

Profondeur des eaux souterraines sur le périmètre intérieur au périphérique nantais

Rapport final

BRGM/RP-53917-FR

Mai 2005

Profondeur des eaux souterraines sur le périmètre intérieur au périphérique nantais

Rapport final

BRGM/RP-53917-FR

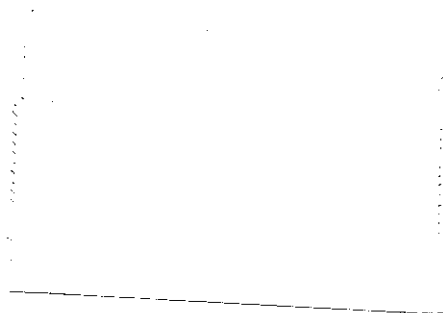
Mai 2005

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2005 URB A03

B. Mougin et P. Conil

Avec la collaboration de

R. Blanchin, J-P. Jégou, E. Thomas et P. Gauvrit



Mots clés : eau souterraine, forages, puits, piézomètres, nappe, Nantes Métropole, Loire-Atlantique, Pays de la Loire.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Mougin B. et Conil P. avec la collaboration de **Blanchin R., Jégou J-P., Thomas E. et Gauvrit P.** (2005) - Profondeur des eaux souterraines sur le périmètre intérieur au périphérique nantais - Rapport final - BRGM/RP-53917-FR - 29 p., 1 tabl., 11 fig., 4 pl., 2 ann.

© BRGM, 2005, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Une convention a été passée entre Nantes Métropole et le BRGM pour mener une étude visant à apporter une vision globale de la situation des nappes phréatiques sur une portion du territoire de la communauté urbaine.

Comme il s'agit d'obtenir des informations sur la profondeur où des travaux sont susceptibles de rencontrer des eaux souterraines, l'étude porte sur l'identification du niveau «haut» des nappes.

En accord avec Nantes Métropole, les travaux concernent le territoire s'inscrivant à l'intérieur du périphérique nantais (soit environ 100 km²). Ce secteur d'étude comprend une partie des communes d'Orvault, Saint-Herblain, Nantes, Bouguenais, Rezé, Saint-Sébastien-sur-Loire, Basse-Goulaine et Vertou.

Après dépouillement des données d'archive provenant de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) et repérage complémentaire sur le terrain, une liste de points d'eau potentiellement accessibles a été constituée.

La campagne de mesure en hautes eaux s'est déroulée de fin février à début mars 2005 (semaines 8, 9 et début de semaine 10). 252 sites ont été visités et 118 mesures ont été effectuées dans différents ouvrages : puits, forages, piézomètres, sondages... Ces points de mesure, relativement bien dispersés, représentent de façon assez homogène la zone d'étude.

Suite au dépouillement et à l'informatisation des informations recueillies, l'altitude de la surface de la nappe a été modélisée en utilisant une grille à la maille de 20 m. Par différence avec le Modèle Numérique de Terrain provenant des services techniques de Nantes Métropole, la profondeur de la nappe sous le sol a pu être calculée et cartographiée à l'échelle du 1/50 000.

La profondeur de la nappe, fin février - début mars 2005, varie entre 2.5 et 5.7 m, avec une moyenne de 3.4 m.

Un zoom de cette dernière carte a été opéré sur les quartiers Haut Pavés - St-Félix et Breil Barberie (échelle 1/25 000), quartiers soumis à des rabattements de la nappe par pompage, assèchement de puits et déstabilisation des fondations.

Sur les deux quartiers, la profondeur de la nappe, en fin d'hiver 2005, varie entre 2.5 et 4.5 m.

Recommandations d'utilisation de données :

Les cartes de ce rapport sont issues d'un traitement statistique qui a permis d'examiner la probabilité de rencontrer la nappe phréatique en cas de réalisation de travaux d'excavation du sol et du sous-sol.

Les profondeurs calculées proviennent des valeurs mesurées lors d'une période de hautes eaux relatives (fourchette plutôt basse) du fait de la pluviométrie particulière de l'année présente. Pour des années à pluviométrie hivernale plus conforme aux moyennes historiques, les niveaux de nappe seront donc plus proches du sol.

L'échelle de précision des cartes est le 1/25 000. En aucun cas elles ne devront donc être utilisées à l'échelle de la parcelle

Sommaire

1. Contexte et objectif du projet	9
1.1. CONTEXTE	9
1.2. OBJECTIF DU PROJET.....	9
1.3. CHOIX DU SECTEUR D'ÉTUDE	9
1.4. ORGANISATION DU RAPPORT	10
2. Cycle de l'eau et écoulement souterrain	11
2.1. RAPPELS SUR LE CYCLE DE L'EAU	11
2.2. LES ÉCOULEMENTS SOUTERRAINS EN ZONE DE SOCLE	12
2.2.1. Rappel sur les aquifères de socle.....	12
2.2.2. Contexte géologique du secteur d'étude	13
2.3. LE BATTEMENT DES NAPPES	15
3. Déroulement technique du projet.....	17
3.1. CHOIX DE LA PÉRIODE DE MESURE.....	17
3.2. DÉPOUILLEMENT DES DONNÉES D'ARCHIVE ET REPÉRAGE	18
3.3. CAMPAGNE DE MESURE SUR LE TERRAIN	19
3.3.1. Campagne de mesure.....	19
3.3.2. Résultats obtenus et problèmes rencontrés.....	20
4. Cartographie de la profondeur des eaux souterraines	23
4.1. DESCRIPTION DE LA MÉTHODE UTILISÉE	23

4.2. RÉSULTATS OBTENUS	27
4.2.1. Cartographie de la profondeur de la nappe	27
4.2.2. Remarques.....	27
4.2.3. Zoom sur les quartiers nantais.....	27
5. Conclusion	29
6. Bibliographie.....	31

Liste des figures

Figure 1 - Localisation du périmètre d'étude	10
Figure 2 - Schéma du cycle de l'eau	11
Figure 3 - Modèle conceptuel des altérations supergènes en domaine granitique (Wyns, 1998)	13
Figure 4 - Carte géologique du secteur d'étude	14
Figure 5 - Chronique piézométrique du forage de « La Blonière » sur la commune de St-Julien-de-Concelles (1994-2004)	15
Figure 6 - Précipitations efficaces en France du 1 ^{er} septembre 2004 au 31 mars 2005 (source : RNDE)	17
Figure 7 - Aperçu d'une sonde piézométrique.....	19
Figure 8 - Localisation des 118 mesures effectuées.....	22
Figure 9 - Principe de modélisation de la surface piézométrique.....	23
Figure 10 - Calcul par régression linéaire de l'équation reliant l'altitude de la surface piézométrique à l'altitude du sol et à l'altitude de la surface-enveloppe des rivières pérennes.....	26
Figure 11 - Localisation des pompes sur le quartier St-Félix - Hauts Pavés.....	28

Liste des tableaux

Tableau 1 - Chiffrage des sites visités par commune.....	20
--	----

Liste des annexes

Annexe 1 - Photographies de quelques points d'eau (forages, puits, piézomètres)

Annexe 2 - Planches cartographiques

Liste des planches

Planche 1 - Incertitude sur l'altitude de la surface piézométrique

Planche 2 - Altitude de la surface piézométrique fin février - début mars 2005

Planche 3 - Profondeur de la nappe sous le sol fin février - début mars 2005

Planche 4 - Profondeur de la nappe fin février - début mars 2005 sur les quartiers de Breil Barberie et Hauts Pavés - St-Félix

1. Contexte et objectif du projet

1.1. CONTEXTE

La question des nappes d'eau souterraines et de leur protection est régulièrement posée dans un ensemble de quartiers de Nantes Métropole.

En effet, le niveau des eaux souterraines dans le sous-sol des villes est un facteur important qu'il convient de prendre en compte lors des projets d'aménagement. Si, lors de la réalisation de travaux souterrains relativement profonds (parking par exemple), ces nappes sont touchées, une exhaure doit souvent être mise en place. Les conséquences peuvent alors être nombreuses : rabattement de la nappe et assèchement des puits voisins, déstabilisation des fondations des immeubles voisins (surtout s'ils sont anciens et fondés sur des pieux de bois), drainage des réseaux fuyards et risque de pollution des sols ; rejets dans les réseaux d'assainissement avec risque d'engorgement et diminution de l'efficacité des rendements épuratoires. Ces effets en cascade présentent un coût sensible pour la collectivité.

1.2. OBJECTIF DU PROJET

Une convention a été passée le 04/11/2004 entre Nantes Métropole et le BRGM pour mener une étude visant à apporter une vision globale de la situation des nappes phréatiques sur une portion du territoire de la communauté urbaine.

Comme il s'agit d'obtenir des informations sur la profondeur où des travaux sont susceptibles de rencontrer des eaux souterraines, l'étude porte sur l'identification du niveau « haut » des nappes (niveau des hautes eaux annuelles, survenant usuellement en fin d'hiver).

1.3. CHOIX DU SECTEUR D'ÉTUDE

En accord avec Nantes Métropole, les travaux portent sur le territoire s'inscrivant à l'intérieur du périphérique nantais (soit environ 100 km²). Ce secteur d'étude comprend une partie des communes d'Orvault, Saint-Herblain, Nantes, Bouguenais, Rezé, Saint-Sébastien-sur-Loire, Basse-Goulaine et Vertou (cf. figure 1).

Il est également prévu de travailler plus particulièrement (zoom) sur les quartiers Saint-Félix / Hauts-Pavés et Breil Barberie, sur la commune de Nantes (cf. figure 1).

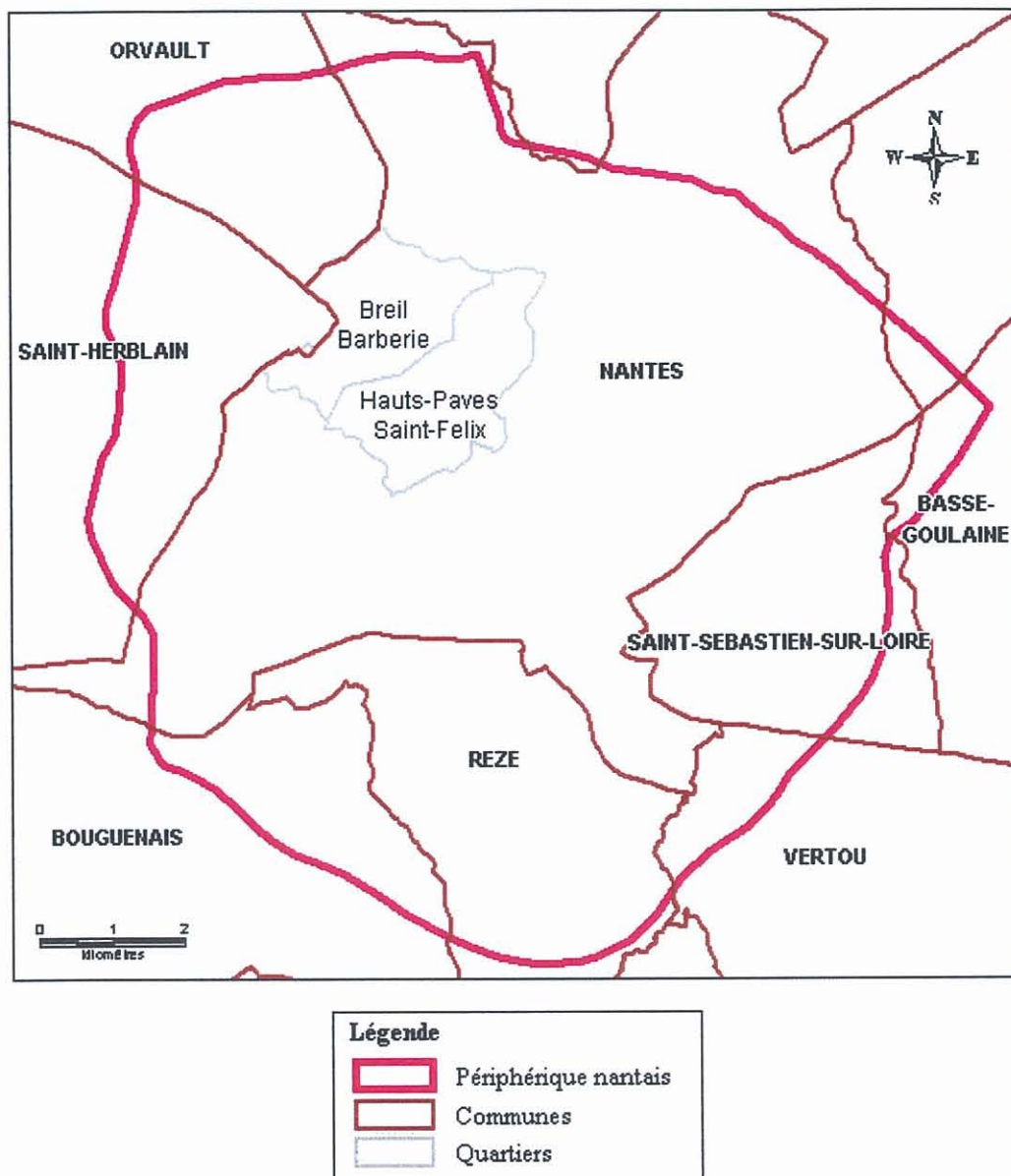


Figure 1 - Localisation du périmètre d'étude

1.4. ORGANISATION DU RAPPORT

Après avoir précisé comment se déroulent les écoulements souterrains dans un contexte de socle, le rapport expose le travail préparatoire à la campagne de mesure sur le terrain, puis détaille la méthode de réalisation des cartes de la profondeur des eaux souterraines.

2. Cycle de l'eau et écoulement souterrain

2.1. RAPPELS SUR LE CYCLE DE L'EAU

La figure 2 rappelle le cycle de l'eau.

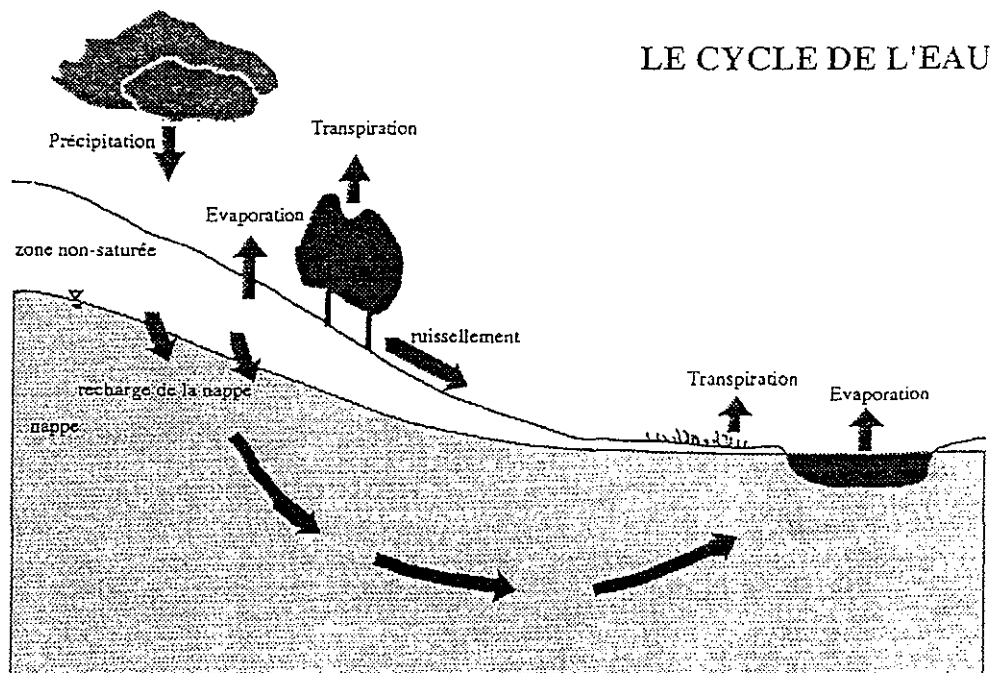


Figure 2 - Schéma du cycle de l'eau

Les précipitations se répartissent en deux ensembles : les pluies dites efficaces et l'eau qui subit l'évapotranspiration du couvert végétal et du sol.

Les pluies efficaces représentent la quantité d'eau, issue des pluies, sujette à écoulement. Cette eau peut ruisseler en surface ou s'écouler par voie souterraine en rechargeant la nappe.

L'évapotranspiration (notée ETP) représente environ 2/3 de la pluie et le ruissellement et les infiltrations environ 1/3.

L'eau de surface et l'eau souterraine sont drainés par les rivières qui se jettent ensuite dans la mer où l'eau s'évapore ensuite et forme des dépressions susceptibles d'entraîner des précipitations.

La zone non saturée est située entre le sol et la surface de la nappe. La zone saturée est localisée au niveau de l'aquifère (roches pouvant contenir de l'eau souterraine).

La profondeur des eaux souterraines est variable en cours d'année. Les niveaux de nappe maximums sont recensés en hiver (faible profondeur des eaux souterraines) et les minimums en fin d'été, début d'automne (plus forte profondeur).

2.2. LES ÉCOULEMENTS SOUTERRAINS EN ZONE DE SOCLE

2.2.1. Rappel sur les aquifères de socle

Il n'existe pas en Pays-de-la-Loire de grands aquifères, mais une mosaïque de petits systèmes imbriqués (la surface au sol de chacun d'eux n'excède pas en général quelques dizaines d'hectares) indépendants les uns des autres, du moins dans les conditions actuelles des exploitations qui en sont faites. Un bassin versant, même lorsqu'il est homogène au plan géologique peut être constitué par plusieurs dizaines (centaines) de systèmes unitaires.

Un système aquifère, c'est à la fois un réservoir capable d'emmagasiner des volumes plus ou moins importants d'eau provenant des pluies infiltrées, et un conducteur permettant les écoulements souterrains et la vidange progressive du réservoir vers ses exutoires naturels que sont les rivières. En milieu de socle, les deux fonctions sont le plus souvent séparées :

- le rôle de réservoir (fonction «capacitive») est assuré principalement par la partie altérée de la roche en place (altérites de la figure 3), développée depuis la surface sur, parfois, plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur,
- tandis que l'eau circule surtout par le réseau de fissures et fractures existant plus bas, dans la roche fissurée ou moins atteinte par l'altération (horizon fissuré de la figure 3).

Ce concept où la fissuration et l'altération ont des fonctions spécifiques séparées doit parfois être largement modulé : l'emmagasinement des fissures le long desquelles peut se développer une altération importante n'est pas nul, il peut être notable dans le cas des réseaux denses. D'autre part, les capacités conductrices des altérites ne sont pas négligeables, notamment lorsqu'il s'agit d'arènes sableuses.

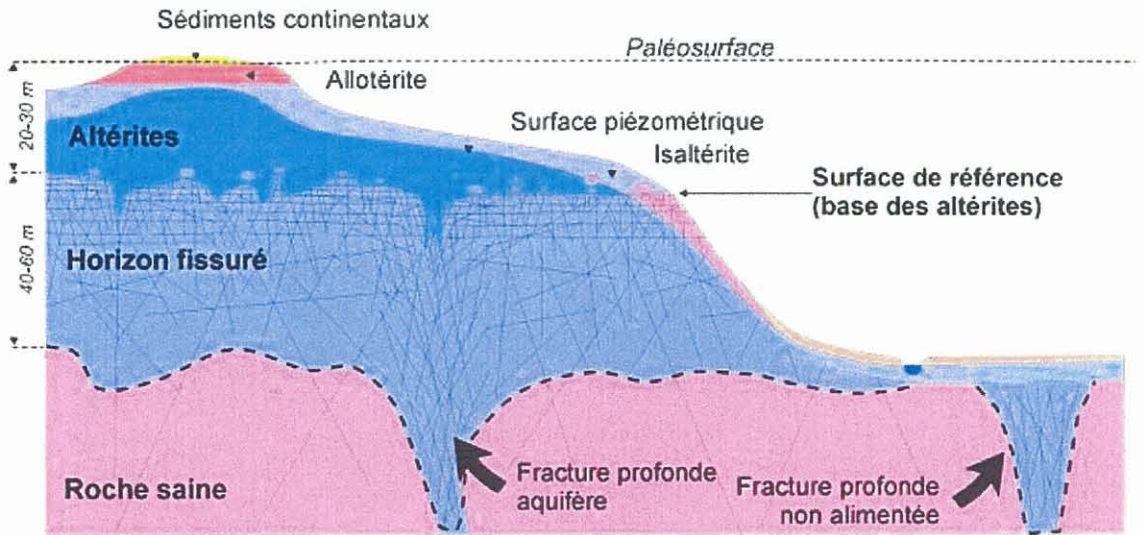


Figure 3 - Modèle conceptuel des altérations supergènes en domaine granitique (Wyns, 1998)

2.2.2. Contexte géologique du secteur d'étude

La figure 4 présente le contexte géologique du secteur d'étude. Les contours géologiques ont été digitalisés à partir de la carte géologique de Nantes à 1/50 000.

L'intérieur du périphérique nantais est occupée dans sa partie Ouest et Sud-Ouest par le plateau granitique dit du «Sillon de Bretagne». Ce granite à deux micas est plus ou moins mylonitisé (c'est à dire broyé par la continuité du cisaillement Sud Armoricain).

Au Nord et à l'Est, une région occupée par des micaschistes, s'étend de part et d'autre de la vallée de l'Erdre, qui fut entièrement occupée par la mer à l'époque du Pliocène. Il reste d'ailleurs au Nord et au Sud-Est du secteur d'étude quelques lentilles de ces dépôts (sables rouges et graviers).

Le couloir de la Loire, colmaté par des alluvions récentes (vase et sable) et anciennes (sable, gravier, petits galets) et également par des terrains rapportés (remblais divers), est traversé par les formations citées ci-dessus mais aussi par les gneiss de Rezé et les roches basiques (amphibolites).

Un important accident (faille) coupe obliquement la vallée de la Loire, au Nord Ouest et au Sud Est de Saint-Sébastien-sur-Loire.

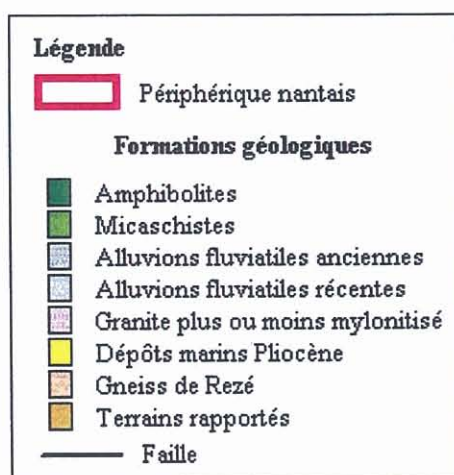
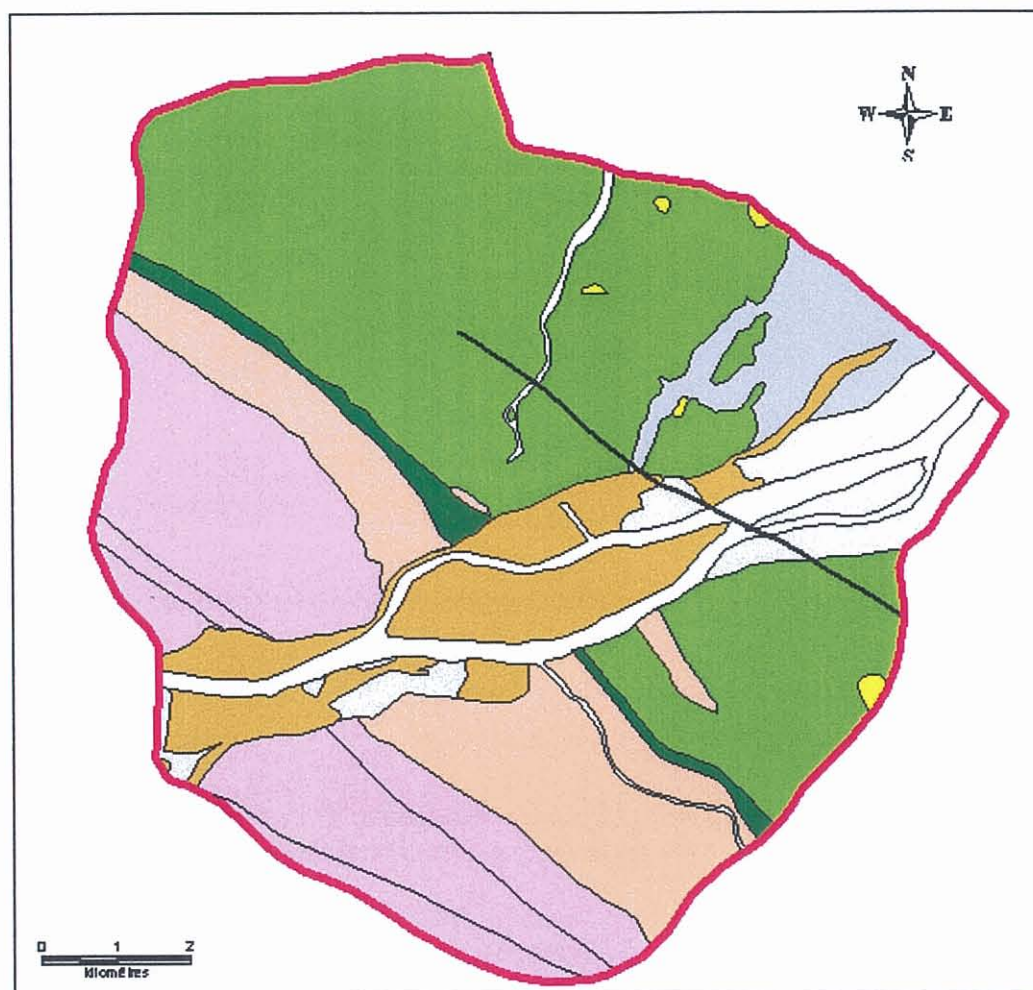


Figure 4 - Carte géologique du secteur d'étude

2.3. LE BATTEMENT DES NAPPES

Afin de visualiser l'évolution de la profondeur des eaux souterraines en fonction de la période de l'année (Cf. chapitre 2.1.), les informations relevées dans un forage situé à côté du secteur d'étude ont été récupérées sur internet (ADES «Accès aux Données sur les Eaux Souterraines» <http://ades.rnde.tm.fr>).

Cet ouvrage, d'une profondeur de 8 m, appartient au réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines de Loire-Atlantique (réseau piézométrique). Il est situé sur la commune de St-Julien-de-Concelles (n° BSS : 0481-8X-0544/PZ34) ; le niveau de la nappe est suivi par le Conseil Général de Loire-Atlantique depuis le 9 juillet 1994 (cf. figure 5).

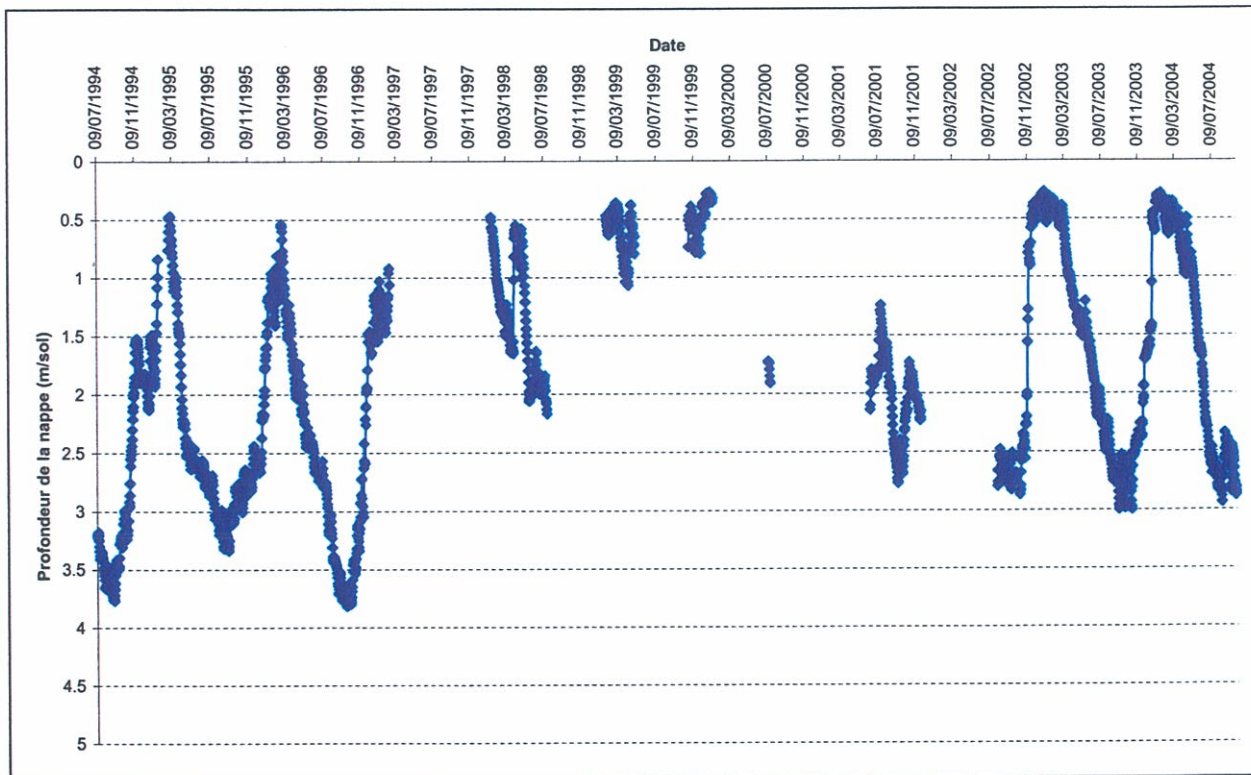


Figure 5 - Chronique piézométrique du forage de « La Blonière » sur la commune de St-Julien-de-Concelles (1994-2004)

Cette figure montre que le niveau de la nappe est variable en cours d'année et suit un cycle de recharge-décharge : la nappe se rapproche du sol en hiver (nappe à 0.25-1 m/sol) et le niveau devient maximum, tandis que la nappe s'approfondit en période d'étiage (fin d'été, début automne, niveau à 3-4 m/sol) et le niveau est alors minimum.

Le niveau de la nappe peut également s'approfondir brusquement en cas de pompage. Le forage de la figure 5 mesure un niveau de nappe qui n'est soumis à aucun pompage (au sein du point d'eau ou à proximité).

3. Déroulement technique du projet

3.1. CHOIX DE LA PÉRIODE DE MESURE

La chronique piézométrique de la figure 6 montre que les plus hauts niveaux de nappe sont rencontrés fréquemment fin février début mars et parfois au mois de janvier.

La campagne de mesure des niveaux de nappe sur le secteur d'étude a donc été programmée sur une période limitée dans le temps (afin d'avoir des mesures comparables les unes aux autres avec peu de variation du niveau de la nappe) fin février début mars 2005 (niveaux les plus hauts).

Malgré toutes les prévisions d'un niveau de nappe haut à cette période, le niveau des eaux souterraines sur le secteur étudié semble avoir été inférieur à celui des années précédentes. En effet, pour la période allant du 1^{er} septembre 2004 au 31 mars 2005, les précipitations efficaces à Nantes ne représentent que 0 à 30 % de la moyenne 1946-2004 (cf. figure 6).

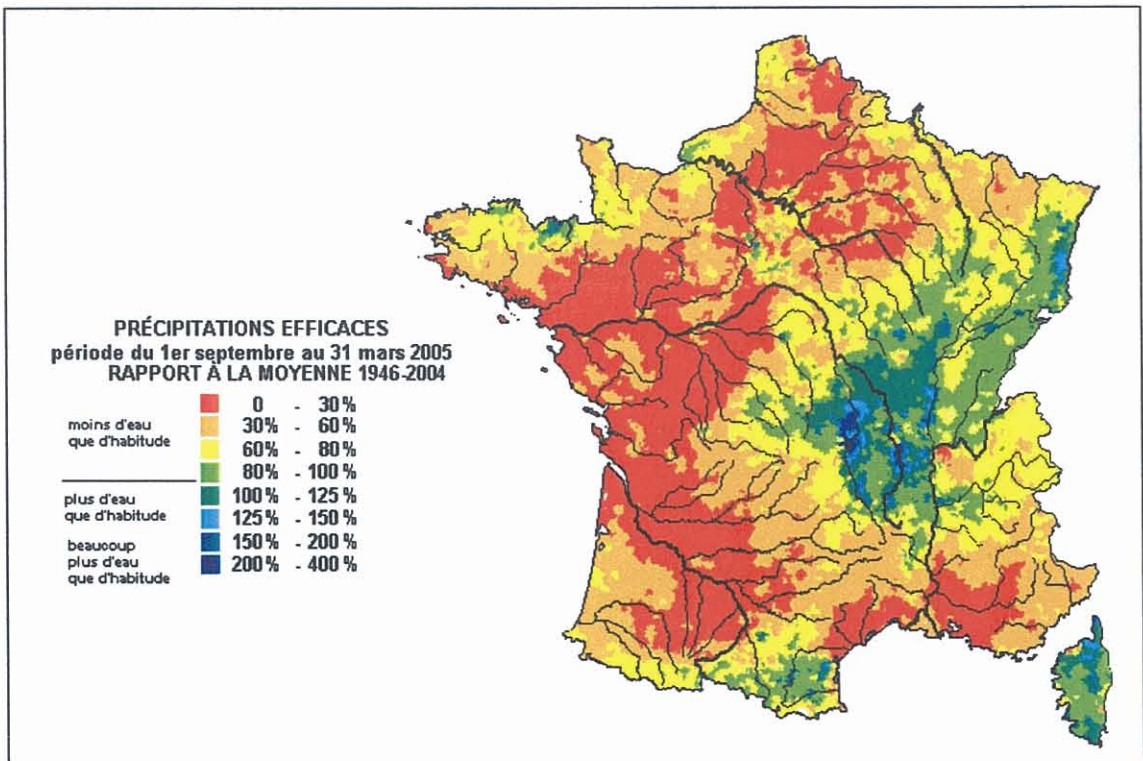


Figure 6 - Précipitations efficaces en France du 1^{er} septembre 2004 au 31 mars 2005 (source : RNDE)

Cette information est soutenue par les données pluviométriques du département (source : Météo France) ; globalement on constate que le début d'année 2005 est plus

sec que début 2004 (80 mm en décembre 2003 contre 40 mm en décembre 2004, 160 mm en janvier 2004 contre 50 mm en janvier 2005 et 20-30 mm en février 2004 et 2005 pour la zone nantaise) ce qui laisse présager que les pluies efficaces permettant de recharger la nappe sont elles aussi moins importantes que l'année précédente.

En accord avec Nantes Métropole, il a néanmoins été décidé de maintenir la campagne de mesure sachant qu'elle aboutirait à une carte correspondant à une fourchette plutôt basse des hautes eaux. Cette carte constituera alors une première information d'ores et déjà exploitable.

3.2. DÉPOUILLEMENT DES DONNÉES D'ARCHIVE ET REPÉRAGE

En application du Code Minier (articles 131 et 132, titre VIII du Livre I), le BRGM est chargé par l'Etat de collecter l'ensemble des informations relatives à la réalisation d'ouvrages souterrains dépassant 10 mètres de profondeur. Ces points sont numérotés et stockés dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) au BRGM.

Une extraction des informations disponibles a été effectuée sur le secteur d'étude : 1384 points étaient recensés dont 239 avait fait l'objet d'une mesure du niveau de la nappe à une date variable (diverses années et périodes de l'année).

Ces données de la BSS et les informations concernant les premières venues d'eau dans les ouvrages ont ensuite été consultées afin de constituer une liste des ouvrages susceptibles d'être accessibles pour une mesure de la profondeur de la nappe. 1076 points ont ainsi été supprimés (carrières, excavations, piézomètres de contrôle, reconnaissances géotechniques avant constructions, sondages carottés, sondages d'essais...). La liste comportait alors 308 points potentiellement accessibles.

Les références bibliographiques associées aux points ont été consultés (cf. chapitre 5) afin de récupérer une localisation précise des points BSS.

Certains ouvrages répertoriés en BSS ont ensuite été localisés précisément sur le terrain pour examiner leur accessibilité. Ces repérages sur le terrain ont de plus permis d'identifier de nouveaux points permettant de mesurer le niveau des eaux souterraines.

Par ailleurs, sur le quartier de Saint Félix/Haut Pavés le BRGM a contacté les associations de riverains qui ont permis de récolter de nombreuses données (notamment l'association Nantes Talensac) :

- localisation de plusieurs sites potentiels de mesure (principalement puits),
- mention d'immeubles possédant une exhaure dans leur sous-sol (pompes) susceptible de rabattre les eaux souterraines et d'assécher les puits voisins.

Suite à ces contacts, la liste des points comportait 376 points potentiellement accessibles.

3.3. CAMPAGNE DE MESURE SUR LE TERRAIN

3.3.1. Campagne de mesure

La campagne de mesure en hautes eaux s'est déroulée de fin février à début mars 2005 (semaine 8 : du 21 au 25 février, semaine 9 : du 28 février au 4 mars, et en début de semaine 10 : les 7 et 8 mars).

A l'aide du tableau des ouvrages répertoriés en BSS ou repérés sur le terrain, le BRGM a sillonné Nantes et sa périphérie afin de réaliser des mesures de niveau haut de la nappe phréatique à l'aide d'une sonde piézométrique (cf. figure 7). Cette sonde, reliée à un câble conducteur gradué, est équipée d'un capteur qui permet à l'enrouleur de produire un son ou d'émettre une lumière dès qu'elle touche l'eau.



Figure 7 - Aperçu d'une sonde piézométrique

Les mesures ont été réalisées sur différents types d'ouvrages (cf. annexe 1) appartenant principalement à des particuliers, à des entreprises ou à des collectivités territoriales. Ces ouvrages sont décrits ci-dessous :

- puits : excavation généralement cylindrique en gros diamètre, creusée manuellement, et souvent en partie maçonnée, destinée à atteindre et à exploiter la première nappe d'eau souterraine (fréquemment la nappe des altérites). Ces puits ont une profondeur maximale de 8-10 m et sont parfois exploités par des particuliers (arrosage du potager, des fleurs...). Ils sont, ou non, équipés d'une pompe, et parfois recouverts d'une dalle en béton qu'il faut soulever ;
- forage : puits de petit diamètre creusé mécaniquement et destiné à l'exploitation d'une nappe d'eau souterraine (fréquemment la nappe de l'horizon fissuré). Ils sont plus profonds que les puits et souvent équipés d'une pompe. Les forages peuvent être utilisés par les particuliers - ils sont alors, pour les plus récents, recouverts d'un couvercle vert vissé - par les exploitations agricoles pour l'irrigation, par les industries ou encore par les communes (espaces verts...) ;

- sondages : forage sans pompe destiné à la reconnaissance du sous-sol. Lors du sondage, il est possible que de la nappe d'eau soit atteinte ; l'entreprise qui a réalisé le sondage note à quelle profondeur se trouve cette eau et cette donnée est reportée dans la BSS ;
- piézomètre : dispositif consistant en un tube enfoncé verticalement dans le sol par sondage servant à la surveillance de la surface piézométrique des eaux souterraines.

Dans ces différents ouvrages la profondeur du niveau piézométrique est mesuré par la distance entre la surface du sol et de l'eau de la nappe (en mètres). A noter que lorsque les ouvrages possèdent une margelle, il faut déduire la hauteur de la margelle de la mesure effectuée (distance sol-eau = distance margelle-eau - distance margelle-sol).

Toutes les informations récoltées sur un point de mesure (indice BSS, commune, adresse ou lieu-dit, propriétaire, renseignements divers sur l'accès) ainsi que la mesure effectuée (date, heure, profondeur de nappe, existence éventuelle d'un pompage avant ou après la mesure) ont été notées sur papier.

Par ailleurs, les usages suivants des points d'eau ont pu être recensés : arrosage d'un jardin, alimentation de bassins ou d'une piscine, pompe à chaleur, alimentation en eau potable, usage agricole (animaux ou cultures), eau industrielle.

3.3.2. Résultats obtenus et problèmes rencontrés

Suite aux campagnes de terrains, 252 sites ont été visités (sur 376 potentiellement accessibles, cf. chapitre 3.2.) et 118 mesures ont été effectuées.

Les résultats obtenus par commune sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

COMMUNE	Nb de mesures	Sites visités	Mesures non effectuées
BASSE-GOULAIN	1	2	1
BOUGUENAIS	5	10	5
NANTES	63	163	100
ORVAULT	13	15	2
REZE	15	32	17
SAINT-HERBLAIN	12	17	5
SAINT-SEBASTIEN/LOIRE	6	10	4
VERTOU	3	3	0
Total	118	252	134

Tableau 1 - Chiffrage des sites visités par commune

Ce tableau montre que le travail de mesure dans la ville de Nantes n'a pas été simple (63 mesures sur 163 points visités, soit un taux d'environ 39 %) tandis que sur les communes avoisinantes le travail a été plus fructueux (taux d'environ 62 %). Le taux global calculé sur le secteur d'étude est voisin de 47 %, soit quasiment 1 chance sur 2 d'effectuer une mesure suite à la visite d'un point.

Le fait de ne pas avoir pu effectuer de mesure sur plusieurs points s'explique par diverses raisons :

- adresse erronée du propriétaire ou changement de propriétaire ;
- destruction de maisons ou d'immeubles ;
- absence du propriétaire (emploi ou vacances scolaires) ;
- refus d'accès de la part du propriétaire (peur du contrôle qualité, peur de la taxe...);
- ouvrages rebouchés ou inexistantes ;
- équipement des ouvrages par des pompes (cf. annexe 1) ou couvercle / capot impossible à ouvrir.

Suite à ces différents obstacles, un travail de porte à porte a été nécessaire pour obtenir un nombre suffisant de mesures réparties de façon homogène sur tout le secteur d'étude. Ce travail complémentaire a permis de faire fonctionner les relations de voisinage pour savoir si telle ou telle personne était susceptible de posséder un puits.

A noter que dans le vieux centre de Nantes, il est possible de repérer les maisons ou immeubles possédant ou ayant possédé un puits grâce au petit « P » figurant sur la plaque de leur numéro. Cette indication servait autrefois aux pompiers pour identifier les points d'eau mobilisables en cas d'incendie.

Les informations recueillies au cours de la campagne de mesure ont ensuite été reportées sur SIG (Système d'Information Géographique) par le biais du logiciel MapInfo.

La figure 8 montre la localisation des 118 points de mesure, relativement bien dispersés, qui représentent de façon assez homogène la zone d'étude.

Les profondeurs de nappe relevées sur le terrain varient entre 0 et 15 m de profondeur ; le niveau moyen est de 3.9 m/sol.

L'ensemble de ces 118 points d'observation représente une densité d'environ 1 point pour 0.86 km².

Ces données ont permis de cartographier la profondeur des eaux souterraines sur le territoire de l'étude. La méthodologie utilisée est décrite dans le chapitre suivant.

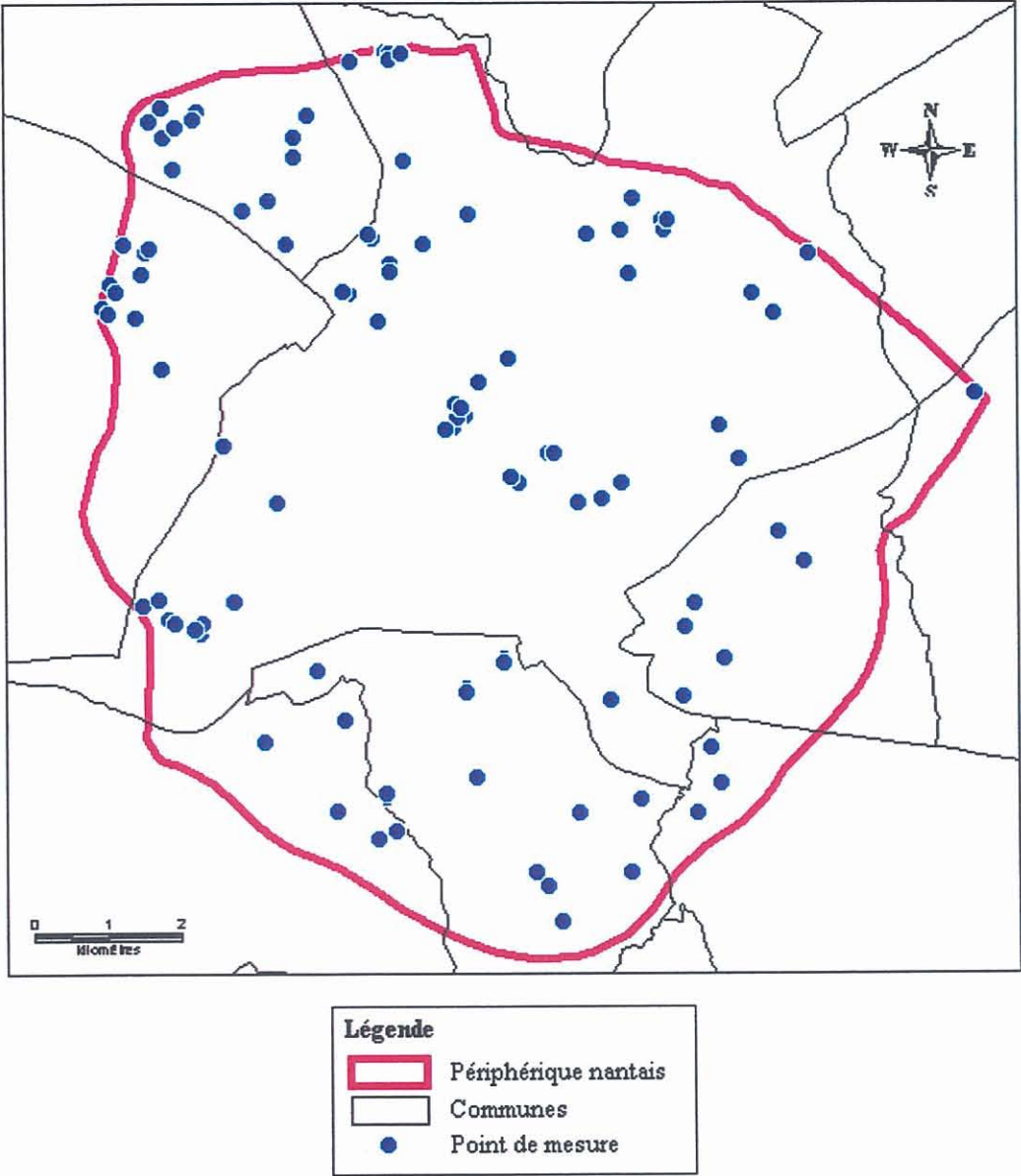


Figure 8 - Localisation des 118 mesures effectuées

4. Cartographie de la profondeur des eaux souterraines

La modélisation de la surface piézométrique (altitude de la surface de la nappe) a été réalisée dans l'environnement ArcView version 3.2. d'ESRI, en utilisant un modèle de grille à la maille de 20 m.

Les planches cartographiques remises dans ce rapport sont représentées sur 3 pages A3 à l'échelle du 1/50 000 et sur 1 page A4 au 1/25 000 (cf. annexe 2).

4.1. DESCRIPTION DE LA MÉTHODE UTILISÉE

En l'absence de carte piézométrique sur la zone d'étude, l'altitude du toit de la nappe a été modélisée à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et des 118 mesures de la profondeur du niveau de nappe. Le MNT au pas de 20 m a été fourni par Nantes Métropole.

L'altitude du sol varie entre -93.9 (carrière des Pontreaux au Sud Ouest de la zone d'étude) et 63.8 m, avec une moyenne de 21.3 m. En dehors de cette carrière, l'altitude du sol varie entre -1.6 et 63.8 m.

La méthode appliquée a été mise au point et validée pour les contextes de socle altéré (Wyns et al., 2004) ; son principe est rappelé ci-dessous (cf. figure 9).

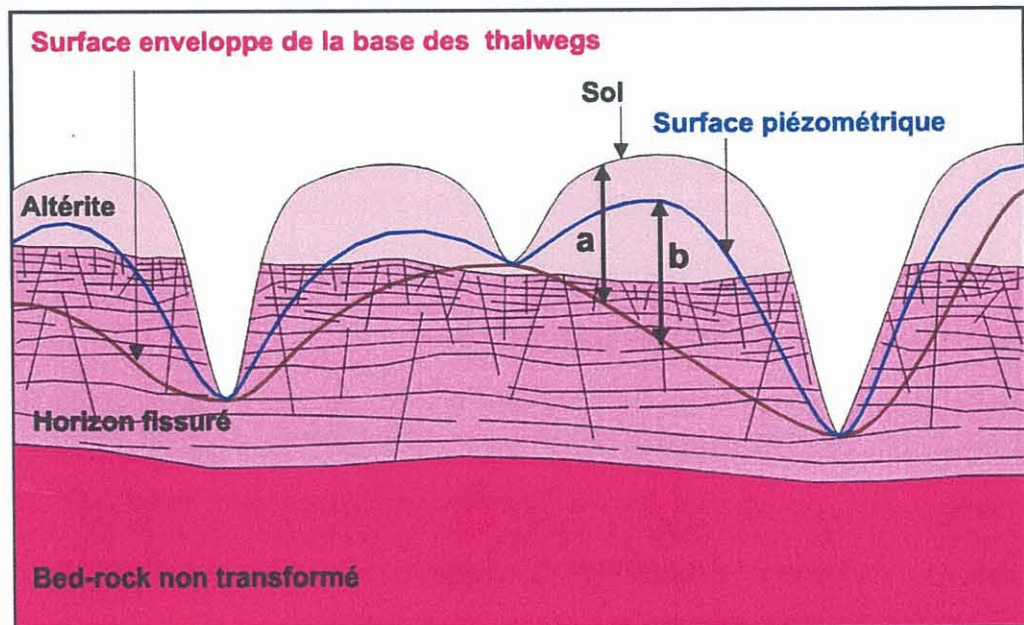


Figure 9 - Principe de modélisation de la surface piézométrique

En contexte de nappe libre où les débits d'étiage des rivières sont fournis par la nappe, on peut considérer que les rivières pérennes représentent des zones d'affleurement de la surface piézométrique. Les rivières représentant les exutoires de la nappe, la surface piézométrique remonte donc sous les plateaux lorsque l'on s'écarte des vallées. La surface piézométrique est donc toujours comprise entre la surface topographique et la surface enveloppe des rivières pérennes (ou enveloppe de la base des thalwegs).

Une corrélation linéaire relie d'une part la dénivellation entre l'altitude du sol et celle de la surface-enveloppe des rivières (« a » sur la figure 9), et d'autre part la dénivellation entre l'altitude de la surface piézométrique et celle de la surface-enveloppe des rivières (« b » sur la figure 9). L'équation de cette droite permet de calculer en tout point l'altitude de la surface piézométrique à partir de l'altitude du sol et de l'altitude de la surface-enveloppe des rivières pérennes.

Sur le secteur d'étude, la surface-enveloppe des rivières pérennes a été obtenue de la manière suivante :

- à partir du réseau hydrographique pérenne issu de la BD Carthage (version 2.4 de juin 2000) complété par le réseau digitalisé à partir des fonds scannés 1/25 000 de l'Institut Géographique National, échantillonnage d'un point tous les 10 m linéaires,
- croisement du semis de points avec le MNT pour obtenir l'altitude des points représentatifs du réseau hydrographique pérenne,
- analyse variographique et krigeage de l'altitude de ce semis de points : on obtient une grille représentant l'altitude de la surface-enveloppe du réseau hydrographique pérenne.

L'écart-type de krigeage sur le secteur d'étude (cf. planche 1 en annexe 2), quantifiant l'erreur associée à la variable interpolée, varie entre 0.1 et 10.2 m, avec une moyenne de 4.2 m. Rappelons que cette moyenne intègre l'incertitude verticale du MNT que nous ne connaissons pas mais qui peut être estimée localement à 1 m-1.5 m.

Le secteur est caractérisé localement par de fortes incertitudes (> 6 m) ; elles s'expliquent par la configuration spatiale des données intervenants dans le voisinage de krigeage (réseau hydrographique assez lâche).

La surface du sol est fournie par le MNT. Sur la grille au pas de 20 m englobant la zone d'étude, les 118 mesures piézométriques ont été utilisées.

Pour chacun de ces points, on a calculé par croisement avec les grilles correspondantes l'altitude du sol et l'altitude de la surface-enveloppe des rivières pérennes, de manière à calculer les paramètres « a » (Zsol-Zrivières) et « b » (Zpiézométrie -Zrivières).

Une première représentation des 118 couples de variables a et b sur un diagramme binaire a montré que 11 points s'éloignaient de la droite $b=f(a)$.

Plusieurs raisons expliquent ce comportement éloigné par rapport à la majorité des points validés :

- points à abscisse légèrement négative : points pour lesquels la surface enveloppe des rivières calculée se situe au dessus de la surface topographique, ce qui n'est pas possible (écart de 20-30 cm sans doute lié à l'incertitude du MNT) ;
- points à ordonnée trop faible : points influencés par des pompages ou par une absence de remontée de la nappe ; les niveaux piézométriques sont alors inférieurs à ce qu'ils devraient être.

Après élimination de ces 11 valeurs, 107 mesures piézométriques ont pu être utilisées.

Le report des couples de variables a et b sur un diagramme binaire (cf. figure 10) a permis de calculer l'équation suivante :

$$b = 0.9500 * a - 2,9082$$

Cette équation permet de calculer directement l'altitude de la surface piézométrique à partir du MNT et de la grille de l'altitude de la surface-enveloppe des rivières pérennes.

La pente de la droite $b = f(a)$ (0.95) est représentative de la perméabilité en grand des roches présentes sur le secteur d'étude. Plus la pente est proche de 1 plus le massif est imperméable ($Z_{sol} \simeq Z_{piézométrie}$) et inversement plus la pente se rapproche de 0 plus le massif est perméable ($Z_{rivières} \simeq Z_{piézométrie}$). Le secteur d'étude apparaît donc assez peu perméable.

L'ordonnée à l'origine négative (-2.9 m) représente l'encaissement moyen des rivières par rapport à leurs berges. Celle-ci peut également être en partie liée à des pompages situés à proximité des points de mesures.

Une altitude moyenne étant affectée à la maille de 20 m située au niveau de la rivière, l'altitude d'une maille située dans une vallée encaissée comporte plus d'erreur qu'une maille située dans une vallée à fond plat. La maille du MNT est donc parfois trop large par rapport à la morphologie existante.

Afin de pouvoir examiner la perméabilité relative des différentes formations géologiques, une analyse par formation a été effectuée. Dans ce cadre, 239 anciennes mesures du niveau de la nappe, prises lors de diverses années et à différentes périodes (cf. chapitre 3.2.), ont été extraites de la BSS. Ces données ont été ajoutées aux 107 mesures piézométriques afin d'obtenir suffisamment de points dans chaque formation géologique (cf. chapitre 2.2.2. et figure 4) du secteur d'étude.

Remarque : ces 239 anciennes mesures n'ont évidemment pas été utilisées pour les cartes finales de l'année 2005.

On note que les Amphibolites sont plus perméables (pente = 0.83) que les Micaschistes et les Gneiss de Rezé (pente = 0.93), qui sont eux-même un peu plus perméables que les formations granitiques (pente \simeq 1) (les alluvions et les terrains

rapportés ne sont pas des formations de socle donc ce raisonnement ne s'applique pas). Ceci indique que les écoulements souterrains se déroulent assez lentement dans le sous-sol du secteur d'étude.

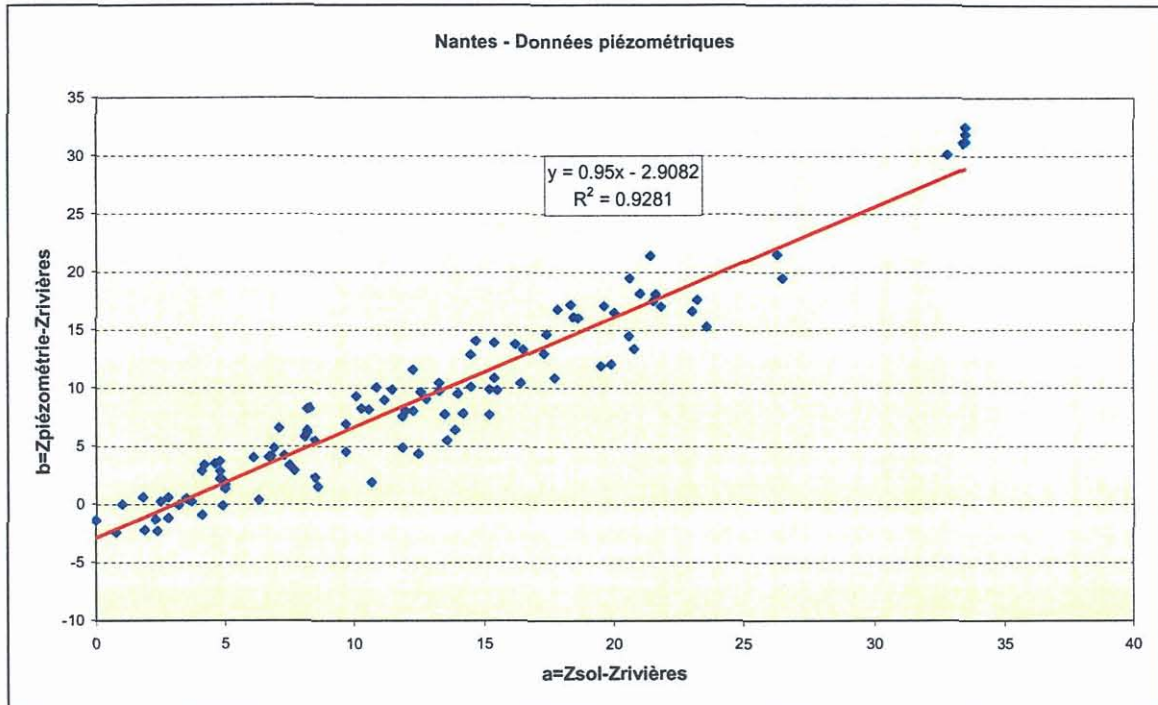


Figure 10 - Calcul par régression linéaire de l'équation reliant l'altitude de la surface piézométrique à l'altitude du sol et à l'altitude de la surface-enveloppe des rivières pérennes

La carte de l'altitude de la surface piézométrique sur le secteur d'étude est représenté sur la planche 2 en annexe 2.

L'altitude de la surface piézométrique, fin février - début mars 2005, varie entre -4.3 et 58.1 m, avec une moyenne de 18.5 m.

L'écart-type de krigeage de la surface-enveloppe des rivières pérennes, qui représente l'essentiel de l'incertitude associée au calcul de l'altitude de la surface piézométrique, est représenté sur la planche 1 en annexe 2.

Cette dernière carte montre que l'écart-type de krigeage est faible à proximité de chaque point issu du réseau hydrographique servant de base à la modélisation, tandis que cet écart-type augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne vers les plateaux.

4.2. RÉSULTATS OBTENUS

4.2.1. Cartographie de la profondeur de la nappe

La profondeur de la nappe sur le secteur d'étude a été réalisée par différence entre le MNT et l'altitude de la surface piézométrique. Elle est représentée sur la planche 3 en annexe 2.

La profondeur de la nappe, fin février - début mars 2005, varie entre 2.5 et 5.7 m, avec une moyenne de 3.4 m.

La carte de l'altitude de la surface piézométrique (planche 2) montre que les écoulements souterrains se font du Nord-Ouest vers le Sud-Est dans la partie Nord de la Loire, et ils suivent une direction du Sud vers le Nord dans la partie Sud de la Loire. Dans tout le secteur d'étude les nappes souterraines sont drainées par les rivières et les fleuves qui constituent leurs exutoires naturels.

4.2.2. Remarques

Au niveau de la carrière des Pontreaux, au Sud Ouest de la zone d'étude, l'altitude de la surface piézométrique est faussée (représentation en blanc sur les planches 2 et 3). En effet, le niveau de la nappe est abaissé par pompage permanent pour permettre l'extraction des matériaux.

En raison de son caractère insulaire provoquant un contact permanent entre la nappe et la Loire, l'île Beaulieu n'a pas été représentée sur les planches cartographiques.

4.2.3. Zoom sur les quartiers nantais

En raison des nombreux problèmes rencontrés sur les quartiers Haut Pavés - St-Félix et Breil Barberie (cf. chapitre 1.1.), il était également prévu de travailler plus particulièrement (zoom) sur ces zones.

Selon l'association Nantes Talensac, sur le quartier Haut Pavés - St-Félix, «les nappes sont tellement présentes que pour pallier les risques d'inondation des sous-sol, de nombreux promoteurs immobiliers font installer des pompes électriques dans les immeubles. Elles se déclenchent dès que le niveau de la nappe monte, puis rejettent cette eau dans les égouts» (Presse Océan du 22/11/2004).

Lors de la campagne de terrain, les profondeurs de nappe relevées variaient :

- sur le quartier Breil Barberie, entre 0 (puits débordant) et 15 m (forage pompé), avec une moyenne de 4.6 m ;
- sur le quartier Haut Pavés - St-Félix, entre 3.3 (puits débordant) et 7.6 m (forage pompé), avec une moyenne de 5.8 m.

La profondeur de la nappe sur les deux quartiers est représentée sur la planche 4 en annexe 2 (les gammes de profondeur de nappe ont été affinées tous les 0.25 m par rapport à la planche 3).

Sur les deux quartiers, la profondeur de la nappe, en fin d'hiver 2005, varie entre 2.5 et 4.5 m.

Cependant, sur cette carte sont positionnés 23 pompes recensées sur le quartier de Haut Pavés - St-Félix (cf. chapitre 3.2.) qui peuvent entraîner localement par pompage une diminution de la profondeur de la nappe indiquée sur la planche 4. L'association de quartier Nantes Talensac, qui nous a indiqué ces points, souligne qu'il ne s'agit pas d'un recensement exhaustif.

Les 23 pompes sont repérées plus précisément sur la figure 11.

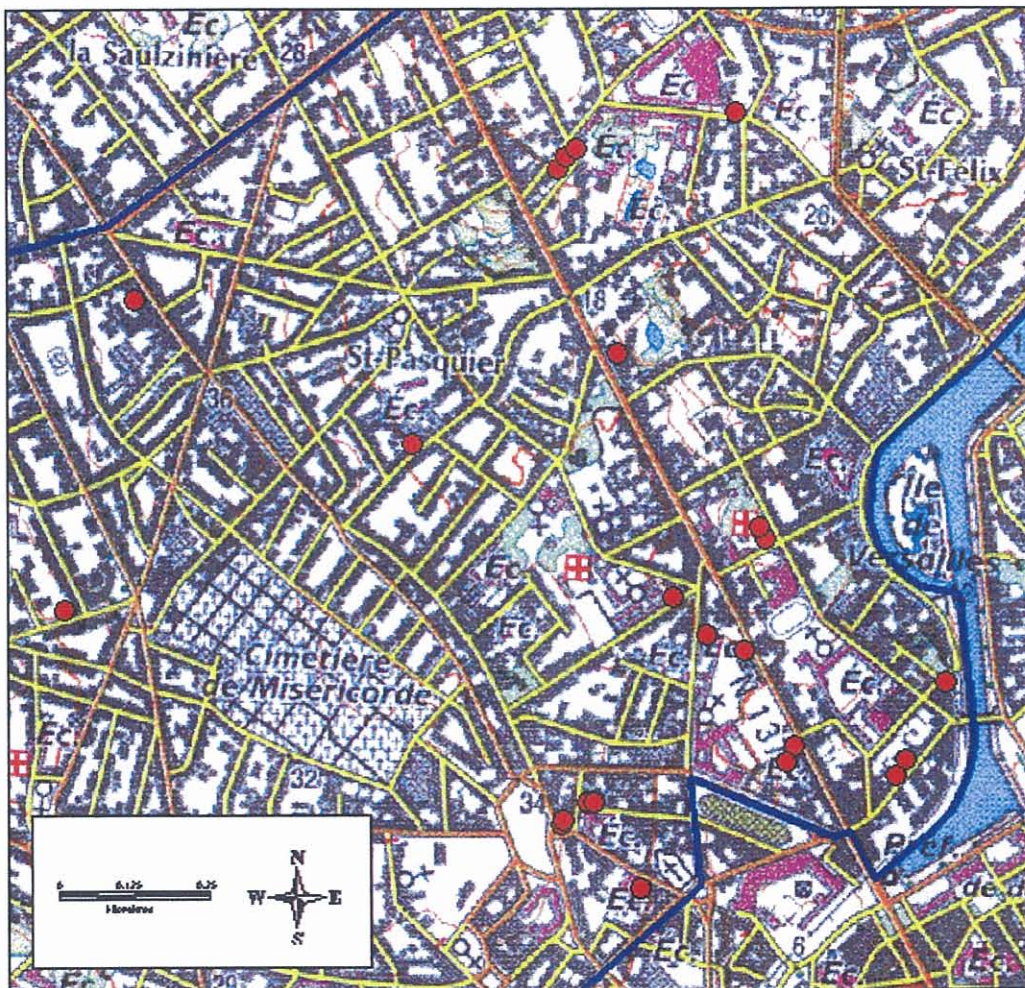


Figure 11 - Localisation des pompes sur le quartier St-Félix - Hauts Pavés

5. Conclusion

L'étude visant à apporter une vision globale de la situation des nappes phréatiques sur une portion du territoire de la communauté urbaine a été menée à bien. En effet, une cartographie de la profondeur de la nappe sous le sol, fin février début mars 2005, a été réalisée sur le territoire s'inscrivant à l'intérieur du périphérique nantais (soit environ 100 km²).

La campagne de mesure des niveaux de nappe dans certains points d'eau du secteur d'étude a montré la difficulté du recensement et de l'accessibilité des ouvrages dans la ville de Nantes. Néanmoins, les 118 mesures effectuées ont permis d'établir une première cartographie présentée dans ce rapport.

Celle-ci montre que les eaux souterraines sont relativement peu profondes sur le secteur considéré. D'autant plus que la période de mesure s'est révélée être représentative d'une fourchette plutôt basse des hautes eaux.

La carte constitue donc une première information d'ores et déjà exploitable.

A l'issue de la campagne de mesure, le dépouillement et l'informatisation des données recueillies sur le terrain a permis de créer une base de données. Celle-ci peut à nouveau être utilisée et actualisée en cas de besoin pour une prochaine campagne de mesure (aux plus hautes eaux et/ou aux plus basses eaux).

Recommandations d'utilisation de données :

Les cartes de ce rapport sont issues d'un traitement statistique qui a permis d'examiner la probabilité de rencontrer la nappe phréatique en cas de réalisation de travaux d'excavation du sol et du sous-sol.

Les profondeurs calculées proviennent des valeurs mesurées lors d'une période de hautes eaux relatives (fourchette plutôt basse) du fait de la pluviométrie particulière de l'année présente. Pour des années à pluviométrie hivernale plus conforme aux moyennes historiques, les niveaux de nappe seront donc plus proches du sol.

L'échelle de précision des cartes est le 1/25 000. En aucun cas elles ne devront donc être utilisées à l'échelle de la parcelle

6. Bibliographie

Clément J.P. (1987) - Etude des phénomènes d'inondation dans le sous-sol du Centre régional informatique des impôts - Rapport de fin d'étude BRGM SGR/PAL 87-20.

Clément J.P. et **Pasquet R.** avec la collaboration de **Alix P.** (1985) - Recherche de l'origine des désordres affectant le collège de Talence à Nantes - Rapport BRGM 85 SGN 194 PAL.

Collet T. avec la collaboration de **Hervé S.** et **Génin Y.** (1991) - Inventaire des points d'eau et dispositions à prendre concernant les rabattements induits par les terrassements et la présence d'un plan d'eau - Rocade Ouest de Nantes entre le Moulin Neuf et l'autoroute A821 - Rapport BRGM R 33454 PAL 4S/91.

Collet T. et **Génin Y.** (1991) - Sélection des points d'eau sensibles et mesure de l'état piézométrique initial avant travaux de terrassement - Contournement Nord de Nantes par l'autoroute A821 - Rapport BRGM R 33425 PAL 4S/91.

Etienne H. (1984) - Surveillance des pollutions induites par les hydrocarbures du dépôt SNCF Nantes-Blottereau (Loire-Atlantique) - Mise en place du dispositif complémentaire et résultats des prélèvements de juillet 1984 - Rapport BRGM SGR/PAL 84-26.

Etienne H. (1984) - Surveillance des pollutions induites par les hydrocarbures du dépôt SNCF Nantes-Blottereau (Loire-Atlantique) - Mise en place du dispositif et premiers résultats - Rapport BRGM SGR/PAL 84-03.

Etienne H. (1985) - Surveillance des pollutions induites par la décharge de la prairie de Mauves à Nantes (Loire-Atlantique) - Résultats des prélèvements de février 1985 - Rapport BRGM SGR/PAL 85-14.

Etienne H. (1986) - Surveillance des pollutions induites par la décharge de la prairie de Mauves à Nantes (Loire-Atlantique) - Résultats des prélèvements de mars 1986 - Rapport BRGM SGR/PAL 86-14.

Etienne H. (1989) - Détermination du sens d'écoulement de la nappe et recherche d'hydrocarbures dans les eaux souterraines - 21 et 23 boulevard Gabriel-Guist'hau - Rapport BRGM 89 PAL 03.

Etienne H. (1990) - Etude de l'écoulement souterrain de la nappe polluée par des hydrocarbures dans le secteur des Groleries NANTES (Loire-Atlantique) - Rapport BRGM 90 PAL 09.

Etienne H. (1990) - Implantation d'un forage d'exploitation d'eau dans les alluvions de la Loire sur le stade René MASSE à Saint-Sébastien-sur-Loire (Loire-Atlantique) - Rapport BRGM 90 PAL 012.

Ters M^{me} et M., Marchand J. et Weecksteen G. - Notice Carte géologique à 1/50 000 de Nantes (n°481).

Wyns R., Baltassat J.M., Lachassagne P., Legchenko A., Vairon J., (2004) - Application of SNMR soundings for groundwater reserves mapping in weathered basement rocks (Brittany, France).- Bull. Soc. Géol. Fr., t. 175, (1) (accepté).

Consultation de divers dossiers de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM Pays-de-La-Loire à Nantes :

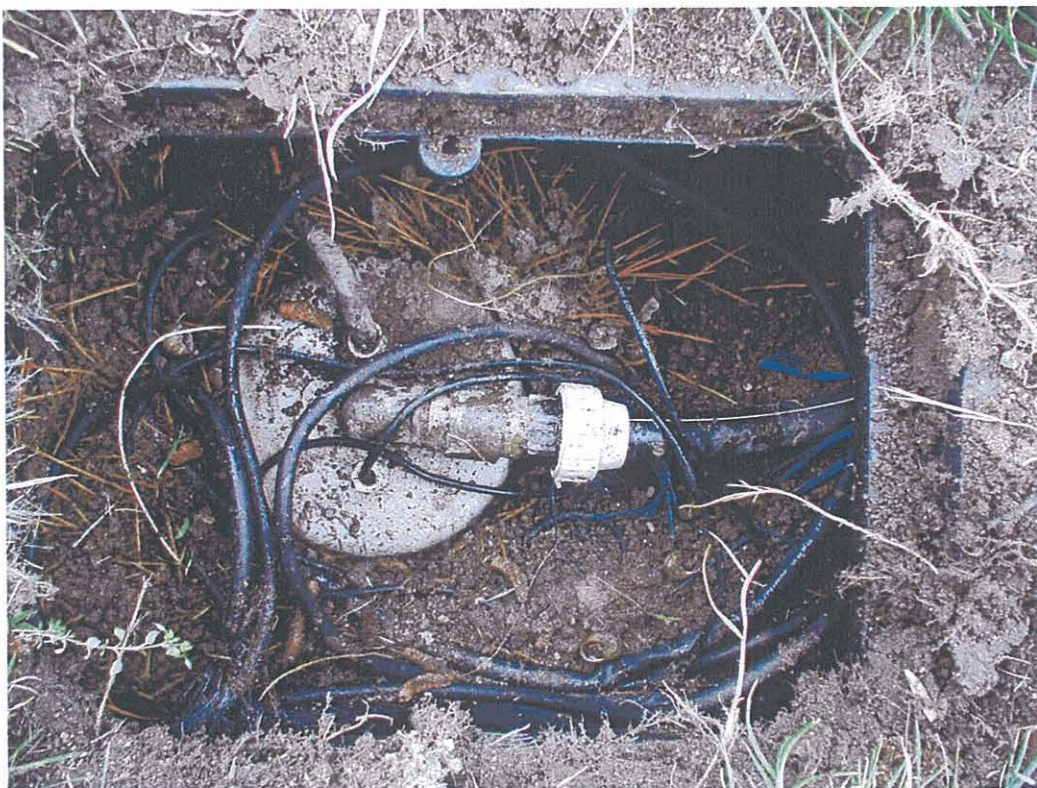
- Dossier G/462/74 Etude Pression. Louis MENARD - Centre téléphonique Boulevard Vincent GACHE NANTES (sondages numérotés 0481-7N-0601 à 0606)
- Dossier SIMECSOL - SIARSL Station d'épuration Rezé-les-Nantes N.3345 Date : 03/1973 (sondage 0481-7X-0579)
- Rapport SOGEO 73/SE/125 (sondage 0481-7X-0759)
- Rapport Société BEARNAISE - S.A des automobiles PEUGEOT Quai de Tourville Nantes - Etude de sol (sondages 0481-7X-0545 à 0547)
- Rapport Société BEARNAISE (5.5.61) - (3) 2^{ème} Campagne 1972 (sondages 0481-7S-0608 et 0481-7X-0267)
- Rapport Société BEARNAISE 660.7 - Ville de NANTES Groupe Scolaire Rue Esnoul des Châtelets (sondage 0481-7X-0473)
- Rapport Société BEARNAISE 333/66/516/S/3528 - Ville de NANTES Nouveaux Abattoirs municipaux - Etude de sol (sondages 0481-7S-0548 à 0556)
- Rapport Société BEARNAISE 598.7 - Commune de ST-HERBLAIN - Elargissement du Pont sur la Chézine Chemin du Massacre (sondage 0481-7X-0662)
- Rapport Société BEARNAISE 490.9 - Etablissements LANOE ADAM Entrepôt de Rezé (sondage 0481-7X-0275)
- Rapport SOL-BRETAGNE - NANTES Quai Baco Etablissements Lefèvre-Utile (sondage 0481-7X-0200)
- Dossier SEERS n°5300-13.73 - Sondages de reconnaissance pour le Pont de Gesvres (Rocade) (sondages 0481-3X-0207, 0211 et 0223)

Annexe 1

Photographies de quelques points d'eau (forages, puits, piézomètres)



Couvercle vert vissé du forage d'un particulier



Forage recouvert par l'équipement d'une pompe et donc inaccessible

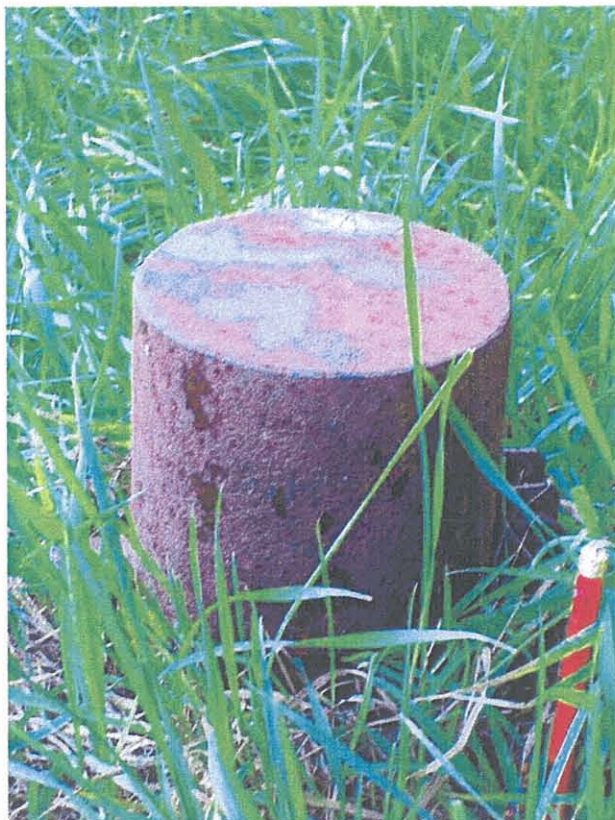
Forage accessible malgré l'équipement de la pompe



Forage recouvert par une plaque cadernassé



Profondeur des eaux souterraines sur le périmètre intérieur au périphérique nantais



Un piézomètre recouvert par un capot rouillé



Un piézomètre accessible car pas encore rebouché



Puits de particuliers situés dans le quartier Hauts-Pavés Saint-Félix, recouvert d'une plaque acier (photo du haut) ou d'une dalle béton (photo du bas)





Puits maçonné à sec avec un sous-sol argileux



Puits en gros diamètre à proximité de serres municipales



Puits équipé d'un seau avec poulie au milieu d'une propriété



Puits décoré dans une propriété

Annexe 2

Planches cartographiques

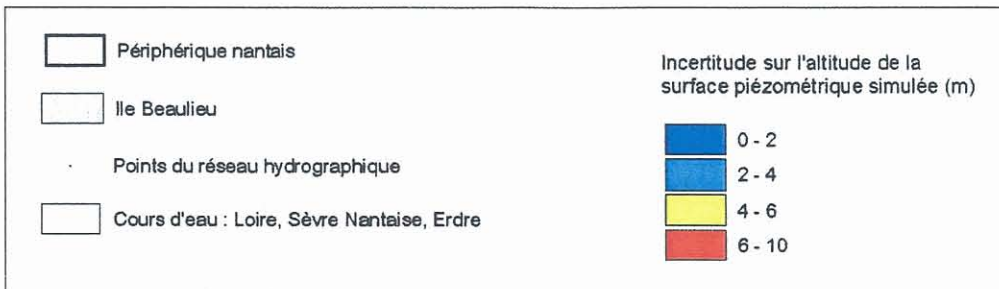
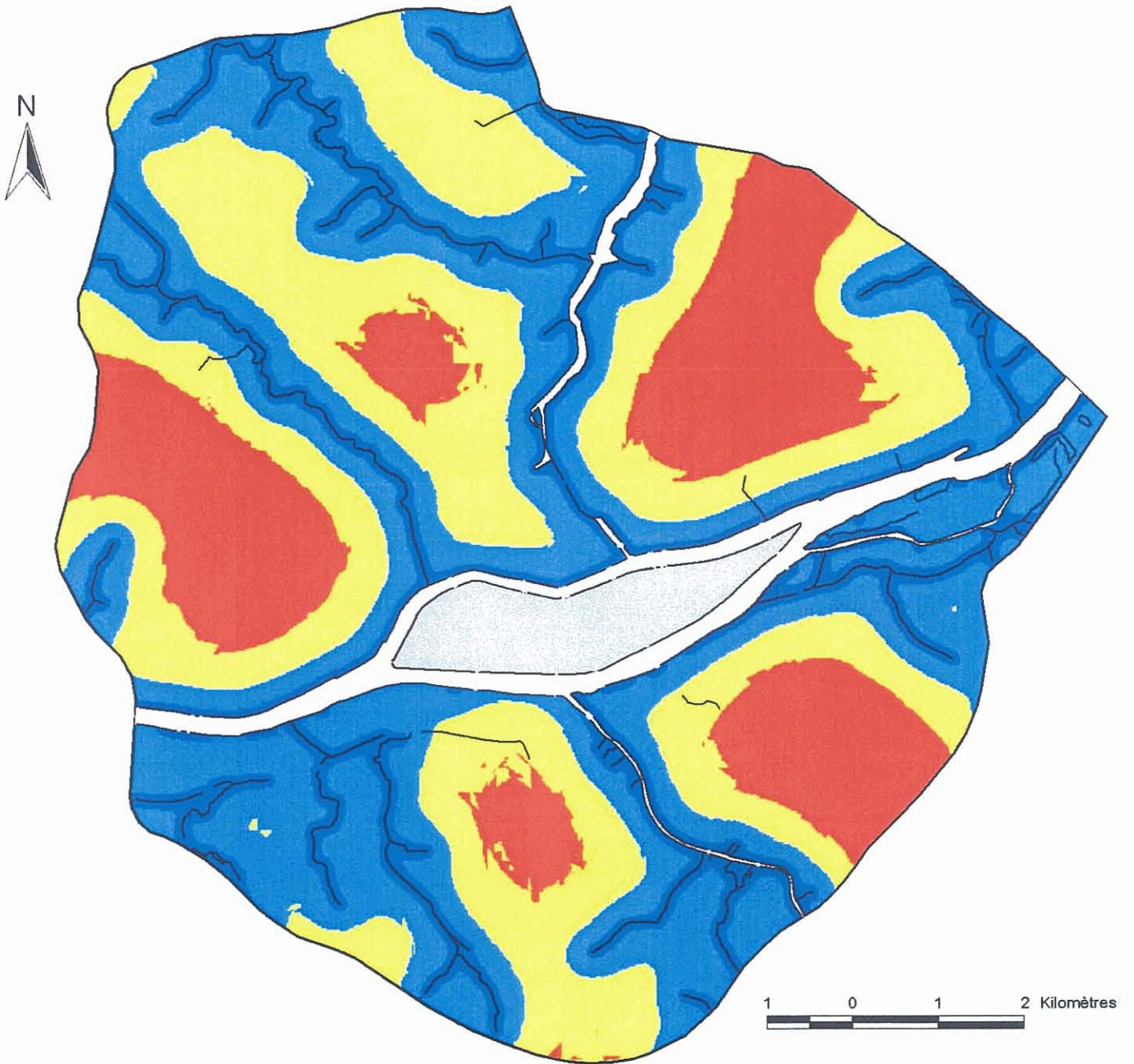


Planche 1 - Incertitude sur l'altitude de la surface piézométrique

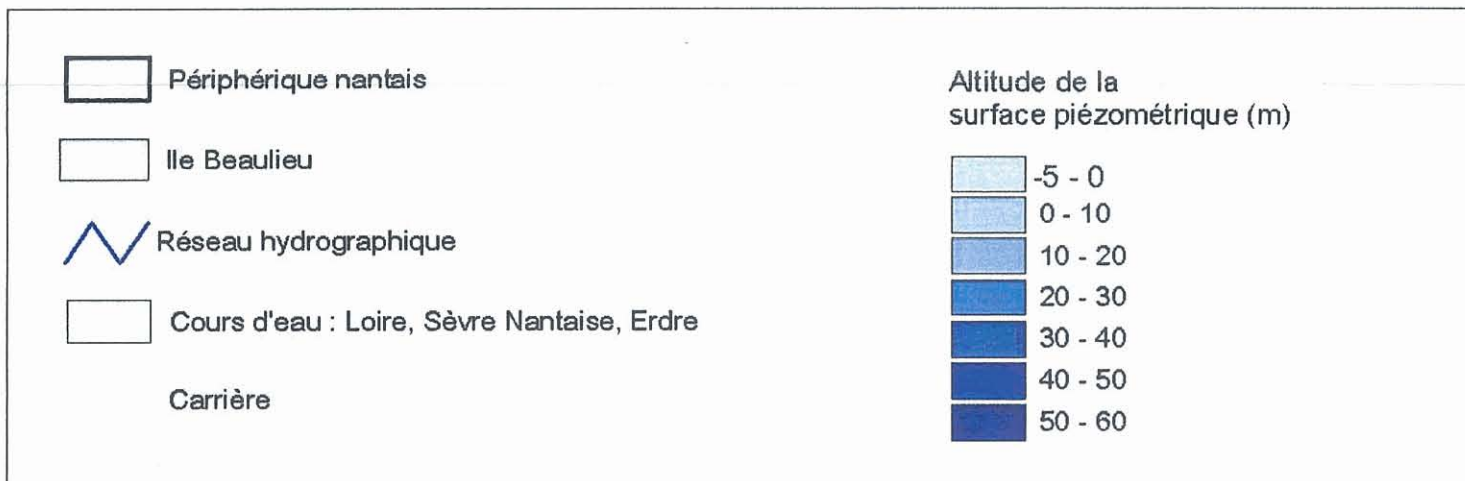
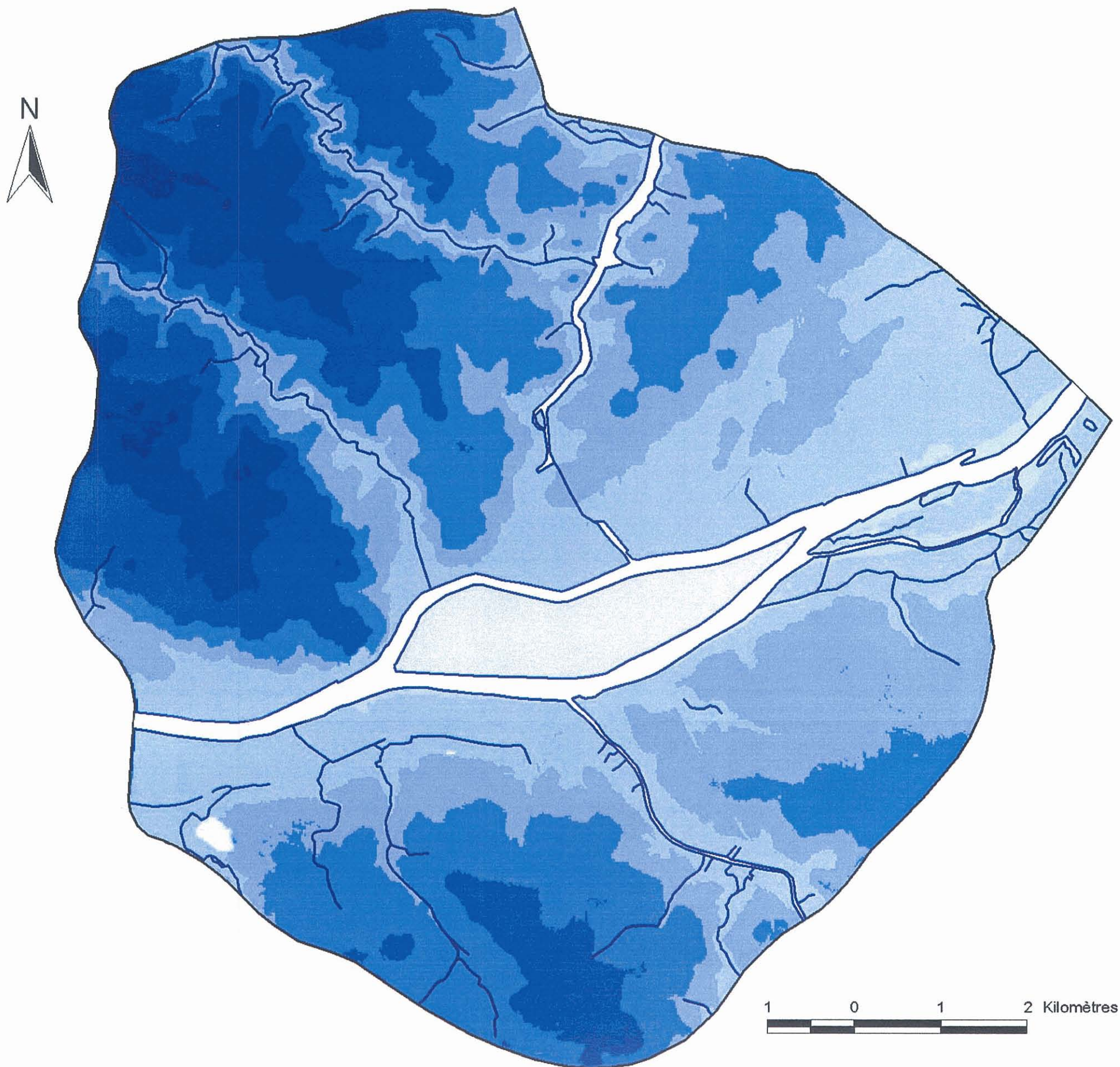


Planche 2 - Altitude de la surface piézométrique fin février - début mars 2005

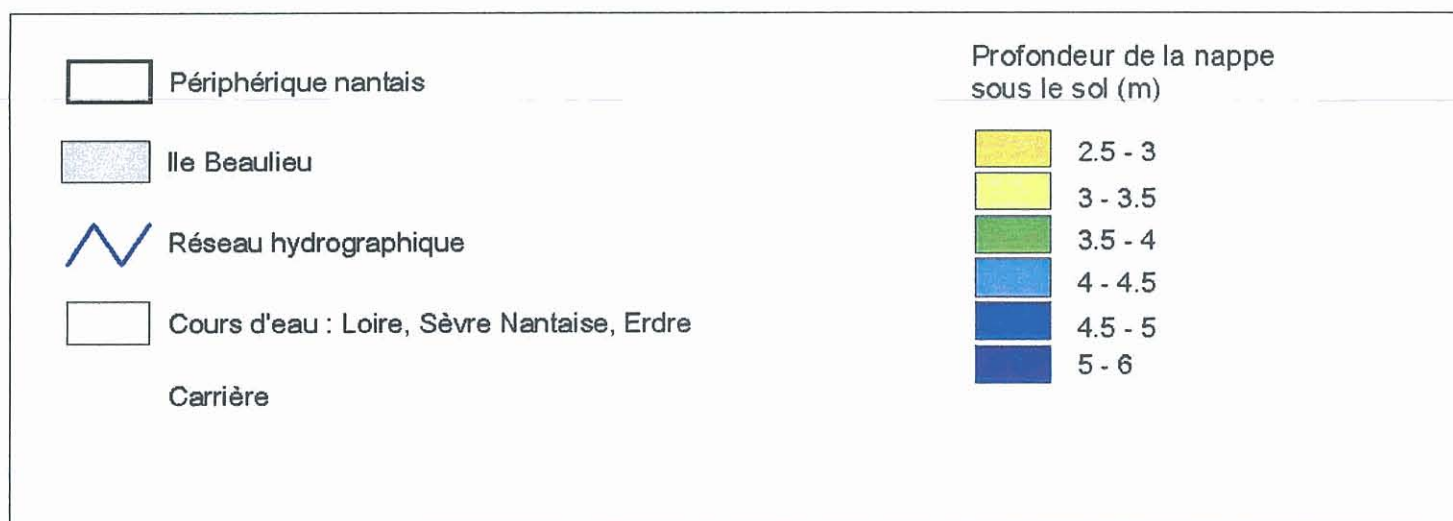
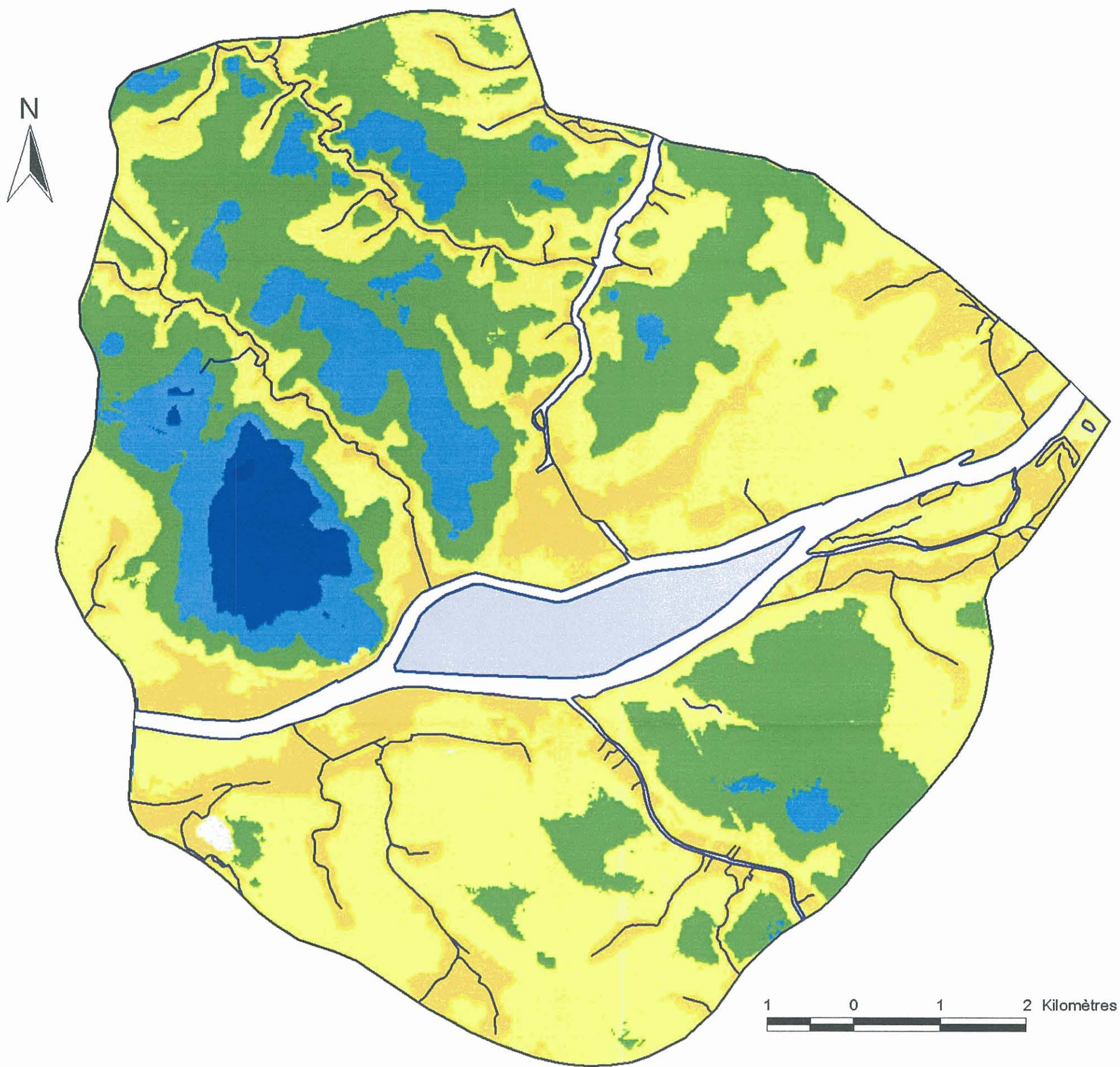


Planche 3 - Profondeur de la nappe sous le sol fin février - début mars 2005

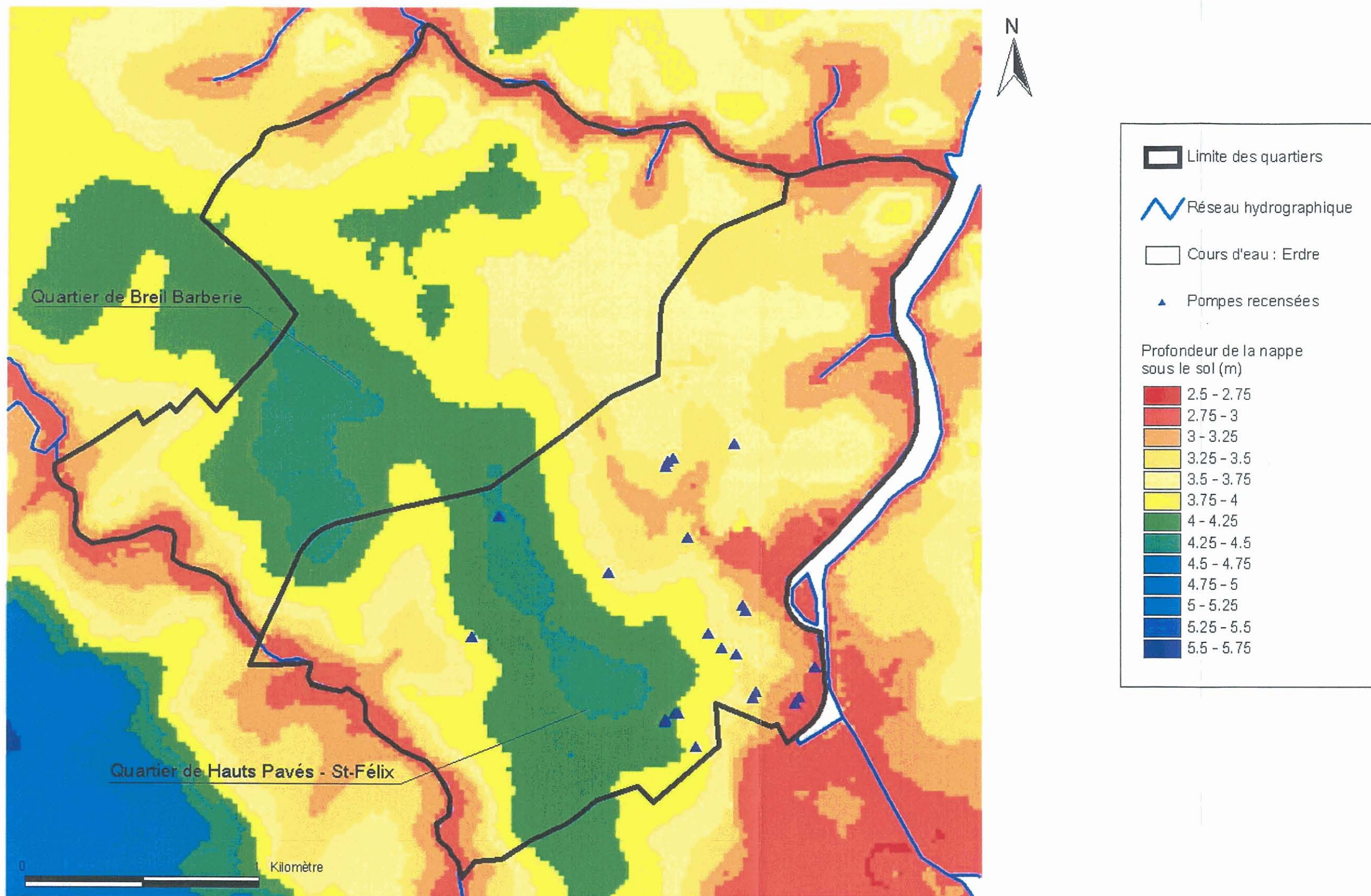


Planche 4 - Profondeur de la nappe fin février - début mars 2005 sur les quartiers de Breil Barberie et Hauts Pavés - St-Félix



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional "Pays de la Loire"
1, rue des Saumonières
BP 92342
44323 – Nantes Cedex 3 - France
Tél. : 02.51.86.01.51