuel : $I = \sum_{i=1}^{12} i$, avec : $i = (T/5)^{1.514}$

a : exposant climatique ($a = 1.6 I/100 + 0.5 = 0.016 I + 0.5$)

L'indice thermique annuel (I) : $I = \sum_{i=1}^{12} i$ avec : $i = (T/5)^{1.514}$

L'évapotranspiration corrigée est donnée par la relation suivante :

$$ETP_{\text{corrigée}} = ETP * K = 16 * (10 T/I)^a * K$$

Où :

- K : coefficient de correction en fonction de la latitude et du mois considéré.
- ETP : évapotranspiration potentielle non corrigée (mm).
- T : température annuelle moyenne (C°).
- I : indice thermique annuel.
- i : indice thermique mensuel.
- a : exposant climatique (fonction de la durée du jour).
- ETPc : évapotranspiration potentielle corrigée (mm).
- K : facteur de correction.

III.1.4.1.2 : Calcul de l'évapotranspiration réelle ETR

Pour estimer la valeur de l'évapotranspiration réelle sur notre zone d'étude on va utiliser la Formule de Thornthwaite:

Cette méthode permet l'estimation de chaque mois des paramètres suivants : L'évapotranspiration réelle(ETR) ; La réserve facilement utilisable (RFU) ; Le déficit agricole ($Da=ETP-(P+RFU)$) ; L'excédent (water surplus «Wa»).

Le principe de calcul est basé sur les cas suivants :

- Si $P > ETP \rightarrow ETP=ETR$, la quantité $(P-ETP)$ aliment la RFU jusqu'au maximum.
- Si $P < ETP \rightarrow ETR=P$ + toute une partie de la RFU jusqu'à égaliser la valeur de l'ETP,
- Si malgré l'apport de la RFU, L'ETR est toujours inférieure à l'ETP ($ETP < ETR$), il existe un déficit agricole $Da=ETP-ETR$.
- Si $P=ETR$, les précipitations sont justes suffisantes pour alimenter le sol .Il n'y aura de Wa pour alimenter la RFU.

Tableau 05 : Bilan hydrique selon Thornthwaite a la station d'Achouat (période 1988 -2014).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Moy
P (mm)	64.31	94.16	158.66	186.69	131.8	115.35	86.31	85.83	51.44	13.77	3.11	16.18	1007.66
T (C°)	23.57	20.44	15.9	12.71	11.56	11.73	13.56	15.56	18.36	22.53	25.31	26.18	18.11
I	10.45	8.42	5.76	4.1	3.55	3.36	4.52	5.57	7.16	9.76	11.65	12.26	86.56
ETP (mm)	106.03	81.17	50.49	33.06	27.64	28.41	37.37	48.47	66.26	97.56	121.56	129.58	68.96
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETP _c (mm)	109.21	78.73	43.42	27.77	24.04	24.14	38.49	53.31	80.17	119.02	150.73	150.31	899.34
EIR (mm)	64.31	78.73	43.42	27.77	24.04	24.14	38.49	53.31	80.17	85,04	3.11	16.18	538.71
RFU (mm)	0	15.43	100	100	100	100	100	100	71,27	0	0	0	
Da (mm)	44.9	0	0	0	0	0	0	0	0	25.08	147.62	134.13	351.73
Exd (mm)	0	0	30.67	158.92	107.76	91.21	47.82	32.52	0	0	0	0	468.9

La représentation graphique est présentée dans la figure suivante :

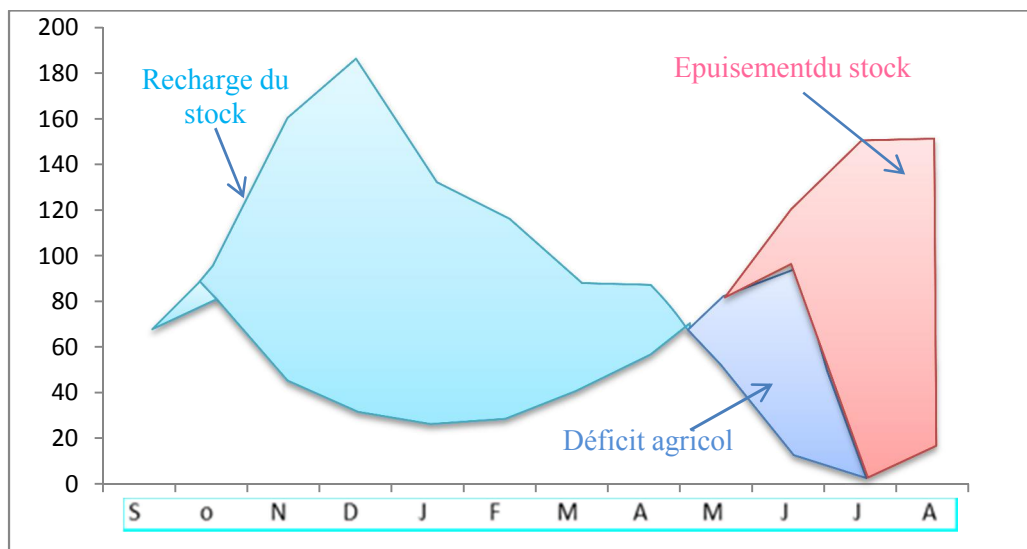


Figure18 : Représentation graphique du bilan hydrique selon Thornthwaite a la station d'Achouat (période 1988 -2014)

Le bilan hydrique de cette zone d'étude montre que :

- L'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite est de l'ordre de 899.34mm, qui correspond 88.06 % des précipitations par conséquent les précipitations deviennent supérieures à l'évapotranspiration potentielle(E.T.P) du mois d'Octobre au mois d'Avril.
- La RFU est à son maximum de 100 mm du mois de Novembre jusqu'à la fin d'Avril, ou totalise un excédent de 468.9 mm avec un pic au mois Décembre 158.92mm. Par ailleurs, la RFU commence à diminuer au début du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre. Avec un déficit agricole de l'ordre de 351.mm c'est la période déficitaire.

III.2 Hydrodynamisme de la nappe

Introduction

La connaissance des paramètres hydrodynamiques, notamment le niveau piézométrique est d'une importance fondamentale dans l'hydrogéologie. Car il nous permet : d'établissement la carte piézométrique ; de déterminer l'extension de l'aquifère, les directions et les vitesses de l'écoulement des eaux souterraines et de connaître les zones d'accumulation.

III.2.1 Points d'eau de la nappe alluviale d'oued Nil

Pour avoir une bonne carte piézométrique on sélectionné 74 points d'eau (55 puits et 19 forages). Deux cartes piézométriques ont été dressées : l'une pour les eaux peu profondes (puits) et l'autre pour les eaux profondes (forages).

La profondeur de ces forages varie du Sud vers le Nord et de l'Est à l'Ouest. Au Sud la profondeur est de 50 à 54 m, au Nord la profondeur est de 65 à 79 m, alors que dans la partie Est, le long d'oued Saayoud, la profondeur varie de 35 à 50 m.

III.2.2 Les limites de la nappe

Les limites étanches qui limitent la nappe de remplissage plioquartenaire sont :

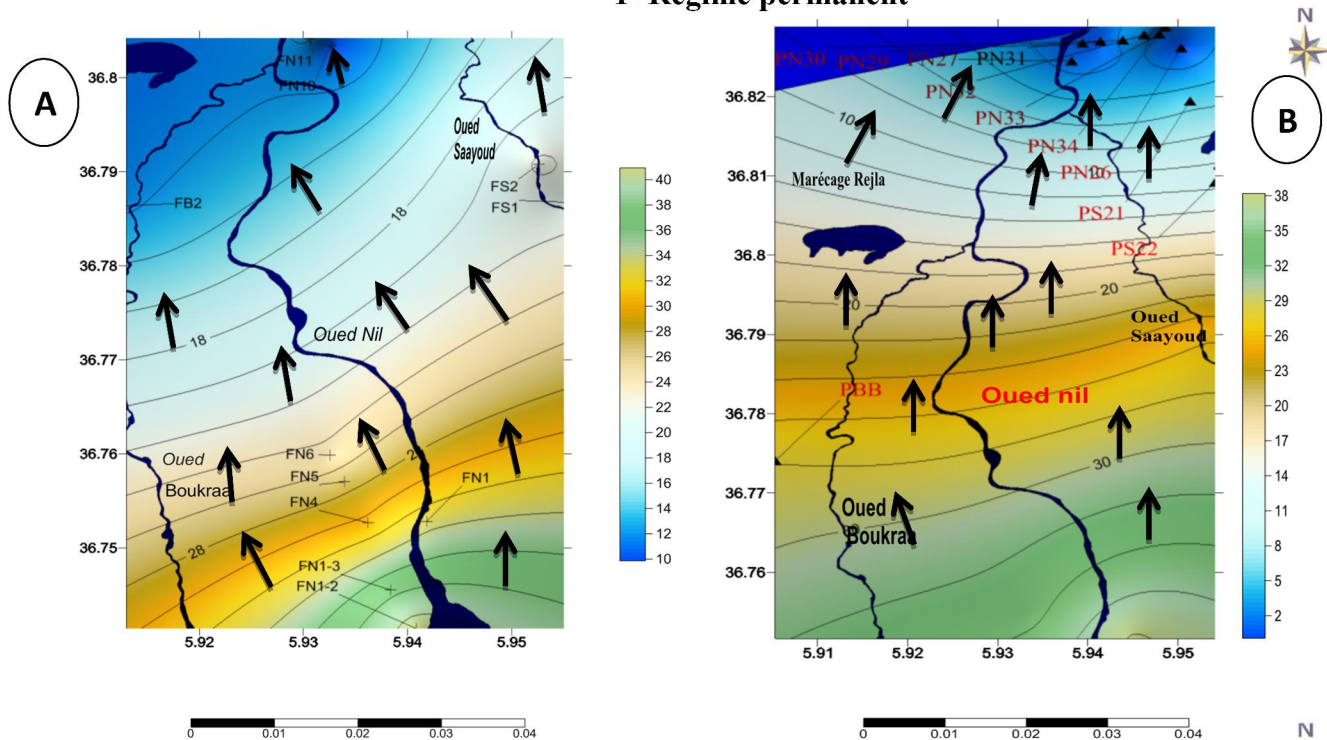
- 1- Au Sud, ce sont les terrains granitiques ou marneux ne contenant pratiquement d'eau;
- 2- A l'Est, ce sont les terrains métamorphiques essentiellement des schistes et des micaschistes;
- 3- A l'Ouest, l'aquifère est limité par des terrains marneux du Miocène.
- 4- Au Nord, la limite de la nappe est mal définie. Nous ne la connaissons que par l'étude Géoelectriques c'est une limite à condition de flux.
- 5- Et la mer constitue une limite à potentiel imposé. (BechekiteM., 2005)

III.2.3 Carte piézométrique

Pour réaliser ce travail, nous avons basé notre étude sur deux cartes piézométriques : la première a été réalisée en 2013 par Sadoune (2013) et l'autre nous l'avons réalisée en 2015. La première sera utilisée dans la modélisation pour le calibrage des paramètres du modèle en régime permanent et transitoire et la deuxième pour la validation du modèle.

III.2.3.1 Carte piézométrique de la campagne d'avril 2013

1- Régime permanent



Forage

2 - Régime transitoire

Puits

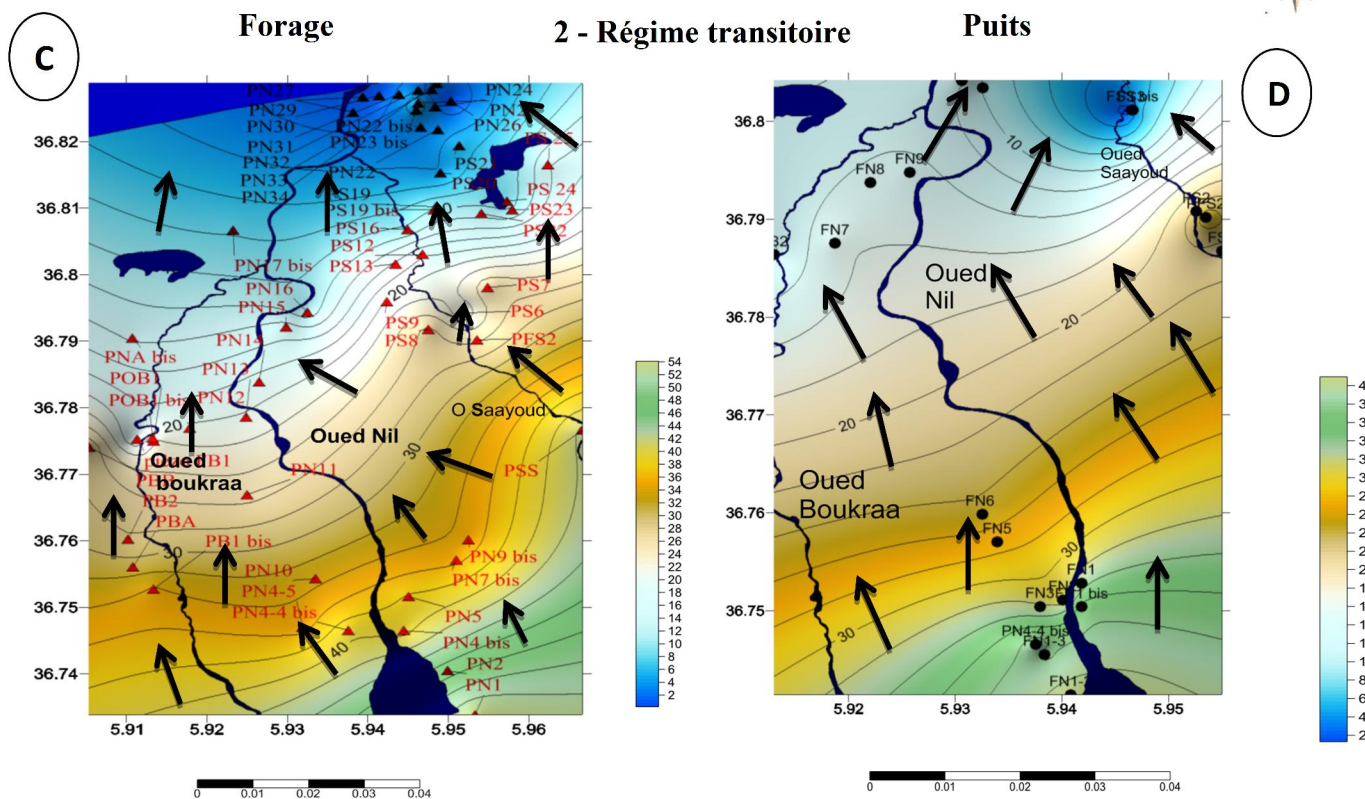


Figure 19 : Carte piézométrique A,B des forages et des puits de la nappe alluviale d'oued Nil en régime permanent C,D en régime transitoire

III.2.4. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe :

Ils sont déterminés à partir des essais de pompages. Ils permettent d'estimer les propriétés hydrodynamiques d'un certain volume de terrain autour d'un puits.

Réaliser un pompage d'essai consiste à étudier l'influence d'un pompage effectué à un débit connu Q sur le niveau piézométrique d'un aquifère. L'évolution du niveau piézométrique est mesurée et interprétée dans le puits de pompage et, en fonction des objectifs de l'essai, dans un ou plusieurs piézomètre(s) situé(s) à proximité. La réalisation d'un tel essai peut répondre à deux objectifs distincts (**Kruseman et de Ridder, 1990**) :

- estimer les propriétés hydrauliques d'un puits à travers un essai de puits ;
- déterminer les propriétés hydrodynamiques équivalentes, la géométrie et le type d'écoulement d'un certain volume de l'aquifère que ce puits permet d'exploiter, par le biais d'un essai de nappe.

III.2. 4.1 perméabilité :

Elle est définie par la loi de Darcy. C'est le volume d'eau gravitaire en m^3 traversant en une unité de temps, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de section en m^2 orthogonale à la direction de l'écoulement. Elle s'exprime en m/s.

Les valeurs de la perméabilité sont présentées dans la figure suivante :

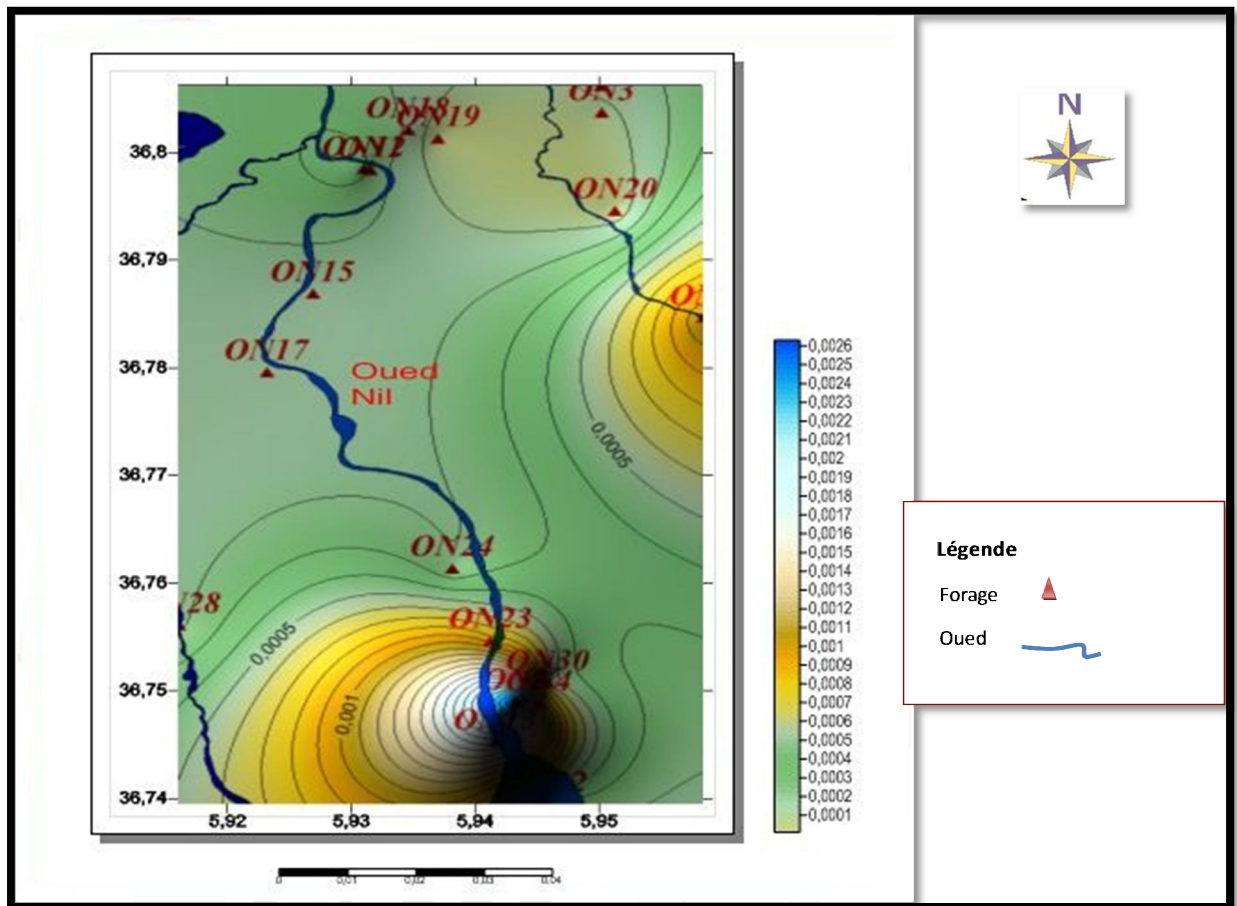


Figure 21 : Carte de la perméabilité de la plaine alluviale d'Oued Nil

La carte de la perméabilité représente les valeurs qui sont mesurées à partir de 18 forages dans la plaine alluviale d'Oued Nil. Elle montre :

- des fortes valeurs de perméabilité observées ($1,1 \cdot 10^{-3}$ à $2,7 \cdot 10^{-3}$ m/s) dans la zone d'Oued Nil représenté par la couleur bleu foncé à claire dans la carte qui localiser dans la partie sud et Est de la plaine, causées par l'existence de gravier fin à grossier, galets et sable (les formations perméables) représenté par les forages suivantes ON2, ON13, ON4 et ON5.
- Les valeurs moyenne de la perméabilité varient de $1,1 \cdot 10^{-3}$ à $8,5 \cdot 10^{-4}$ m/s sont observées dans la partie Sud et Est représenté par la couleur marron foncé à claire, due à l'existence d'une grande partie des formations semi perméable comme l'argile grise légèrement graveleuse, Graviers et sables très fins schisteux, Silts et sables très fins évoqué au forage ON23.
- Les valeurs faibles de la perméabilité varient entre $8,5 \cdot 10^{-4}$ à $6,6 \cdot 10^{-5}$ m/s représenté dans la carte par la couleur verte, les faibles valeurs de la perméabilité causée par les

formations semi perméable et imperméable comme le cas des forages ON3, ON19 et ON20.

III.2.4.2 Transmissivité

La Transmissivité est le produit du coefficient de perméabilité par l'épaisseur de l'aquifère. Elle est donc égale au débit traversant une section normale à l'écoulement, de largeur unitaire prise sur toute l'épaisseur de l'aquifère et sous un gradient hydraulique égal à l'unité. Elle s'exprime en m^2/s .

Les valeurs de la transmissivité de la nappe alluviale de l'oued Nil sont présentées dans la figure ci-dessous :

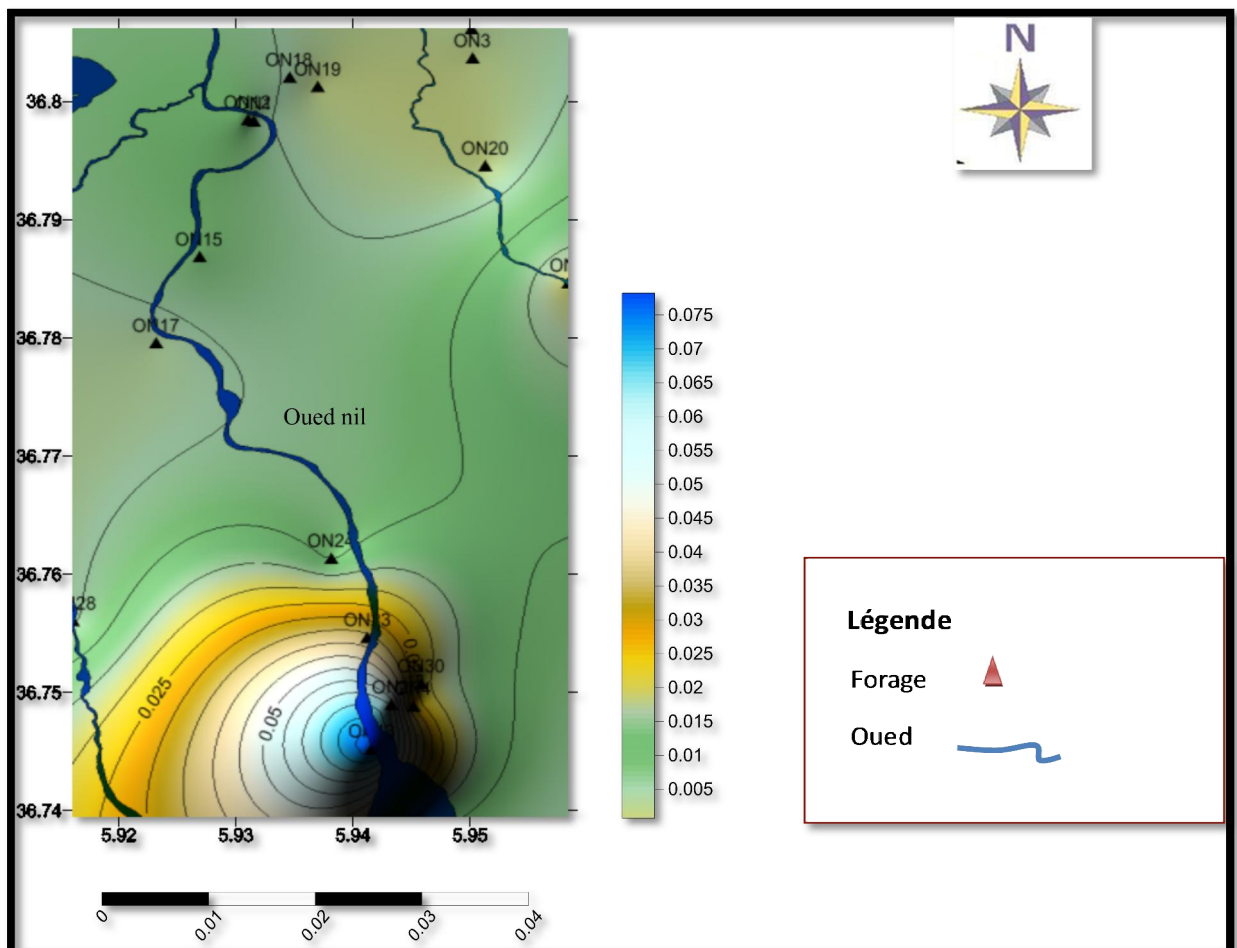


Figure22 : Carte de la transmissivité de la plaine alluviale d'oued Nil

D'après cette carte, les valeurs de la transmissivité sont variables, cela est dû à l'hétérogénéité de l'aquifère :

- des fortes valeurs (7.10^{-2} à $1.10^{-2} m^2/s$) sont enregistrées au niveau de la partie Sud cela est dû à l'existence d'une grande épaisseur d'aquifère et des formations géologiques perméable, comme le montre les forages ON13 et ON2 qui contiennent des graviers grossiers et moyens, sables gros et moyens ;
- Les valeurs moyennes de la transmissivité (1.10^{-3} à $9.10^{-3} m^2/s$) représenté par la couleur marron foncé à claire représente par des forages tel que ON24, ON13 et ON12 ;
- Les valeurs faibles de la transmissivité varient entre (9.10^{-3} à $9.10^{-4} m^2/s$) représenté dans la carte par la couleur verte représente par le forage ON20.

III.2.4.3 Le coefficient d'emmagasinement (S)

Le coefficient d'emmagasinement est défini comme le volume d'eau libéré ou emmagasiné à travers une surface d'aire égale à l'unité, pour une unité de variation de la charge hydraulique, Δh , normale à cette surface. Il est désigné par le symbole S, sans dimension.

Dans un aquifère libre, l'eau est libérée par l'action des forces de gravité (drainage). Le coefficient d'emmagasinement S est équivalent, en pratique, à la porosité efficace.

Dans un aquifère captif ou semi-captif, l'expulsion de l'eau est le résultat de la compression de l'aquifère et de la baisse du niveau statique lors du pompage provoquant une baisse de pression, une détente élastique et une déformation du solide libérant l'eau. Les modules d'élasticité étant faibles, le volume d'eau libéré est beaucoup plus petit, à caractéristiques égales, que pour les nappes libres.

III.2.5 Bilan hydrodynamique de la nappe

Dans cette partie, nous allons déterminer les entrées et les sorties des eaux de surface (oued) et des eaux souterraines (nappe alluviale)

	Entrées	Sorties
Oued	- Pluies	- Evaporation
	- Ruissellement	- Déversement de l'oued dans la mer
	- Alimentation de la nappe (cas où la nappe alimente l'oued)	- Alimentation de l'oued (cas où l'oued alimente la nappe)
Nappe	- Pluies	- Evapotranspiration
	- Ruissellement (eau pluvial)	- Alimentation de la nappe (cas où la nappe alimente l'oued)
	- Alimentation de l'oued (cas où l'oued alimente la nappe)	- Débit de pompage

Figure21 : bilan hydrodynamiques des oueds et de la nappe

Conclusion :

Cette étude, nous a permis de mettre en évidence les zones d'alimentation de la nappe ainsi la répartition spatiale de la perméabilité, de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement.

Le bilan hydrodynamique des eaux de surface et des eaux souterraines illustre les différents entrées et sortie de la nappe.

III. 3 Modélisation

La modélisation est devenue de plus en plus présente dans différents domaines. Elle est considérée comme un outil d'une importance capitale que les chercheurs et les ingénieurs veulent acquérir.

En hydrogéologie, l'importance vitale de l'eau amène à réfléchir sur une bonne gestion de cette ressource, au présent aussi bien qu'au futur. Cette gestion se base sur un certain nombre d'orientations parmi les quelles celles liées au choix des sites d'implantation des ouvrages de captage, leur densité dans une aire donnée, les débits d'exploitations et les durées des pompages.

La multiplication des problèmes hydrogéologiques et leurs complexités, induit des difficultés dans leur résolution (la surexploitation des aquifères, les constructions perturbant les écoulements souterrains, altèrent de plus en plus fréquemment la quantité de l'eau souterraine). Pour surpasser ces difficultés, l'hydrogéologue utilise la modélisation des systèmes hydrogéologiques en complément aux méthodes classiques d'investigation. Le modèle lui permettra de simuler le fonctionnement du système et aussi prévoir son comportement futur.

III. 3. 1 Logiciel de modélisation

Nous avons utilisé le programme de modélisation MODFLOW, développé en fortran par l'USGS (MacDonald et Harbaugh). Ce logiciel a pour qualités premières d'être simple, modulaire et d'avoir été rendu fiable par une utilisation mondiale massive. La version que nous utilisons fonctionne sur une interface en Visuel Basic (Visuel Modflow (Waterloo Hydrogeologic softwar 1995-2003)). C'est un modèle à base physique, déterministe, capable représenté des écoulements laminaires, monophasiques et tridimensionnels dans des systèmes multicouches.

III. 3. 2 Les objectifs de la modélisation

Les objectifs visés dans cette étude sont :

- Valider le fonctionnement hydrodynamique de la nappe en régime permanent et transitoire ;
- Valider le fonctionnement du modèle sur des campagnes de mesures inconnu par le modèle ;
- Prévoir des scénarios futurs pour la gestion de la ressource en eaux.

III. 3. 3 Le Maillage du modèle

Le maillage utilisé pour réaliser ce modèle est de 50/50 m, réparti suivant une matrice de 108 lignes et 211 colonnes et couvrant une superficie de 268 Km² (figure 24).

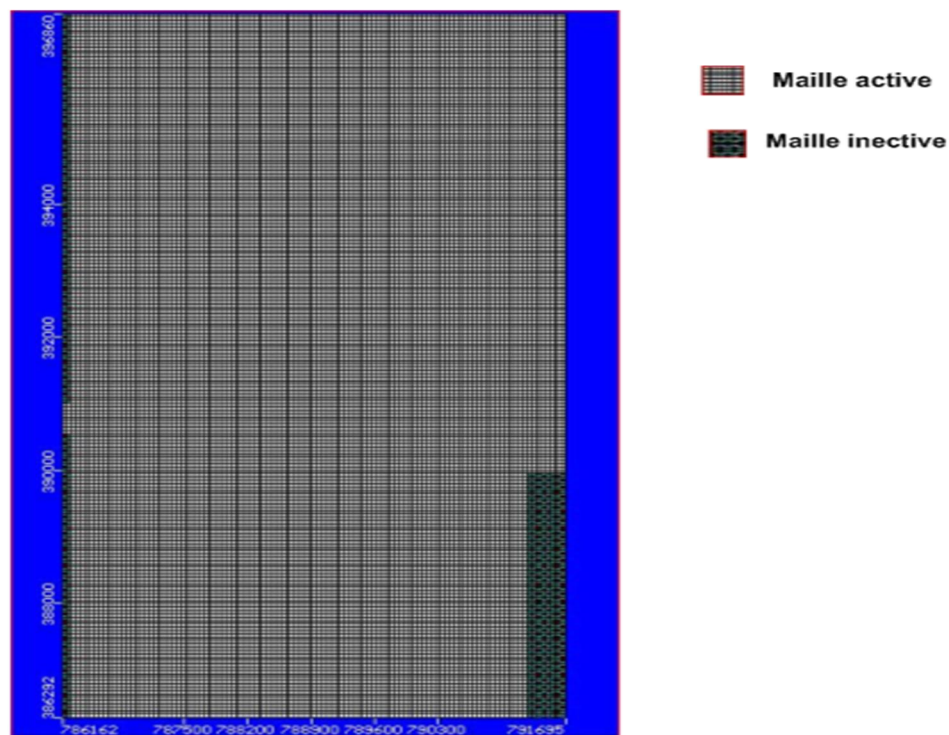


Figure24 : Maillage de la plaine alluviale d'oued Nil

III. 3. 4 Géométrie du système aquifère

A) Limites géographiques

Les limites géographiques du modèle, selon les coordonnées Lambert sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau06 : Limites géographiques du modèle

	Limite inférieure	Limite supérieure
X (m)	386 296	396 860
Y (m)	786 162	791 567

B) Substratum

La nappe alluviale repose sur les marnes grises constituant le substratum. Conformément aux études géologiques et géophysiques, ce substratum présente une allure très irrégulière et par endroit on le trouve à 80 m de profondeur.

C) Toit

La nappe alluviale d'oued Nil est considérée comme libre, avec le passage des (lentilles) semi perméable à imperméable des argiles qui rendent la nappe localement semi captive à captive.

Pour réaliser ce modèle, nous avons considéré que le système aquifère est composé de trois couches :

- la première perméable, elle représente la nappe superficielle, où les puits sont implantés. On a considéré son épaisseur de 25 m ;
- la deuxième est perméable est localement imperméable pour présenter les lentilles argileuses. Son épaisseur est supposée de 10 m ;
- la troisième perméable, elle présente les eaux profondes, où les forages sont implantés. Sa limite inférieure est tirée à partir des forages, toit du substratum (marnes).

La coupe Nord-sud du modèle est présentée dans la figure ci-dessous :

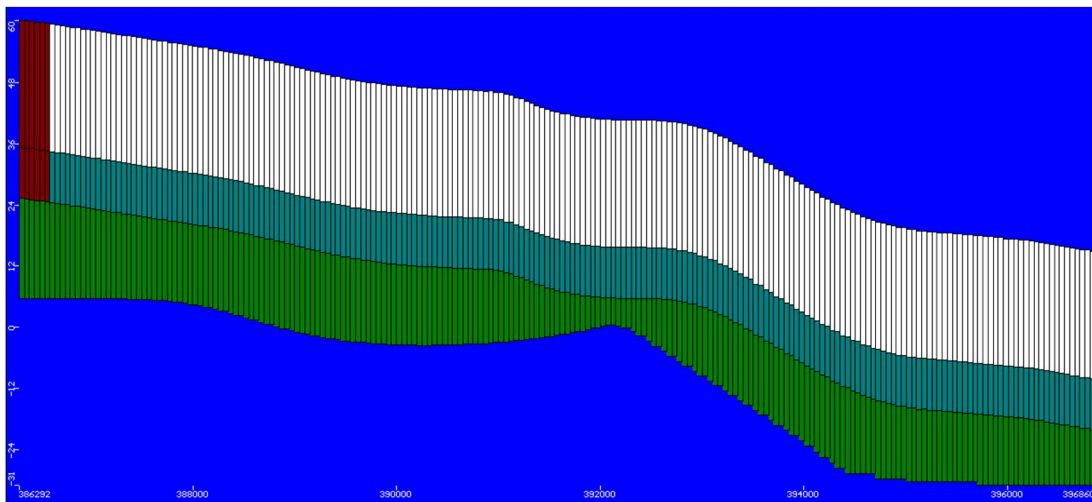


Figure25 : Répartition des couches selon une coupe Nord-Sud du modèle

III. 3. 5 Caractéristiques hydrodynamiques du modèle

A) Perméabilité

Numéro de la couche	Couleur	Formation	Valeur de la perméabilité
1	Blanc	Perméable	$5.8 \cdot 10^{-3}$
	Rouge	Perméable	$1 \cdot 10^{-3}$
2	Bleu turquoise	Semi perméable	$8.46 \cdot 10^{-6}$
	Rouge	Perméable	$1 \cdot 10^{-3}$
3	Verts	Perméable	$2.1 \cdot 10^{-4}$

Property #	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]	Color
1	0.0058	0.0058	0.0058	
2	7.8E-8	7.8E-8	7.8E-8	
3	0.00021	0.00021	0.00021	
4	8.46E-6	8.46E-6	8.46E-6	
5	0.001	0.001	0.001	

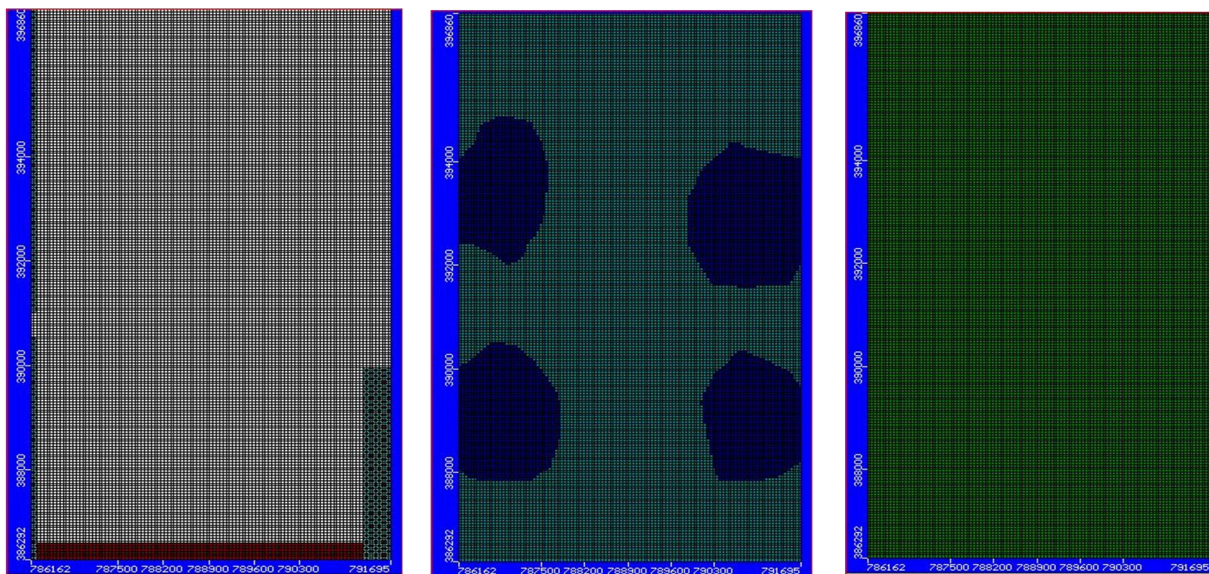


Figure 26 : Répartition des perméabilités sur les trois couches de la nappe

B) Porosité

Les valeurs de la porosité des trois couches sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau07 : Porosité totale et efficace des trois couches

	Porosité totale	Porosité efficace
Couche 01	0.3	0.15
Couche 02	0.6	0.01
Couche 03	0.3	0.3

III. 3. 6 Conditions aux limites

A) Flux entrant

La principale alimentation de la nappe proviennent de la partie sud et est, pour cela nous avons imposé au modèle deux flux entrants : l'un dans la partie sud avec un flux de 20 000 mm/an, et l'autre dans la partie est avec un flux de 12 000 mm/an (figure ci-dessous).

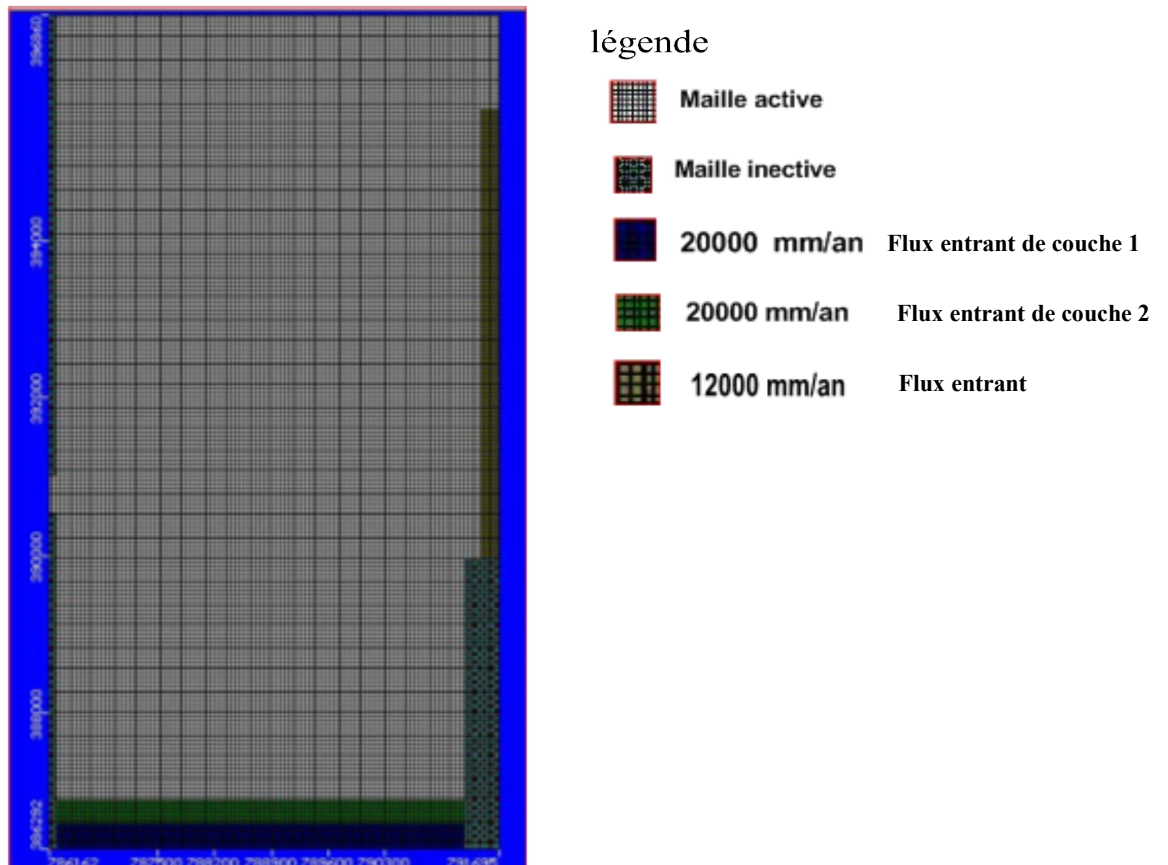


Figure 27 : Conditions aux limites

B) Flux nul

Ce flux est présenté dans la partie ouest, où les niveaux piézométriques sont perpendiculaires à la limite.

C) Potentiel imposé

La limite nord du modèle est présentée par la mer, donc on a considéré cette limite comme un potentiel imposé.

D) Flux sortant

Le flux sortant est présenté essentiellement par les puits et les forages qui utilisant les eaux de la nappe pour l'irrigation et l'alimentation en eaux potable. Les eaux d'irrigation peuvent être comme un flux entrant pour la nappe superficielle et un flux sortant pour la nappe profonde.

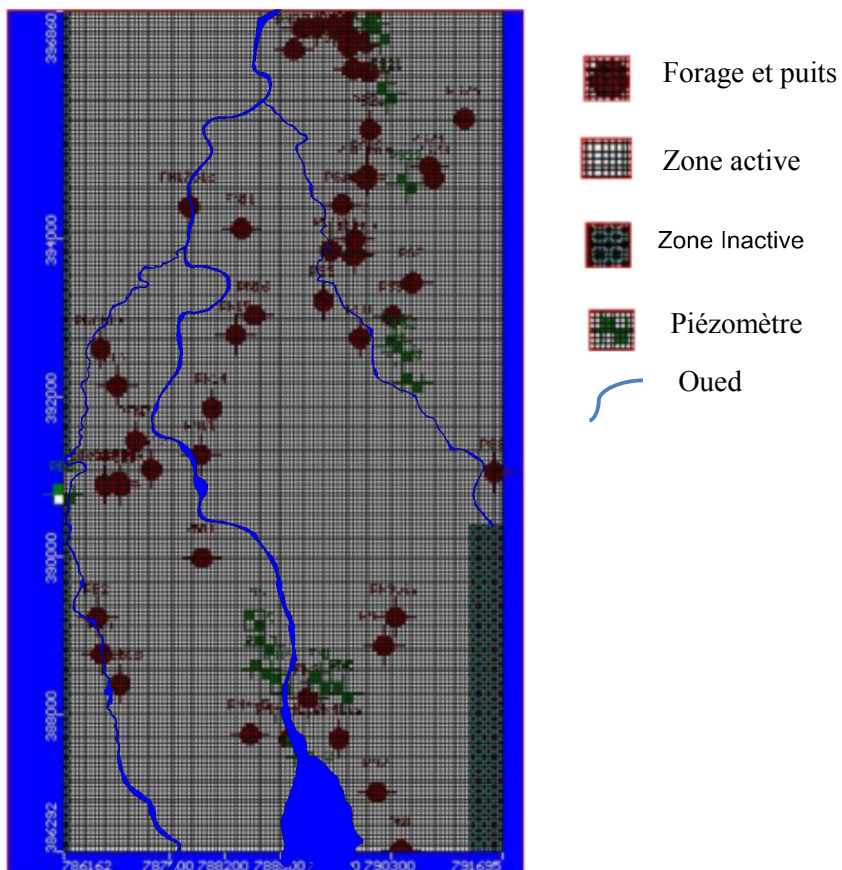


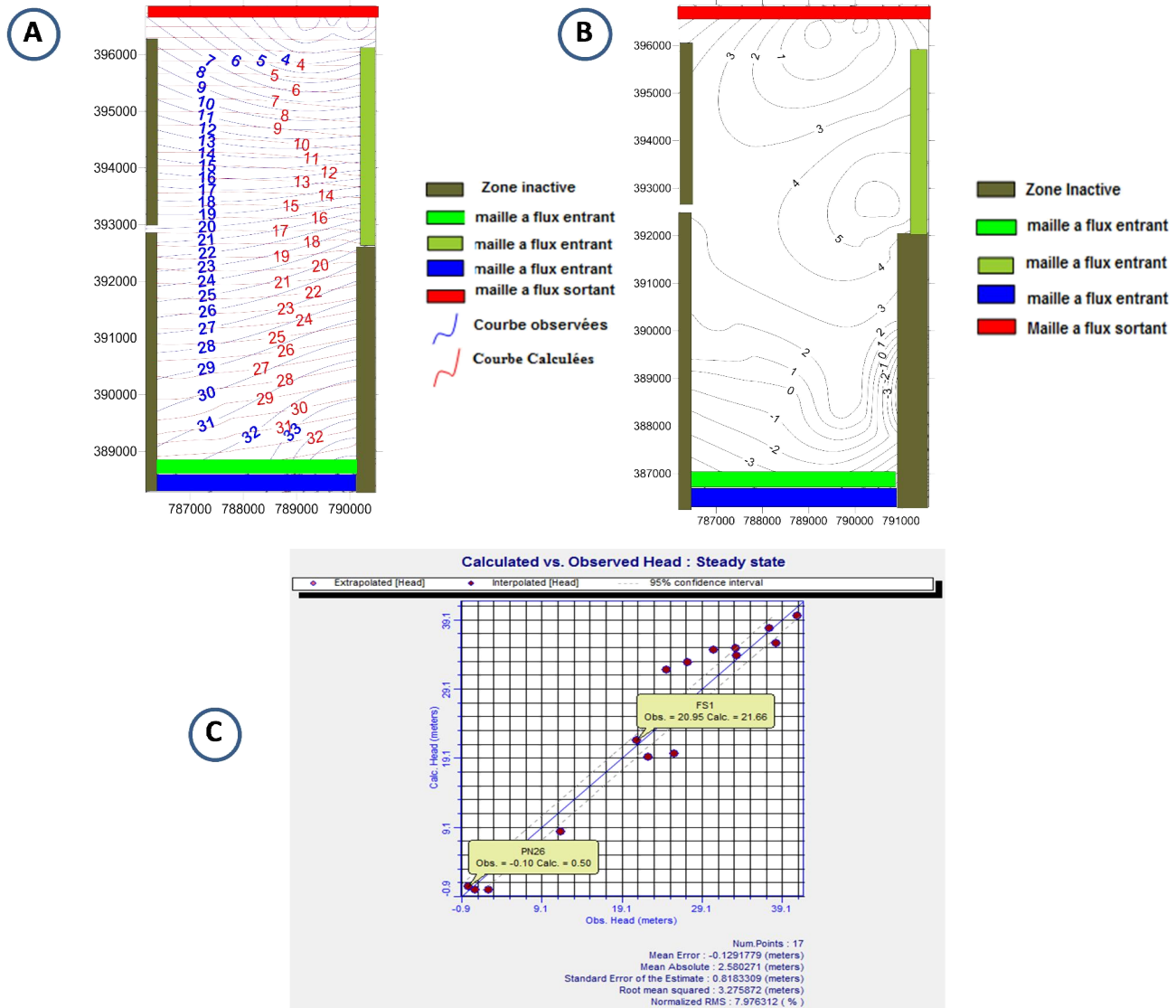
Figure28 : Répartition spatial des puits, des forages et des piézomètres

III. 3. 7 Calage du modèle

A) Régime permanent

Le calage du modèle est le fruit de nombreuses tentatives sur la méthode d'essais/erreurs. A chaque nouveau résultat, on fait varier un seul paramètre pour converger le modèle vers l'état le plus représentatif. Pour le calage du modèle on a travaillé beaucoup sur les valeurs de la perméabilité des couches.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :



Légende : A) calage de la piézométrie calculée et observé en régime permanent ;
 B) la différence entre les piézomètres calculée et observé en régime permanent ;
 C) Droite de calibrage entre les NP calculée par le modèle et observée

Figure29 : Calage du modèle en régime permanent

Les résultats obtenus montrent une erreur d'environ 3.27%. La fréquence d'erreur la plus importante est répartie entre 1 et 3 m. La valeur maximum de l'erreur résiduelle est de +7.18 m (sur-estimation) et la valeur minimum de l'erreur résiduelle de -5.93m (sous-estimation). L'erreur moyenne absolue est de 2.6 m.

Une modélisation parfaite étant atteinte pour une erreur résiduelle de 0 m. Mais vu notre mal connaissance de la géométrie de l'aquifères, surtout la répartition spatiale des lentilles argileuse, on considère que nôtre erreur est acceptable.

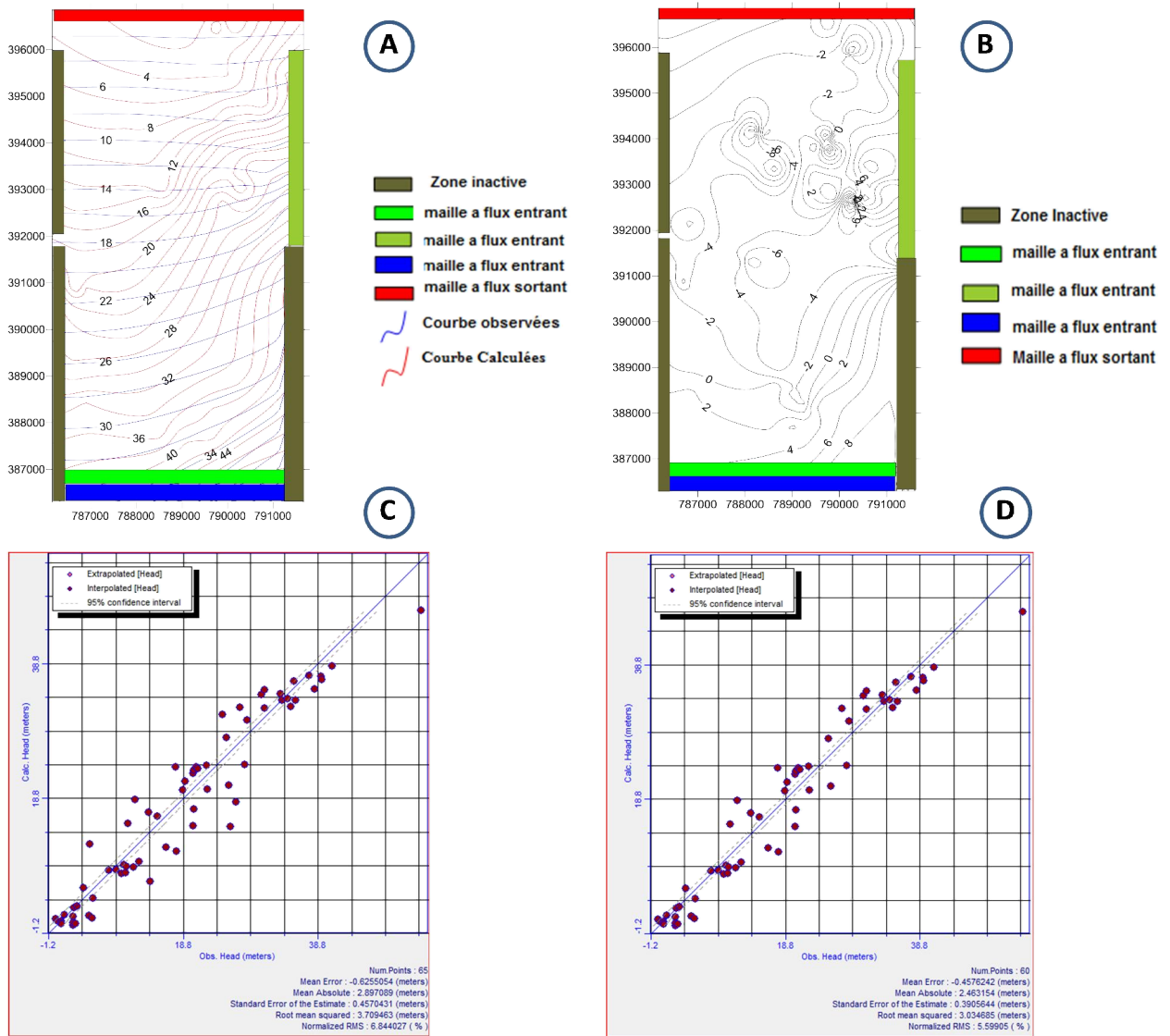
B) Régime transitoire

L'objectif principal de cette étape, de la modélisation hydrodynamique en régime transitoire, est de caler le coefficient d'emmagasinement et d'appréhender l'évolution de la piézométrie suite à des perturbations multiples variables (débits).

Les potentiels précédents calculés en régime permanent sont utilisée comme des valeurs initiales.

Au cours de la phase de calage en régime transitoire, la reproduction des fluctuations piézométriques des aquifères a permis d'ajuster au mieux les coefficients d'emmagasinement utilisés par le modèle. Les valeurs initiales des caractéristiques hydrodynamiques des nappes ont été introduites puis réajustées en cours du calage.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :



Légende : A) calage de la piézométrie calculée et observé en régime transitoire
 B) différence entre les piézomètres calculée et observé en régime transitoire
 C) Droite de corrélation entre le NP calculé par le modèle et observé
 D) Droite de corrélation entre la NP calculé par les modèles et observé après l'enlèvement de certains points où on soupçonne une erreur

Figure 30: Calage du modèle en régime transitoire

Cette figure montre que l'erreur est d'environ 3.70%. La valeur maximum de l'erreur résiduelle est de +7.15 m (surestimation) et la valeur minimum de l'erreur résiduelle est de -8.09 m (sous-estimation). Les fréquences les plus importantes sont réparties entre -2 et +5.15m. L'erreur moyenne absolue est de 2.9 m.

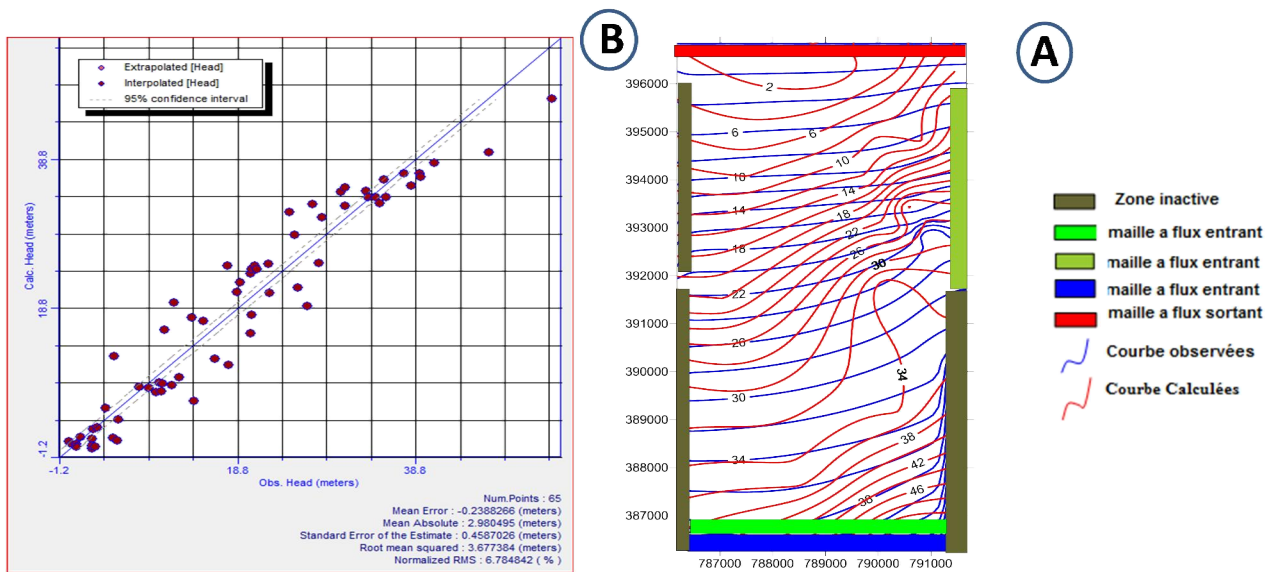
Certains forages (FS3, FS3bis) et puits (PN06, PN2, PS25, PS7, PS8 et PS3) présentent des erreurs élevées, surement liée à une mal connaissance local de la géologie ou des apports d'eau. L'enlèvement de ces captages a fait baisser l'erreur à 2.45 m.

Une modélisation parfaite étant atteinte pour une moyenne des erreurs résiduelles de 0. Dans notre zone d'étude, vu l'erreur du régime permanent et vu la mal connaissance des débits d'exploitation, on considère que notre erreur de modélisation est acceptable.

III. 3. 8 Validation du modèle

Pour tester l'efficacité du modèle pour prévoir l'évolution hydrodynamique de la nappe, nous avons validé le modèle sur la campagne piézométrique réalisée durant le mois d'avril 2015.

Le fonctionnement du modèle a été fait à partir d'avril 2013 jusqu'à avril 2015 avec les données mensuelles de précipitation, d'ETR et de pompage. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :



Légende : a) calage de la piézométrie calculée et observée de l'année 2015 ;
 b) droite de corrélation entre la cote calculée par le modèle et la cote observée de carte 2015 en régime transitoire.

Figure31 : Validation du modèle sur la carte piézométrique réalisée au mois d'avril 2015

Les résultats obtenus montre que la différence moyenne entre la piézométrie observée et calculée est égale à 2.98 m et un pourcentage d'erreur de 6.78%.

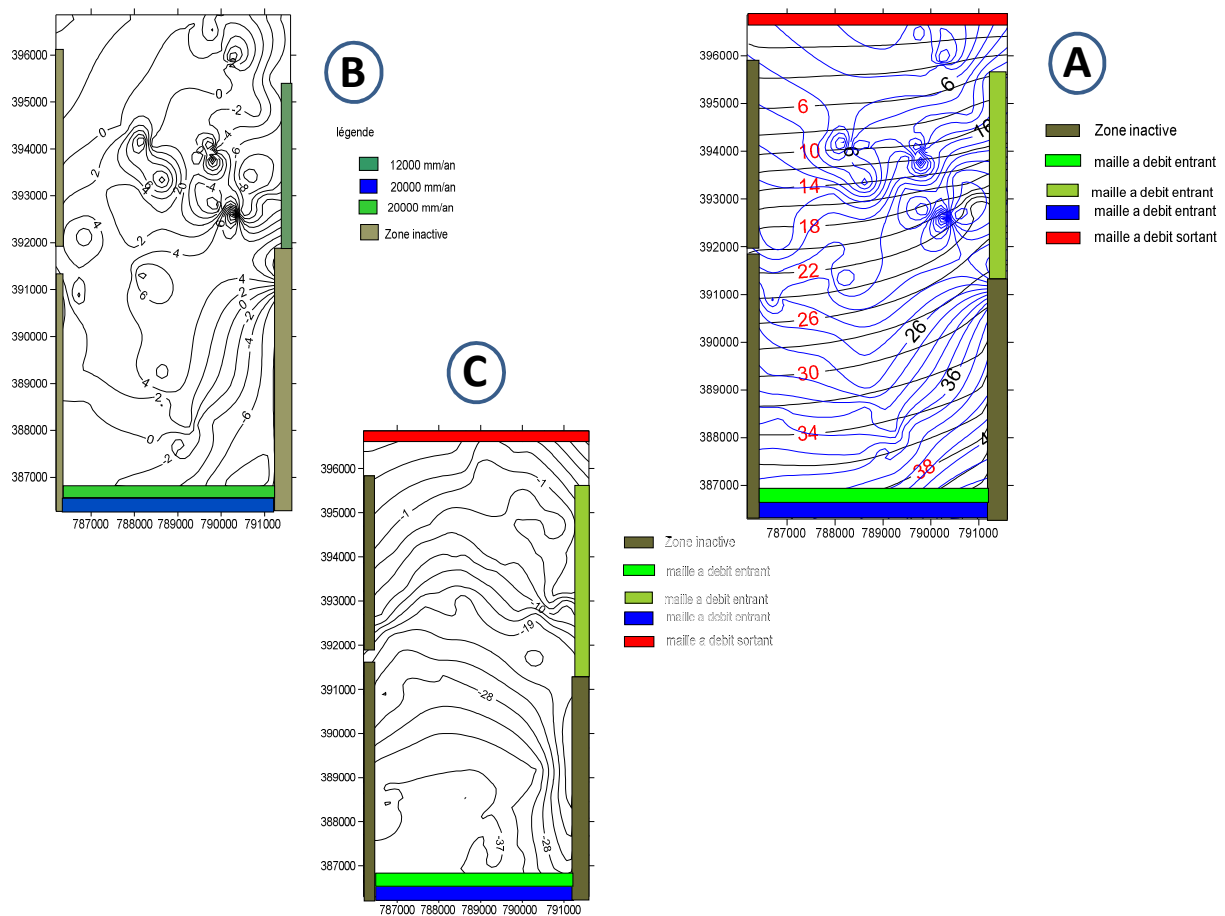
III. 3. 9 Scénarios futurs pour la gestion de la nappe

Après avoir calé et validé le modèle hydrodynamique, il apparaît intéressant de réaliser quelques simulations afin de pouvoir estimer les potentialités en eaux souterraines de la nappe de la plaine d’oued Nil. Trois scénarios de simulation sont proposés : le premier pour une année sèche, le deuxième pour une année normale et le troisième pour une année pluvieuse.

Scénario 01 : Année sèche

Pour simuler ce scénario, on a fait entrer les données mensuelles de la précipitation les faibles durant la période de 1988 à 2015 et les valeurs de l’ETR (méthode de Thornthwaite).

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :



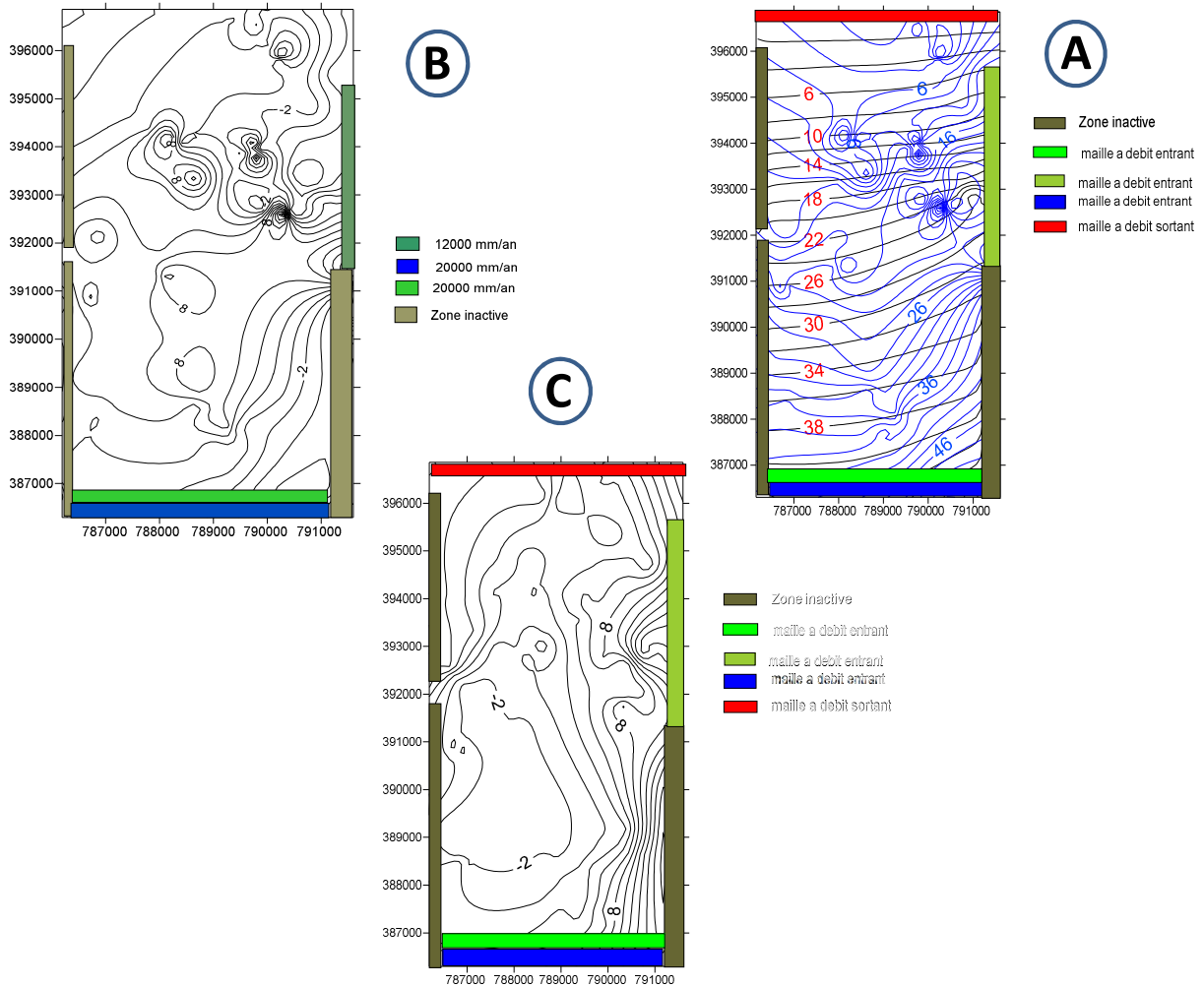
Légende : A) Différence entre la carte piézométrique 2013 et celle de l’année sèche
 B) Superposition entre la carte piézométrique 2013 et celle de l’année sèche
 C) Différence entre le niveau du sol et le NP de l’année sèche

Figure 32 : Scénario 01 (Année sèche)

Cette figure montre une baisse importante du NP, cela est lié à la forte exploitation de la nappe est à le non renouvellement des eaux de la nappe

Scénario 02 Année normale (moyenne)

Cette simulation concerne une année à précipitation moyenne, pour cela on a calculé la précipitation mensuelle moyenne sur la période de 1988 à 2015. L'évapotranspiration réelle a été estimée par la méthode de Thornthwaite. Les résultats obtenus sont présentée dans la figure ci-dessous :



Légende : A) Différence entre la carte piézométrique 2013 et celle de l'année normale
 B) Superposition entre la carte piézométrique 2013 et celle de l'année normale
 C) Différence entre le niveau du sol et le NP de l'année normale

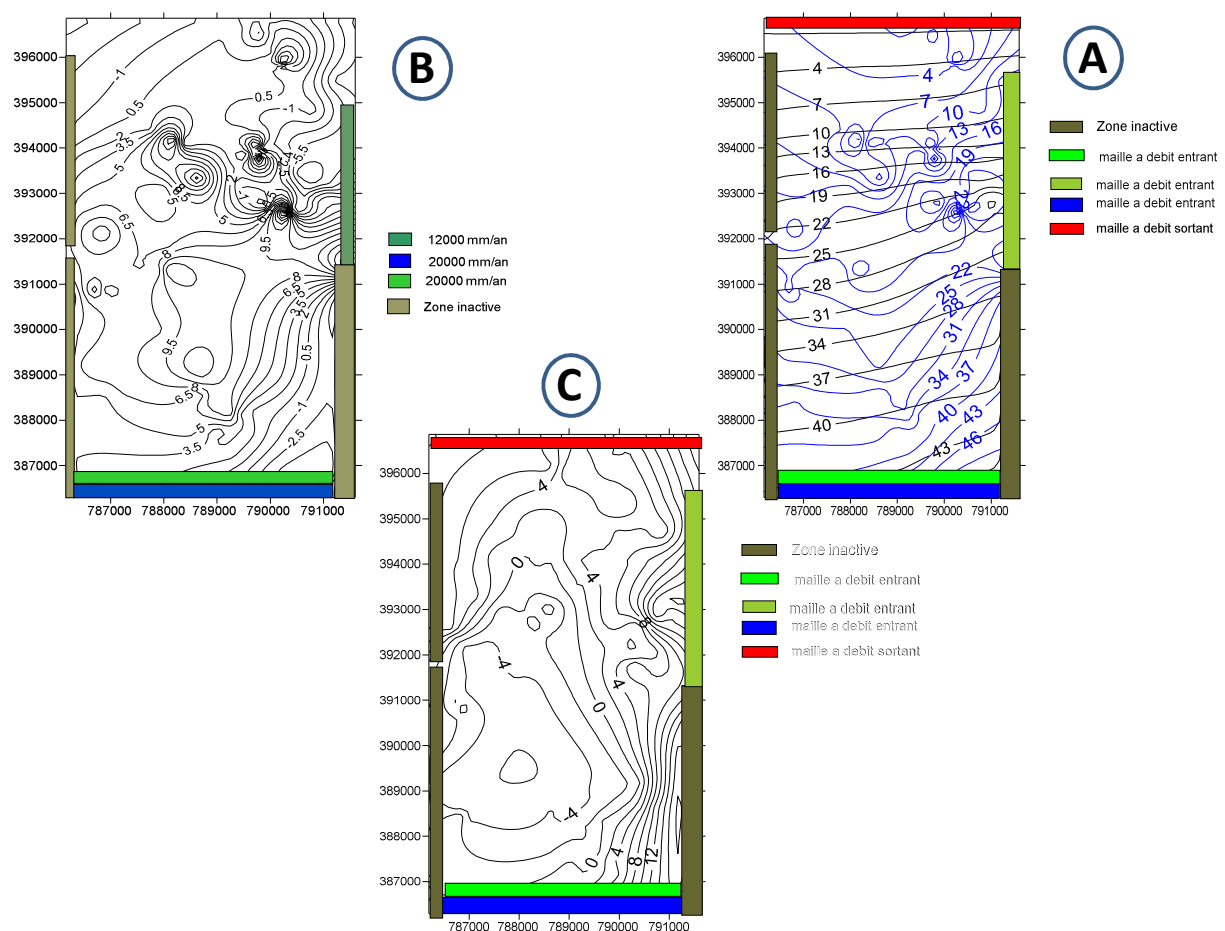
Figure33 : Scénario 02 (Année normale)

Les résultats de cette simulation montrent que le niveau piézométrique ne présente pas une grande variation (de -2 à 8 m), cela est dû à la précipitation qui renouvelle le volume d'eau pompé.

La carte de différence entre le niveau du sol et le NP, montre des valeurs positives, ce qui indique la possibilité d’avoir de l’eau à la surface du sol. Sur le terrain plusieurs cas montrent ces résultats, cas des marécages.

Scénario 03 Année pluvieuse

Cette simulation a pour objectif de montrer l’évolution de la nappe pour une année pluvieuse. Pour faire ça, nous avons pris les précipitations les plus élevées des mois de la période de 1988 à 2015. L’ETR est calculé par la méthode de Thornthwaite. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :



Légende : A) Différence entre la carte piézométrique 2013 et celle de l’année pluvieuse
 B) Superposition entre la carte piézométrique 2013 et celle de l’année pluvieuse
 C) Différence entre le niveau du sol et le NP de l’année pluvieuse

Figure34 : Scénario 03 (Année pluvieuse)

Les résultats obtenus montrent des variations du NP de -2.5 a 9 m au Sud et d’ordre de -5.5 à 8.5 m Nord-Est ce qui implique que le niveau piézométrique a montré une remonté de la nappe et que l’effet de pompage est faible par rapport à la recharge.

La carte de la différence entre le niveau du sol et la piézométrie montre des valeurs positives, indiquant une recharge complète de la nappe et un surplus, qui partira sous forme de ruissellement vers les oueds ou les marécages.

IV. 3.10 Conclusion

La modélisation hydrodynamique de la nappe alluviale d'oued Nil par le code Visual Modflow a permis de valider le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère. Le calage du modèle en régime permanent a permis d'affiner la distribution spatiale de la perméabilité sur l'ensemble du domaine ; le calage en régime transitoire nous a permis d'affiner la distribution spatiale du coefficient d'emménagement de l'aquifère.

Ce modèle présente des erreurs d'environ 7%, cela revient à l'effet de l'hétérogénéité du système aquifère (lentilles argileuse) qui ont influencé sur le bon fonctionnement du modèle, vu notre mal connaissance de sa répartition spatiale.

Enfin pour améliorer les performances du modèle, nous recommandons :

- Définir avec exactitude l'allure de substratum de la nappe, en réalisant des piézomètres profonds et de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques avec beaucoup de précision.
- Positionner des nouveaux piézomètres avec une bonne répartition spatiale
- Etudier les échanges oued-nappe et nappe superficielle – nappe profonde et d'intégrer ses flux dans le modèle.

Conclusion générale et recommandation

Cette étude concerne la modélisation du fonctionnement hydrodynamique de la nappe alluviale de l'oued Nil (NE Algérien). Pour atteindre cet objectif, nous avons commencé notre travail par une étude bibliographique dont laquelle on a montré le fonctionnement hydrodynamique des nappes, les différents types de modèle et les approches les plus utilisées pour établir un modèle.

Puis on a fait une étude détaillée de la géologie du site, des conditions climatologiques, de l'hydrodynamisme de la nappe à travers deux campagnes piézométriques (2013 et 2015). Cela nous a permis de déterminer la géométrie du système aquifère, les conditions aux limites de la nappe (flux imposé au sud et au sud-est, potentiel imposé au nord, flux nuls dans la partie ouest, flux de la recharge et de l'ETR) et les débits d'exploitation de la nappe.

Pour la réalisation du modèle qui a été fait sur deux étapes : la première sur la campagne de 2013, où on a calibré les paramètres du modèle (perméabilité, épaisseur des couches, flux d'entrée et de sortie et la répartition spatiale des couches) en régime permanent, puis une deuxième calibration du modèle (coefficient d'emménagement, débit de pompage) en régime transitoire. Dans la deuxième étape, on a validé le modèle sur la campagne d'avril 2015. Après ces deux étapes, nous avons prévu l'évolution de la nappe pour trois années : une année sèche (les précipitations les plus faibles), une année normale (les précipitations moyenne) et une année pluvieuse (les précipitations les plus élevées).

Les résultats obtenus ont permis de donner une répartition spatiale des paramètres hydrodynamiques (K, T, porosité, coefficient d'emménagement) sur l'ensemble de la plaine. Le calage de la piézométrie en régime permanent (campagne d'avril 2013) a donné une erreur de 7.94% ; le calage en régime transitoire a donné une erreur de 6.84% et enfin la validation du modèle (campagne d'avril 2015) a donné une erreur de 6.785%.

Pour une modélisation plus performante, nous recommandons une bonne description de la géométrie de l'aquifère, une détermination exacte de la répartition spatiale des lentilles argileuses, la détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe surtout le coefficient d'emménagement avec une bonne répartition spatiale de la nappe ainsi qu'une bonne détermination des flux d'irrigation et les échanges oued-nappe et nappe superficielle-profonde.

Annexes

Liste des forages en régime permanent 2013

Nom d'ouvrage	Y(G)	X(G)	le niveau piézométrique	X Lambert	Y Lambert
FN10	36.803477	5.932552	9.75	788575.627	394040.672
FN11	36.804206	5.930585	12.23	788401.283	394121.793
FN6	36.759883	5.932525	24.63	788573.234	389189.634
FN5	36.757047	5.933924	27.25	788697.233	388874.05
FN4	36.752698	5.936194	30.46	788898.432	388390.104
FN1-2	36.741438	5.940828	40.97	789309.163	387137.117
FN1-3	36.745552	5.938356	37.47	789090.059	387594.913
FN1	36.752862	5.941831	33.3	789398.063	388408.353
FS1	36.7868	5.955009	20.95	790566.084	392184.894
FS2	36.790844	5.952606	22.41	790353.097	392634.901
FB2	36.786401	5.912995	11.72	786842.208	392140.495

Listes des puis en régime permanent 2013

nom d'ouvrage	X(m)	y(M)	Le niveau piézométrique	X Lambert	Y Lambert
PBB	5.905324	36.774124	27.9	786162.295	390774.339
PS22	5.954058	36.809216	11.39	790481.793	394679.294
PS21	5.951281	36.819478	5.38	790235.656	395821.226
PN26	5.95029	36.826157	-0.1	790147.82	396564.449
PN33	5.94789	36.82791	0.76	789935.098	396759.519
PN34	5.948467	36.828806	2.43	789986.24	396859.224
PN32	5.946212	36.827794	2.79	789786.37	396746.611
PN31	5.943808	36.827172	2.49	789573.293	396677.396
PN30	5.941359	36.826983	0.27	789356.228	396656.365
PN29	5.93933	36.826764	0.69	789176.389	396631.995
PN27	5.938167	36.824479	1.12	789073.308	396377.725
PN10	5.933441	36.754358	33.44	788654.422	388574.824
PN5	5.945005	36.751643	38.27	789679.388	388272.706
PFS2	5.953501	36.790245	25.61	790432.424	392568.246

Annexes

Liste des forages en régime transitoire 2013

nom d'ouvrage	y(dd)	x (dd)	nv piézométrique	X Lambert	y Lambert
FN7	36.787582	5.918717	15.74	787349.3728	392271.9135
FN8	36.793778	5.922014	14.49	787641.5997	392961.3899
FN9	36.794846	5.925717	14.67	787969.812	393080.2344
FN10	36.803477	5.932552	9.75	788575.6267	394040.6719
FN11	36.804206	5.930585	12.23	788401.2832	394121.7933
FN6	36.759883	5.932525	24.63	788573.2335	389189.6336
FN5	36.757047	5.933924	27.25	788697.2328	388874.0501
FN4	36.752698	5.936194	30.46	788898.4323	388390.1036
FN1-2	36.741438	5.940828	40.97	789309.1631	387137.1171
FN1-3	36.745552	5.938356	37.47	789090.0594	387594.9134
FN3	36.750455	5.937938	32.23	789053.0104	388140.5078
FN2	36.751144	5.94009	30.84	789243.7511	388217.1781
FS3 bis	36.801211	5.946621	4.97	789822.6209	393788.5168
FS3	36.801177	5.946508	0.86	789812.6053	393784.7333
FN1 bis	36.750421	5.941838	36.97	789398.6837	388136.7243
FN1	36.752862	5.941831	33.3	789398.0632	388408.3531
FS1	36.7868	5.955009	20.95	790566.0844	392184.8944
FS2	36.790844	5.952606	22.41	790353.0965	392634.9012
FB2	36.786401	5.912995	11.72	786842.208	392140.4946

Liste des puits en régime transitoire 2013

nom d'ouvrage	y(dd)	x(dd)	nv piézométrique	x lembart	Y lembart
PBB	36.774124	5.905324	27.9	786162.2952	390774.3387
PB2	36.760256	5.910183	28.25	786592.9687	389231.1401
PBA	36.756139	5.910801	30.87	786647.7446	388773.01
PB1 bis	36.752801	5.913345	34.26	786873.23	388401.5652
pièzo FB1	36.775297	5.911314	17.63	786693.214	390904.8674
POB1	36.775079	5.913345	22.34	786873.23	390880.6089
POB1 bis	36.77555	5.913241	20.77	786864.012	390933.0207
PN12	36.776993	5.917845	20.42	787272.0838	391093.5944
PN13	36.778635	5.924831	20.3	787891.2822	391276.3123
PS 25	36.816598	5.962357	13.86	791217.3684	395500.7461
PS 24	36.811112	5.957236	8.89	790763.4728	394890.2769
PS23	36.809824	5.957891	10.04	790821.5281	394746.9512

Annexes

PS22	36.809216	5.954058	11.39	790481.7933	394679.2944
PS19	36.810254	5.948417	9.69	789981.8079	394794.8006
PS19 bis	36.809801	5.948215	10.2	789963.9038	394744.3919
PS20	36.815354	5.948968	4.02	790030.6454	395362.3167
PS21	36.819478	5.951281	5.38	790235.6562	395821.2258
PN22	36.821872	5.948648	3.11	790002.2824	396087.6245
PN22 bis	36.82226	5.946493	2.63	789811.2758	396130.8002
PFN7	36.780224	5.915733	19.15	787084.8884	391453.1325
PN14	36.783961	5.926475	18.72	788036.9968	391868.9771
PS8	36.791811	5.947465	26.65	789897.4282	392742.5067
PS9	36.796036	5.942348	20.29	789443.8871	393212.6549
PN16	36.794378	5.932475	10.59	788568.8018	393028.1565
PN15	36.792172	5.929828	15	788334.1872	392782.678
PS13	36.801686	5.943386	16.28	789535.8894	393841.3736
PN23 bis	36.824788	5.945981	4.83	789765.8951	396412.1102
PN24	36.82526	5.948314	2.42	789972.6786	396464.6332
PN25	36.825866	5.946196	5.27	789784.9514	396532.0675
PN26	36.826157	5.95029	-0.1	790147.8197	396564.4493
PN33	36.82791	5.94789	0.76	789935.0977	396759.519
PN34	36.828806	5.948467	2.43	789986.2396	396859.2238
PN32	36.827794	5.946212	2.79	789786.3696	396746.6108
PN31	36.827172	5.943808	2.49	789573.293	396677.3961
PN30	36.826983	5.941359	0.27	789356.2279	396656.3646
PN29	36.826764	5.93933	0.69	789176.3891	396631.9948
PN27	36.824479	5.938167	1.12	789073.3076	396377.7254
PN11	36.766997	5.924977	25.24	787904.2228	389981.2629
PN10	36.754358	5.933441	33.44	788654.4225	388574.8245
PN4-5	36.747019	5.931876	35.28	788515.71	387758.1577
PN4-4 bis	36.746577	5.937529	39.41	789016.759	387708.973
PN4 bis	36.746539	5.944427	39.31	789628.1575	387704.7445
PN2	36.740517	5.949869	47.1	790110.5048	387034.6304
PN1	36.733882	5.953274	54.1	790412.3041	386296.3031
PN5	36.751643	5.945005	38.27	789679.3881	388272.7056
PN7 bis	36.757121	5.950945	35.54	790205.8751	388882.2847
PN9 bis	36.760206	5.952439	34.74	790338.2946	389225.5763
PS6	36.794299	5.952046	20.45	790303.4614	393019.3656
PS7	36.798126	5.954836	25.79	790550.7507	393445.2252
PS12	36.803091	5.946785	17.8	789837.1569	393997.7188
PS16	36.806864	5.944932	10.38	789672.9178	394417.5694
PSS	36.776686	5.966639	42.51	791596.8999	391059.4321
PFS2	36.790245	5.953501	25.61	790432.4241	392568.2459

Annexes

PN17 bis	36.806785	5.923239	7.77	787750.1766	394408.7784
PNA bis	36.790546	5.910703	13.72	786639.0585	392601.7405

liste des puits et des forage 2015

Nouveau Nom	Ancien Nom	X-dd	Y-dd	NP	X Lambert	Y Lambert
PN20	PFN07	5.91579542	36.7808153	20.02	787090.421	391518.935
PN01	PN01	5.95330661	36.7338592	56.06	790415.195	386293.765
PN07	PN04-4 bis	5.937594	36.746563	37.32	789022.52	387707.415
PN22	PN04-5	5.93186064	36.7470109	35.1	788514.348	387757.255
PN23	PN09 bis	5.95248036	36.7601715	33.63	790341.961	389221.737
PN34	PN24	5.94845117	36.8252444	2.14	789984.836	396462.902
PN35	PN25	5.94692758	36.8258077	2.23	789849.795	396525.579
PN36	PN26	5.95037694	36.8261264	1.92	790155.526	396561.043
PN37	PN27	5.938179	36.824477	0.4	789074.371	396377.503
PN39	PN29	5.939313	36.826753	0.1	789174.882	396630.771
PN40	PN30	5.941407	36.826966	0.05	789360.482	396654.473
PN41	PN31	5.943786	36.827175	2.9	789571.343	396677.73
PN42	PN32	5.946222	36.827984	3.11	789787.256	396767.754
PN44	PN34	5.948428	36.828741	2.59	789982.783	396851.991
PS08	PS06	5.95208381	36.7942279	22.62	790306.812	393011.452
PS09	PS07	5.954935	36.7979479	28.32	790559.526	393425.405
PS10	PS08	5.94749547	36.7917619	25.16	789900.129	392737.039
PS15	PS12	5.94677775	36.8030262	12.74	789836.514	393990.507
PS22	PS19	5.94847703	36.8101872	10.83	789987.128	394787.364
PS25	PS21	5.95136258	36.81941	5.7	790242.887	395813.662
PS27	PS23	5.95794433	36.8096665	11.49	790826.255	394729.428
PS28	PS24	5.95745511	36.8104704	9.58	790782.893	394818.877
PS29	PS25	5.96240731	36.8164966	12.87	791221.827	395489.464
PB4	/	5.90553867	36.7679	29.12	786181.322	390081.75
PSA	/	5.95008539	36.783038	35.45	790129.684	391766.271
PS1	/	5.96492517	36.7796358	33.17	791444.996	391387.682
PT4	/	5.92063592	36.8040996	7.81	787519.454	394109.958

Annexes

Quantité de précipitation (mm) (1988 - 2014)

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec
1988	85	128	70.4	65.6	42.2	18.4	0	0	134.1	2.3	184.6	284.6
1989	112.6	92	67.2	178.4	9.3	8.5	9.2	8.8	52.2	26.7	148.5	124
1990	120.1	0	54.1	87.2	74.1	8.5	6.2	29.4	0.9	107.4	251.2	411.2
1991	115.4	139.6	126.2	42.2	50.5	3.3	0	3.1	40.5	220.6	98.1	67.5
1992	122.9	56	201.4	165.5	98.3	26.1	9.5	0.2	11.5	121.9	60.3	319.3
1993	107.9	113.7	66.7	103.7	66.5	7.5	0	0	32.7	84.3	126.1	158
1994	107.1	141.9	0	92.4	14.5	0	0.3	0.5	93.3	122.9	5	371.6
1995	173.3	37.4	104.1	56.5	5.6	20.6	1.7	9.5	58.5	72.3	96.1	94.6
1996	102.1	313.1	122.4	128.8	60.9	45.1	3.2	10.7	45.1	129.7	110	128.1
1997	58	12.9	12.2	82.2	28.6	27.2	5.8	7.4	110.7	196.5	188.1	121.4
1998	42.3	142.9	67.5	106.1	130.1	3.8	0	20.4	94.3	51.5	339.3	151.8
1999	163.2	97	62.1	42.7	5.9	4	1.6	5.6	27	23.9	250.8	247.7
2000	108.6	42.4	17	33.2	95.3	13.5	1.4	2.7	25.7	89.8	117.8	84.6
2001	247.7	110.9	14.2	50.7	50.3	3.7	0	2.5	38.8	1.1	125.2	142.4
2002	71.8	66.3	37.6	49.7	15.3	4.4	16.2	86.2	49.5	103	182	407.3
2003	333.1	115	30.7	130	70.9	0.8	7.1	0	128.4	76	82	220.5
2004	137.2	83.3	75.2	96.6	81.2	56.4	1.3	4.3	75.8	34.8	267.1	158.8
2005	262.1	212.6	85.5	121.8	4.8	0	1.2	18.4	56.4	21.4	134.5	171.6
2006	178.2	165.5	54.9	24.1	32.7	2.8	0	34.8	45.3	37.9	39.6	215.4
2007	12.3	74.5	268.5	70.6	14.4	26.4	3.3	4.8	70.8	142.9	291.4	211.3
2008	34.3	27.4	172.1	18.8	144.7	3.7	0	1.3	86.7	30.8	109.8	145.9
2009	207.9	85.9	78.2	183.8	14.4	0.3	0.5	10.8	172.3	68.1	154.9	139.6
2010	121.4	60.2	105.4	52.5	81	49.5	2.1	1.4	53	218.5	195.9	110.3
2011	78.6	143.5	89.8	69.7	33.4	27	8.1	0	14.7	247.1	134.5	160
2012	64.9	368.5	95.9	189.4	3.1	0.6	0.4	110.9	105.6	162.8	82.6	81.4
2013	210.3	211.6	81.2	41.9	144.6	0.6	1.6	42.9	48.5	54.2	349.9	125.2
2014	133.7	85.1	154	13.1	7.1	13.9	0.2	4.1	24.9	49	182.9	338.1

Annexes

Quantité d'évapotranspiration (mm) (1988 - 2015)

ETP	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec
1988	36.041	25.579	34.519	47.524	67.071	91.966	118.613	129.394	91.966	85.788	52.275	27.36
1989	22.633	29.22	39.213	45.29	59.96	87.072	121.553	130.7731	106.605	76.535	54.234	47.601
1990	27.953	36.199	39.881	42.06	66.789	95.136	115.423	113.663	123.5	85.681	50.11	24.418
1991	25.816	26.259	45.51	40.532	50.149	91.122	119.878	129.63	119.008	79.15	43.823	28.987
1992	25.935	31.506	38.029	49.015	16.528	89.172	109.14	124.753	114.7939	75.633	53.722	37.509
1993	22.083	26.819	33.427	46.794	72.898	94.376	112.282	126.16	101.535	80.757	46.222	33.427
1994	27.611	28.983	35.813	37.368	70.106	91.393	121.844	152.354	116.322	79.648	54.679	30.863
1995	27.991	35.729	34.209	39.398	71.263	95.802	119.194	128.477	99.113	80.058	55.149	44.367
1996	42.939	28.224	39.661	50.453	65.79	92.291	117.515	125.63	90.7108	63.77	52.878	42.384
1997	35.493	29.157	32.494	45.836	74.675	107.623	112.0388	124.86	108.499	78.381	52.408	36.522
1998	33.426	32.443	38.547	51.585	67.028	102.569	117.998	124.265	109.303	64.326	43.444	28.184
1999	26.083	21.0705	35.593	43.106	78.619	101.941	117.899	143.956	115.161	98.548	41.437	28.785
2000	18.915	29.023	37.407	52.775	75.649	92.51	127.248	133.864	105.776	73.475	47.375	36.368
2001	31.1781	25.244	56.307	45.407	62.847	104.071	117.275	128.381	99.838	97.339	44.834	23.122
2002	24.609	29.079	40.662	46.833	67.751	97.838	115.667	120.116	101.127	75.513	56.528	40.121
2003	18.936	18.202	21.434	24.06	26.699	33.845	36.209	36.791	32.542	29.566	24.172	19.42
2004	27.235	31.426	37.975	45.101	59.107	91.577	117.77	135.342	111.586	93.976	40.106	33.876
2005	17.365	18.101	34.763	51.443	76.913	106.276	130.493	123.99	107.989	85.948	49.638	28.955
2006	22.143	23.79	37.487	58.779	80.144	101.32	125.921	119.288	101.3208	90.424	59.438	34.4
2007	29.876	37.847	34.248	53.97	75.016	98.546	118.673	134.707	104.48	76.488	43.288	29.876
2008	31.7	35.169	17.296	55.026	70.325	96.145	127.585	128.518	112.217963	80.497	45.431	29.327
2009	26.675	25.36	32.754	43.3094	80.592	103.488	139.08	135.089	101.758	75.31	50.95	40.534
2010	30.248	37.215	39.873	51.399	61.643	87.204	121.677	121.677	102.025	76.462	74.25	33.644
2011	26.905	26.461	39.187	55.631	71.976	94.485	129.499	128.533	110.865	78.639	54.363	32.517
2012	25.273	14.595	36.697	50.204	69.289	115.56	129.657	144.551	99.699	83.426	55.167	32.168
2013	28.909	22.778	46.074	53.248	64.25	84.494	120.659	122.489	107.351	99.721	47.236	31.748
2014	31.5643	33.0286	32.048	52.611	64.483	97.821	118.547	126.23	125.256	89.44	63.791	30.606
2015	72.072	70.664	73.472	87.051								
MOYENNE	29.2002643	29.6132536	38.0207143	48.7788714	65.4651852	94.2830741	117.753252	125.684485	104.457313	79.7962593	50.2573333	32.8551481
MAX	72.072	70.664	73.472	87.051	80.592	115.56	139.08	152.354	125.256	99.721	74.25	47.601
MIN	17.365	14.595	17.296	24.06	16.528	33.845	36.209	36.791	32.542	29.566	24.172	19.42

Références bibliographiques

A

-ANDERSON M.-P., WOESSNER W-W., 1992. Applied Ground water Modeling .Academic Press, Inc., San Diego, CA, 381 p.

-ARNAUD.P., 1997. Modèle de prédétermination de crues basé sur la simulation. Extension de sa zone de validité, paramétrisation du modèle horaire par l'information journalière et couplage des deux pas de temps. Thèse de doctorat, Université des sciences et technique du Languedoc. 251 p.

B

-BARTHEL R., 2006 -.Common problematic aspects of coupling hydrological models with ground water ow models on the river catchment scale. Advances in Geosciences 9 : 63- 71.

-BEARA J., BELJINB M- S., ROSSC R- R., 1992, Ground Water Issue: Fundamentals of Ground-Water Modeling. EPA/540/S-92/005.

-BECHEKITE M., 2005: Etude hydrogéologique de la plaine alluviale d'Oued El Nil, université Mentouri-Constantine, 18-19 p. (mémoire d'ingénieur d'état en géologie).

-BELLI., 2000., Stress oxydant induit par la Co exposition au plomb et au cadmium : deux contaminants des eaux souterraines d'Oued El Nil (Jijel - Algérie). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 23, n° 3, 2010, 289-301p.

-BERTRANDIAS F ., J-P., 1994 - Mathématiques pour les sciences de la nature et de la vie, Collection Grenoble Sciences, 187 p.

-BOUCENA.F., 2009, cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité a la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'oued Djendjen, Magister en science de terre, université de Badji-Moukhter 133p.

C

Références bibliographiques

-CERNESSON F. (1993). Modèle simple de prédétermination des crues de fréquences courante à rare sur petits bassins versants méditerranéens. Thèse de doctorat, Université des sciences et technique du Languedoc. 240 p.

-CHRISTIN F., 2008, Etude de la modélisation hydrodynamique de surface et hydraulique souterraine et leur couplage dans un but d'aider _a la gestion des hydro systèmes aménagés. Thèse de Doctorat, Agro Paris Tech, 372p.

-CORON É., 2007, Automatisations du processus de modélisation 3D en hydrogéologie par système expert et ontologies, Thèse doctorat en Géomatique. Département de sciences géomatiques faculté de foresterie et de géomatique université laval Québec, 5.6.8.10P.

D

-DASSARGUES A., 1991, "Modèles mathématiques en hydrogéologie et paramétrisation." Annales de la Société Géologique de Belgique.217-219p.

-DASSARGUES A., 1995. Modèles mathématiques en Hydrogéologie, Programme Tempus : Sciences de l'eau et de l'environnement, 125p.

-DE MARSILY G., 2004, Cours d'hydrogéologie, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 226p.

-DJELLIT H ., 1987, Évolution tectono-métamorphique du Socle Kabyle et la polarité demise en place des nappes de flysch en petite Kabylie occidentale (Algérie), Thèse doct.Univ de Paris- Sud Centre d'Orsay, 206 pages.

-DUMAS A. (2006). Méthode de maximisation : estimation des crues maximales probables (CMP). La Houille Blanche, n° 5, 74-79p.

-Duran D., 1955 in, Bouroudi N et Boussioud A., (2011).

G

-GENIVAR I., 2013, rapport de modélisation hydrogéologique révision 1, projet minier arnaud, 60 p.

Références bibliographiques

-GIRARD G., LEDOUX E., VILLENEUVE J-P., 1981, "Le modèle couplé. Simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un système hydrologique." ORSTOM/Ecole Nationale Supérieure des mines de Paris/INRS Québec.

-GUERRAICHI M, BOUCHEKKOUF K., 2013, Etude hydrochimique des eaux superficielles et souterraines de la plaine alluviale de l'oued Nil, Master2 Eau et Environnement, université de Jijel., 101p.

H

-HARBAUGH A-W., BANTA E-R., HILL M-C., and MCDONALD, M.G. modflow-2000, the usgs modular groundwater model – user guide to modularisation concepts and the groundwater flow process, usgs open-file report 00-92., 1988-2005.

-HILLEL D., « L'eau et le sol: principes et processus physiques », PEDASUP, 1987.

I

-INERIS ., 2008, Recommandations relatives au choix entre modèle analytique et numérique dans le cadre de l'étude du transfert de polluants dans les sols et les eaux souterraines, 82 p.

K

-KESSASRA F.,2015 , Modélisation hydrogéologique des écoulements d'eaux souterraines et de surface de la nappe des alluvions de la vallée de la Soummam (Nord -Est Algérie) - Impacts sur l'environnement et les écosystèmes. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, USTHB d'Alger, 434 p.

-KUMAR C., 2002. Ground water flow models. Technical report, National Institute of Hydrology. Roorkee – 247667 (Uttaranchal).

L

-LEDOUX E., 2003, Modèles mathématiques en hydrogéologie. Centre d'Informatique Géologique, Ecole nationale Supérieure des mines de Paris, 133p.

Références bibliographiques

-**LEDOUX E., ROUQUET S.**, 2010, Etat des lieux sur la modélisation hydrologique et hydrogéologique et applicabilité dans le cadre de projets européens, Ecoles des Mines de Paris et Société des Eaux de Volvic ,15 p.

-**LEDOUX E., ROUQUET S.**, 2010, Etat des lieux sur la modélisation hydrologique et hydrogéologique et applicabilité dans le cadre de projets européens, Ecoles des Mines de Paris et Société des Eaux de Volvic, 41 p.

-**LEHTIHET., A.M.**, 1983, Étude hydrogéologique de la plaine alluviale de l'Oued Nil (Région de Jijel). Mémoire d'Ingénieur, USTHB, Alger, 67 pages.

M

-**MEDANE K.**, 2012. Hydrologie et modélisation pluie-débit : cas du bassin versant de l'oued boumessaoud (tafnanw- algérien), Mémoire de magister, université de Tlemcen, 121 p.

N

-**NDIAGA S.**, 2006. Modélisation des écoulements en milieu poreux non saturé: Application à la recharge naturelle des nappes, Mémoire de d'ingénieur, université Cheikh Antadiop de Dakar (Sénégal), 155 p.

P

-**PENMAN H.**, 1948 .Natural evaporation from open water, bare soil and Grasse Proceed of the Royal Soc., London, series A, 193, p.120-145.

-**PERRIN C.**, 2000, Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de Doctorat, Cemagref. Antony, Institut National Polytechnique de Grenoble: 530 p.

S

-**SADOUN.L.**, 2013, Etude hydrologique et hydrodynamique de la basse plane alluviale de l'oued el Nil, Master2 Eau et Environnement, université de Jijel., 131p.

Références bibliographiques

-SCHLESINGER S., CROSBIE R-E., GAGNE R-E., INNIS G-S., LALWANI C-S., LOCH J., SYLVESTER J., WRIGHT R-D., N. KHEIR NETBARTOS D., 1979 - Terminology for model credibility. Simulation 32(3) : 103-104

-SINGH, P. 1995, Hydrologic systems, vol. 1: Rainfall - Runoff modeling.

T

-TRANOUEZ P., 2005, Contribution à la modélisation et à la prise en compte informatique de niveaux de descriptions multiples. Application aux écosystèmes aquatiques. Thèse de Doctorat, Université du Havre, 191p.

V

-VINCENT M., BOUCHUT J., FLEUREAU J-M., MASROURI F., OPPENHEIM E., HECK J-V., RUAUX N., LE ROY S., DUBUS I., SURDYK N., (2006). " Étude des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et de ses interactions avec le bâti".BRGM.

Résumé

Ce travail a pour objectif d'étudier la modélisation du fonctionnement hydrodynamique de la nappe Alluvial d'Oued Nil (wilaya de Jijel). Au début de ce mémoire, nous avons commencé par une étude bibliographique, dont laquelle nous avons exposé les principes et les objectifs des différents types de model en régime permanent et en régime transitoire. Puis nous avons réalisé une présentation de la zone d'étude, dont laquelle on montre que les formations géologiques de la plaine d'oued Nil sont des remplissages alluvionnaires près des oueds et des formations sableuse au nord.

L'étude hydroclimatologique indique que la région d'étude est caractérisée par un climat intermédiaire (subhumide à humide), avec un hiver doux et un été sec, les précipitations moyennes annuelles calculées à la station de Taher (Achouat) est de 1007.66mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 18.11°C.

La coupe lithostratigraphique réalisée sur la nappe montre un horizon aquifère avec des passages des lentilles argileuses qui rendent la nappe localement captive. Selon la carte piézométrique de la nappe, l'écoulement se fait de l'amont à l'aval.

La modélisation hydrodynamique de la nappe par le logiciel Visual Modflow a été faite en trois étapes :

- 1) calibrage des paramètres dynamique (K, flux, porosité et conditions aux limites) en régime permanent sur les forages et les puits stationnaire de la campagne d'avril 2013 ;
- 2) calibrage de paramètres du régime transitoire (coefficient d'emmagasinement, débit de pompage et la recharge) sur les forages et les puits dynamique de la campagne d'avril 2013 ;
- 3) validation du modèle sur la campagne hydrodynamique d'avril 2015 ;
- 4) et enfin prévision de l'évolution hydrodynamique de la nappe à travers trois scénarios : l'un pour une année sèche, pluvieuse et moyenne.

Mots-clés : Modélisation, Hydrodynamique, permanent, transitoire, Plaine alluviale, Nil, Jijel, Algérie

Résumé :

This work has for objective to study the modeling of hydrodynamic operation of the alluvial aquifer of Oued Nile (wilaya of Jijel).

The bibliographic study on the theme shows the principles and the objectives of different types of model in permanent regime and in transient regime.

The geographical presentation of the study zone and the geological characteristic shows that the plain of oud nilconsists a alluvial filling in south, on these alluvium is deposited the dune formations more or less recent. these geological formations liable to form an aquifer.

The Hydroclimatological study indicates that the study region is characterized by an intermediate climate (humid to subhumid), with a mild winter and a dry summer, the annual average rainfall calculated at the station Taher (Achouat) is 1007.661mm and an annual average temperature of the order of 18.11 ° C.

The lithostratigraphic cote realized on the aquifer shows an aquifer horizon with passages of argillaceous lenses that makes the aquifer locally captive. According to the piezometric map of the aquifer, the flow is from upstream to downstream.

The Hydrodynamic modeling of the aquifer by Visual Modflow software was made in three steps:

- 1- Calibration of dynamic parameters (K flow conditions to the limits) in permanenet regime on drillings and stationary wells of the campaign of april 2013.
- 2- Calibration parameters of the transient regime (storage coefficient, flow of pumping and the refill) on drillings and dynamic wells of the campaign of april 2013.
- 3- Model validation of hydrodynamic campaign april 2015.
- 4- And finally, prevision of hydrodynamic evolution of the aquifer through three scenarios: one for a dry year, rainy and average.

Keywords:

Modeling ,hydrodynamic, permanent, Transient, alluvial plain, , Nil, Jijel, Algérie

ملخص

- يهدف هذا العمل إلى دراسة النموذج الوظيفي الهيدروديناميكي لمستوى المياه الجوفية لواد النيل بولاية جيجل. في هذه المذكرة قمنا أولاً بدراسة مرجعية لهذا الموضوع التي تبين الأساسيات و الأهداف لمختلف أنواع النمذج (النموذج الدائم , النموذج المتغير). بعدها قمنا بعرض منطقة الدراسة حيث وجدنا أنّ المكونات الجيولوجية لواد النيل تتكوّن من ترسّب الطمي بجانب الواد ومكوّنات رملية في الشمال.
- دراسة العوامل المناخية تبين أن منطقة الدراسة تتميز بمناخ (شبه رطب , رطب) مع شتاء معتدل و صيف حار مع بلوغ متوسط هطول الأمطار السنوي المحسوب بمحطة الطاهير بأشواط بين سنة 1988 إلى 2014 حوالي 1007.66 ملل ومتوسط درجات الحرارة السنوية حوالي 18.11°.
- المقطع الجيولوجي المعمول بسهل النيل يبيّن أنّ المياه الجوفية لهذا الأخير تعبرها بعض الأجزاء من الطين ممّا يدلّ أنّ هذه المياه محبوسة نوعاً ما.
- النموذج الهيدروديناميكي لمستوى المياه الجوفية والذي استخدم بواسطة برنامج Modflow مرّ بثلاث مراحل :
- 1- معايرة الخصائص الهيدروديناميكية (النفاذية, المسامية, شروط الحدود) في النظام الدائم على الآبار الثابتة الموجودة بسهل النيل لأفريل 2013.
 - 2- معايرة الخصائص الهيدروديناميكية في النظام المتغير (معامل التخزين, التدفق, التعبئة) على الآبار الموجودة في سهل النيل لأفريل 2013.
 - 3- التحقق من صحّة النموذج في أفريل 2015 و أخيار توقع التطور الهيدروديناميكي

الكلمات المفتاحية

النموذج. الهيدروديناميكي. النظام الدائم. النظام المتغير. جيجل. الجزائر.