



Profondeur des eaux souterraines sur le territoire de Nantes Métropole

Rapport final

BRGM/RP-56938-FR

Juin 2009



Profondeur des eaux souterraines sur le territoire de Nantes Métropole

Rapport final

BRGM/RP-56938-FR

Juin 2009

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 08EAUB49

Conil P., Rouxel E., Toutain J., Willeumier A.,
Avec la collaboration de
Baudouin V., Bourguin B., Jegou J-P.

Vérificateur :

Nom : Emmanuelle ROUXEL

Date : Signé conformément à l'IM165
le 02/06/2009

Approbateur :

Nom : Pierre CONIL

Date : Signé conformément à
l'IM165 le 02/06/2009

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

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 :

Conil P., Rouxel E., Toutain J., Willeumier A., avec la collaboration de **Bourgine B., Baudouin V., Jegou J-P.** (2009) - Profondeur des eaux souterraines sur le territoire de Nantes Métropole - Rapport final - BRGM/RP-56938-FR - 61 p., 16 ill., 4 pl., 3 ann.

© BRGM, 2009, 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 le territoire de la communauté urbaine. Cette étude intervient suite aux travaux déjà réalisés en 2004-2005 dans le cadre de l'identification du niveau « haut » des eaux souterraines sur le territoire s'inscrivant à l'intérieur du périmètre nantais.

Les travaux menés en 2004-2005 avaient permis de constituer une première carte très utilisée et déjà largement consultée (services, bureaux d'études, particuliers, etc.). Néanmoins, la période de mesure s'était révélée correspondre à une fourchette plutôt basse des « hautes eaux ». Il était donc important de pouvoir réaliser un autre travail lors d'une année météorologique et hydrogéologique plus caractéristique, afin d'aboutir à une carte plus représentative du niveau « haut » des nappes susceptibles d'être rencontrées sur le territoire de la communauté urbaine.

En accord avec Nantes Métropole, les travaux correspondant à environ 510 km² concernent l'ensemble du territoire de la communauté urbaine à l'exception de son extrémité ouest. Ce secteur d'étude comprend les communes de Basse-Goulaine, Bouaye, Bouguenais, Brains, Carquefou, Couëron, Indre, La Chapelle-sur-Erdre, La Montagne, Le Pellerin, Mauves-sur-Loire, Nantes, Orvault, Rezé, Sautron, Les Sorinières, Saint-Aignan-Grandlieu, Saint-Herblain, Saint-Jean-Boiseau, Saint-Léger-les-Vignes, Sainte-Luce-sur-Loire, Saint-Sébastien-sur-Loire, Thouaré-sur-Loire et Vertou.

Après dépouillement des données d'archives provenant de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) et repérage complémentaire, une liste de points d'eau potentiellement accessibles a été constituée (soit 1054 points).

La campagne de mesure en hautes eaux s'est déroulée entre le 03 et le 10 mars 2008 (semaine 10 et début de semaine 11). Lors de celle-ci, 236 mesures ont été effectuées dans différents types d'ouvrages : puits, forages, piézomètres, sondages... Ces points de mesure, relativement bien répartis, représentent de façon homogène la zone d'étude.

Suite au dépouillement et à l'informatisation des informations recueillies, l'altitude de la surface piézométrique a été modélisée en utilisant une grille à la maille de 20 m. Avec le Modèle Numérique de Terrain provenant des services techniques de Nantes Métropole, la profondeur de la nappe sous le sol a pu être modélisée et cartographiée à l'échelle du 1/25 000.

La profondeur de la nappe en début mars 2008, varie entre 0 et 30 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 conforme aux moyennes historiques. Pour des années à pluviométrie hivernale plus importante, les niveaux piézométriques seront donc encore plus hauts.

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

Sommaire

1. Introduction	7
2. Objectif du projet	9
3. Cycle de l'eau et écoulement souterrain	11
3.1. RAPPELS SUR LE CYCLE DE L'EAU.....	11
3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	12
3.2.1. Les formations de socle et du Pliocène.....	12
3.2.2. Les formations alluviales	13
3.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	14
3.3.1. Délimitation des entités hydrogéologiques	15
3.3.2. Les écoulements souterrains en zone de socle	16
3.3.3. Le battement des nappes	16
4. Déroulement du projet	21
4.1. CHOIX DE LA PERIODE DE MESURE	21
4.2. DEPOUILLEMENT DES DONNEES D'ARCHIVE ET REPERAGE	21
4.3. CAMPAGNE DE MESURE SUR LE TERRAIN.....	22
4.3.1. Campagne de mesure	22
4.3.2. Résultats obtenus et problèmes rencontrés	24
5. Cartographie de la profondeur des eaux souterraines	27
5.1. DESCRIPTION DE LA METHODE UTILISEE.....	27
5.2. DONNEES DISPONIBLES.....	28

5.3. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE ET RESULTATS OBTENUS 29

6. Conclusion 33

A.1 - Contexte de l'étude 49

Liste des illustrations

Illustration 1 : Extension du secteur d'étude..... 9
 Illustration 2 : Schéma du cycle de l'eau 11
 Illustration 3 : Cartographie simplifiée des formations de socle et des alluvions de la Loire 15
 Illustration 4 : Modèle conceptuel des altérations supergènes en domaine granitique (Wyns, 1998) 16
 Illustration 5 : Chronique piézométrique du forage de « Les Quatres Chemins » à Mouzillon 17
 Illustration 6 : Chronique piézométrique du forage de « EDE » à Derval 18
 Illustration 7 : Situation piézométrique du forage de « Les Quatres Chemins » à Mouzillon 18
 Illustration 8 : Situation piézométrique du forage de « EDE » à Derval 19
 Illustration 9 : Répartition des points de mesure potentielle 22
 Illustration 10 : Aperçu d'une sonde piézométrique..... 23
 Illustration 11 : Chiffrage des sites visités par commune 24
 Illustration 12 : Localisation des 236 mesures effectuées 25
 Illustration 13 : Principe de modélisation de la surface piézométrique en domaine de socle 27
 Illustration 14 : Modèle Numérique de Terrain de Nantes Métropole 28
 Illustration 15 : Niveaux mesurés sur le territoire de Nantes Métropole 29
 Illustration 16 : Corrélation linéaire entre le niveau piézométrique, le niveau de base des rivières et la topographie..... 30

Liste des annexes

Annexe 1 : Carte géologique simplifiée du territoire de Nantes Métropole 35
 Annexe 2 : Résultats de l'étude 39
 Annexe 3 : Synthèse des travaux réalisés en 2004-2005 47

Liste des planches

Planche 1 : Carte géologique simplifiée du territoire d'étude 37
 Planche 2 : Altitude de la surface piézométrique début mars 2008..... 41
 Planche 3 : Profondeur de la nappe sous le sol début mars 2008 43
 Planche 4 : Incertitude sur l'altitude de la surface piézométrique..... 45

1. Introduction

La question des eaux souterraines et de leur protection est régulièrement posée au sein de la communauté urbaine 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 urbain. 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.

Afin d'apporter une vision globale de la situation des nappes phréatiques sur le centre du territoire de la communauté urbaine de Nantes, une étude en partenariat avec Nantes Métropole a été réalisée en 2004-2005 par le BRGM. Elle portait sur l'identification du niveau piézométrique « haut » sur le territoire s'inscrivant à l'intérieur du périphérique nantais (environ 120 km²).

Cette étude avait permis, grâce à la réalisation de 118 mesures sur le territoire investigué, la constitution d'une carte de la profondeur des eaux souterraines. Toutefois, l'année hydrologique 2004-2005 s'est classée dans les années sèches et la carte correspond donc à une fourchette plutôt basse des hautes eaux souterraines. Il était donc important de pouvoir réaliser des mesures complémentaires lors d'une année météorologique et hydrogéologique plus représentative afin d'aboutir à une carte plus significative.

D'autre part, des secteurs urbanisés ou urbanisables couvrent une partie significative du territoire de la communauté urbaine à l'extérieur du périphérique. L'extension de la cartographie des eaux souterraines à la quasi-totalité du territoire de Nantes Métropole apparaissait donc comme une contribution importante pour aider à la gestion de cette urbanisation.

2. Objectif du projet

Une convention a été passée en janvier 2008 entre Nantes Métropole et le BRGM pour mener une étude visant à apporter une vision globale de la situation des nappes phréatiques en période de « hautes » eaux sur le 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 (survenant usuellement en fin d'hiver).

L'objectif de l'étude est d'actualiser (pour la partie située à l'intérieur du périphérique) et d'étendre la couverture géographique de la cartographie de la profondeur, à partir de laquelle il est probable de rencontrer des eaux souterraines.

En accord avec Nantes Métropole, les travaux concernent l'ensemble du territoire de la communauté urbaine à l'exception de son extrémité ouest (environ 510 km²). La cartographie de celle-ci n'a pas été considérée car cette zone est peu urbanisée et peu urbanisable du fait de sa localisation (Illustration 1).

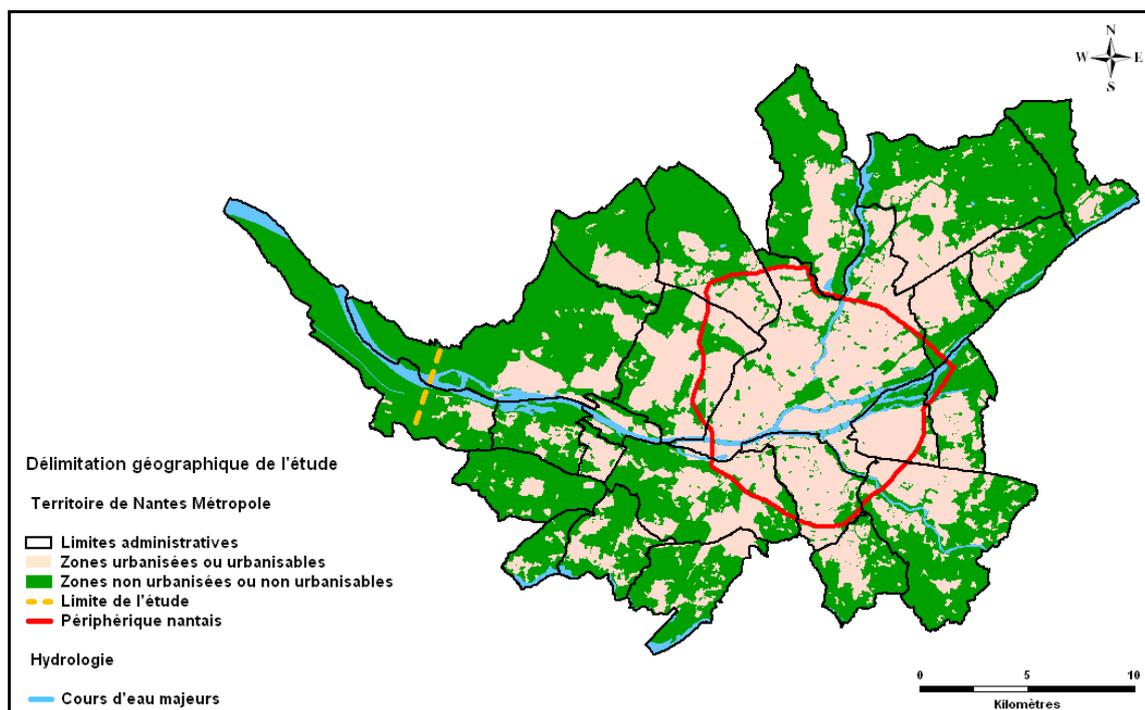


Illustration 1 : Extension du secteur d'étude

Le secteur d'étude comprend les communes de Basse-Goulaine, Bouaye, Bouguenais, Brains, Carquefou, Couëron, Indre, La Chapelle-sur-Erdre, La Montagne, Le Pellerin,

Mauves-sur-Loire, Nantes, Orvault, Rezé, Sautron, Les Sorinières, Saint-Aignan-Grandlieu, Saint-Herblain, Saint-Jean-Boiseau, Saint-Léger-les-Vignes, Sainte-Luce-sur-Loire, Saint-Sébastien, Thouaré-sur-Loire et Vertou.

3. Cycle de l'eau et écoulement souterrain

Les éléments décrits dans cette partie de l'étude constituent un rappel vis à vis du rapport édité dans le cadre du travail réalisé en 2004-2005 sur le périmètre intérieur au périphérique nantais.

3.1. RAPPELS SUR LE CYCLE DE L'EAU

L'illustration 2 rappelle le cycle de l'eau.

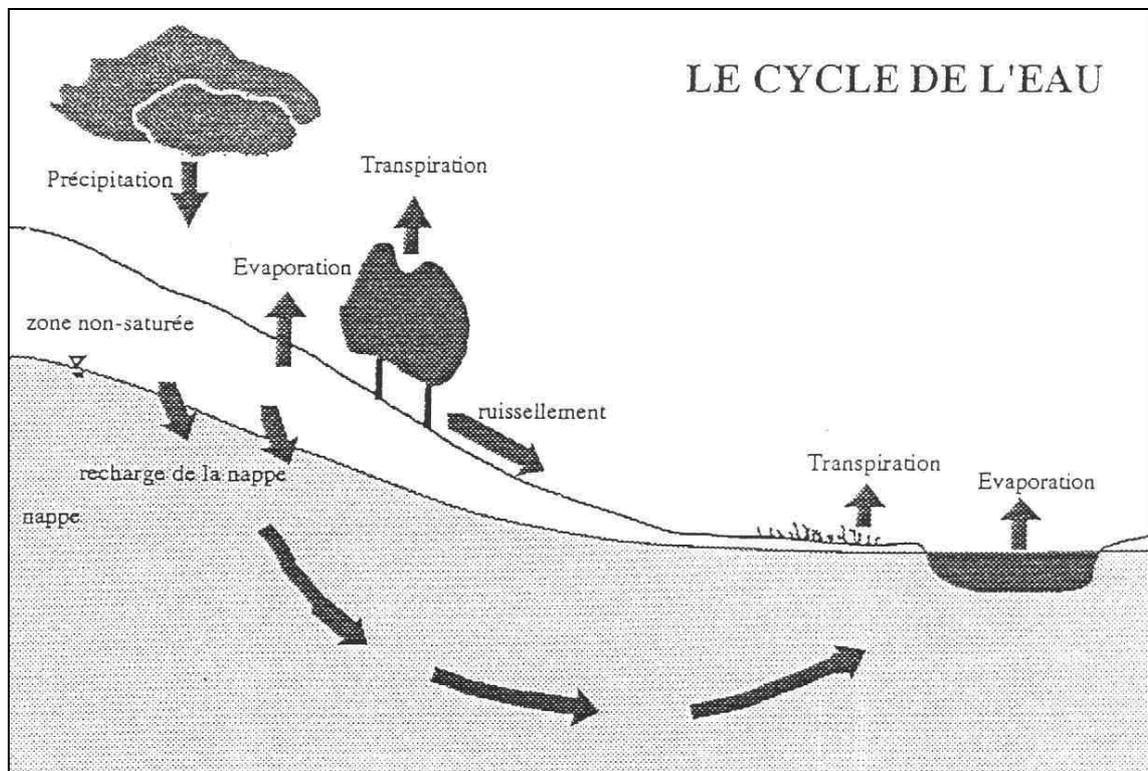


Illustration 2 : Schéma du cycle de l'eau

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 les deux tiers de la pluie et le ruissellement et les infiltrations environ le tiers.

L'eau de surface et l'eau souterraine sont drainées 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 (faible profondeur des eaux souterraines) sont recensés en fin d'hiver et les minimums (plus forte profondeur) en fin d'été, début d'automne.

3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La région nantaise, traversée d'Est en Ouest par la Loire, présente un relief faible (de 0 à 80 m). Cette zone est constituée par deux plateaux situés de part et d'autre du fleuve et entaillée par des vallées et des vallons.

Le contexte géologique du secteur d'étude est guidé par la mise en place de la Loire (dépôts argilo-sableux à caillouteux) sur les unités de socle constituant le substratum. Celui-ci est également recouvert localement par les sables pliocènes (dépôts sédimentaires).

La diversité des roches composant ce substratum s'explique par la complexité de l'histoire géologique régionale qui s'inscrit dans celle du Massif armoricain et celle du seuil du Poitou.

3.2.1. Les formations de socle et du Pliocène

Les unités de socle se répartissent en bandes de largeur variable, parallèlement au Cisaillement Sud Armoricaïn (Annexe 1, Planche 1) :

- L'unité située au Sud-Ouest du territoire de Nantes Métropole correspond à la Formation des Mauves (essentiellement constituée de micaschistes). Elle correspond au substrat des communes de Mauves-sur Loire, Carquefou, La Chapelle-sur-Erdre, Thouaré-sur-Loire, Sainte-Luce-sur-Loire, Basse-Goulaine, Saint-Sébastien-sur-Loire, le Nord et l'Est de Nantes, le Nord de la commune de Vertou, le Sud de la commune d'Orvault et le centre de la commune de Sautron.
- Au Sud-Ouest, après une fine bande d'amphibolite (Formation de Drain), traversant les communes de Vertou, Nantes et Saint-Herblain, on passe à la Formation de Landreau (micaschistes et de gneiss à biotite et muscovite). Ce niveau forme une bande partant du sud de la commune de Sautron et passant par Saint-Herblain, Nantes, Rezé pour se terminer à Vertou.
- Le Nord des communes d'Orvault et de Sautron, ainsi qu'une bande partant du Nord de la commune de Couëron pour passer par Saint-Herblain, l'extrémité Sud-Ouest de Nantes, l'Est de Bouguenais, le Sud-Ouest de Rezé, l'ensemble de la commune des Sorinières et l'extrémité Sud de Vertou ont un substrat

granitique traversé par le Cisaillement Sud Armoricaïn à l'origine de la déformation intense des granites.

- A l'Ouest, la Formation de Pellerin-Montaigu (gneiss feuilletés à muscovite et de leptynite), forme l'essentiel du substrat du territoire des communes de Couëron, Indre-sur-Loire, du Sud-Ouest de Saint-Herblain, d'une partie des communes de Bouguenais, La Montagne, Saint-Jean-de-Boiseau, Brain et le Pellerin ainsi que de l'extrémité orientale de la commune de Vertou. Elle est associée à la Formation de Paimboeuf (gneiss leptynitique à sillimanite) présente sur les communes de Couëron et de Saint-Herblain.
- Au Sud de la commune de Vertou est présent le massif de Château-Thébaud marqué par des granodiorites et des diorites. Les formations de Saint-Paul-en-Pareds (micaschistes à biotite), de Chauvé-l'Angle-Mervent (orthogneiss à deux micas) et la Formation de Montaigu (amphibolite massive), constituent le substrat affleurant des villes du Sud-Ouest de la communauté urbaine.
- Les massifs de l'Ortay et du Bignon (massifs granitiques à deux micas) sont présents sur les communes de Rezé, Bouguenais et les Sorinières. La Formation de Champtoceaux est présente à l'Est de la commune de Vertou sous la forme leptynite à biotite et muscovite.
- Il existe d'autres faciès associés essentiellement à des filons comme les filons de quartz, de pegmatites ou encore de péridotites et de serpentinites. Ils représentent de très faible surface sur la carte (moins de 1 %).

Après l'orogénèse hercynienne, la région est soumise à une intense érosion permettant l'aplanissement progressif de la topographie. Les dépôts sableux et rouges du Pliocène recouvrent une surface marquée par une topographie localement accusée.

Le long de la Loire et au niveau des communes situées dans la partie occidentale de la zone d'étude, les formations quaternaires, fluviatiles et fluvio-marines recouvrent le substratum.

3.2.2. Les formations alluviales

Ayant déjà pratiquement son aspect actuel avant le Pliocène, la gouttière rocheuse de la Loire a été déblayée et remblayée au cours des régressions et des transgressions eustatiques (variations du niveau des mers) au Quaternaire.

- Les alluvions fluviatiles anciennes (Würm)

Les alluvions de la Loire déposées lors de la dernière glaciation (le Würm) recouvrent partout le lit rocheux du fleuve. A l'amont de Nantes, les alluvions forment une terrasse entre Chouzé et Saumur (à + 5 m d'altitude relative), puis elles sont recouvertes par les alluvions actuelles. A Nantes, elles gisent sous les alluvions fluvio-marines récentes (Flandrien), entre - 13 et - 27 m de profondeur (NGF). Le thalweg rocheux descend de - 27 m à Nantes jusqu'à - 37 m environ à la Martinière, et - 50 m à Mindin. Epaisse de

14 m en moyenne à Nantes, ces alluvions sont constituées par du sable siliceux, du gravier, des galets de roches cristallines non altérées.

- **Les alluvions fluviales modernes**

- La Loire

Le remblaiement récent de la vallée de la Loire est connu par de nombreux sondages (Nantes, Ile Cheviré, Pé de Buzay), il est principalement constitué de sédiments fins, fluvio-estuariens (sables, vase, graviers, argiles).

- L'Erdre

En bordure de l'Erdre ainsi que dans les cours inférieurs et moyens de ses tributaires se sont déposées des alluvions grises, argileuses ou argilo-sableuses. Les dépôts ont moins d'un mètre et sont toujours entaillés par le lit mineur. Dans les vallons des ruisseaux, ces dépôts se réduisent à un voile de limon d'inondation qu'il est difficile de délimiter par rapport aux colluvions des berges. Leur âge est holocène à historique.

- **Les terrasses**

Un lambeau résiduel d'une **haute terrasse** culmine à 33 m au Sud de Basse-Goulaine. La fraction argileuse est plus importante dans ces sédiments que dans les alluvions plus récentes.

Sur la rive droite de la Loire, **une moyenne terrasse** (25 m NGF) s'étend largement au pied du Sillon de Bretagne, où elle atteint 8 m d'épaisseur. Les alluvions ont été arrachées par l'érosion des vallons, mais peuvent atteindre 6 m d'épaisseur au sommet de l'interfluve.

A Sainte-Luce-sur-Loire et à l'Est de Nantes, subsistent des restes d'une nappe alluviale formant une **basse terrasse** (+12 m NGF) emboîtée dans la moyenne terrasse. Le sédiment qui la compose est plus sableux et les galets plus petits que dans la moyenne terrasse.

3.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Comme indiqué dans la description du contexte géologique, le territoire de Nantes Métropole est principalement inscrit dans un domaine de socle. Des formations sédimentaires plus récentes sont venues se déposer sur ces formations anciennes. Certaines sont encore présentes aujourd'hui et recouvrent donc les formations de socle. On identifie principalement :

- des placages sableux du Pliocène ;
- des formations alluviales, situées en fond de vallées mais aussi sous la forme de terrasses alluviales de faibles extensions ;

- des formations superficielles, de type limons ou lœss.

3.3.1. Délimitation des entités hydrogéologiques

La cartographie géologique du territoire de Nantes Métropole réalisée par le BRGM (dans le cadre de l'étude sur l'« Evaluation du potentiel géothermique très basse énergie sur le territoire de Nantes Métropole ») présente de façon simplifiée son contexte géologique.

Cette cartographie présente la nature des différentes formations de socle présentes dans la zone d'étude lorsque celles-ci sont à l'affleurement. Elle permet également de distinguer les secteurs dans lesquels des altérites ou des formations superficielles (alluvions, remblais ou placages sableux du Pliocène) masquent les formations de socle.

Cette carte constitue donc une sorte « d'écorché » des formations géologiques présentes sur le territoire de Nantes Métropole et fournit ainsi une délimitation des entités hydrogéologiques présentes dans la zone d'étude (Illustration 3).

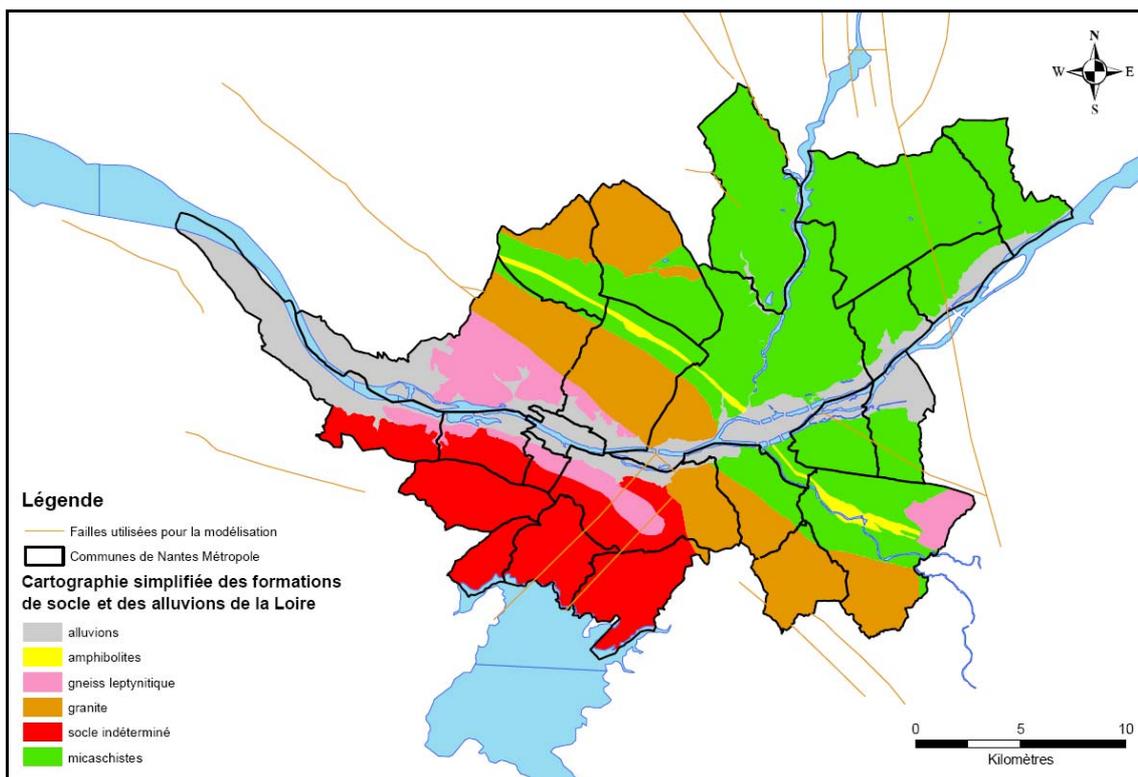


Illustration 3 : Cartographie simplifiée des formations de socle et des alluvions de la Loire

3.3.2. Les écoulements souterrains en zone de socle

Le domaine de socle englobe les formations magmatiques (granite) et métamorphiques (gneiss, schistes...). Dans ce type d'aquifère (Illustration 4), les altérites constituent un réservoir souvent peu perméable dans lequel l'eau s'écoule difficilement (fonction de réservoir). L'horizon fissuré situé au dessous des altérites dans le profil d'altération a quant à lui une perméabilité plus importante liée à l'ouverture des fissures. Cet horizon permet donc l'écoulement des eaux souterraines (fonction d'écoulement).

Ce concept où la fissuration et l'altération ont des fonctions spécifiques séparées doit parfois être largement modulé : l'emmagasinement d'eau dans 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.

De façon générale, les aquifères de type socle sont caractérisés par une forte hétérogénéité spatiale de la ressource.

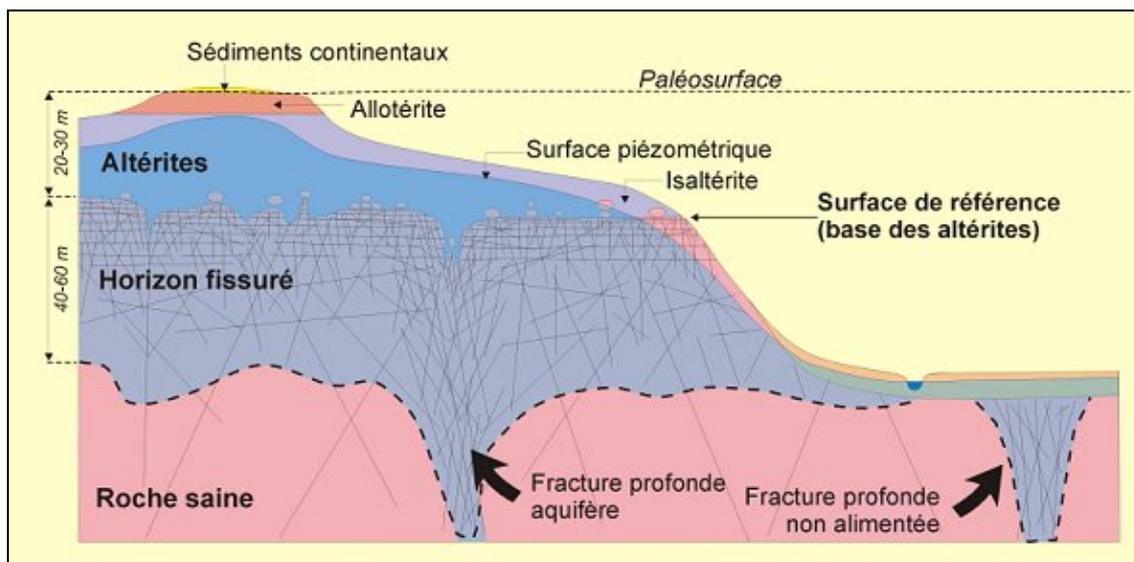


Illustration 4 : Modèle conceptuel des altérations supergènes en domaine granitique (Wyns, 1998)

3.3.3. Le battement des nappes

Les informations relevées dans deux forages (situés dans le voisinage du secteur d'étude) appartenant au réseau de suivi des eaux souterraines de Loire-Atlantique et faisant l'objet d'un suivi piézométrique permettent de visualiser l'évolution de la profondeur des eaux souterraines en fonction de la période de l'année (données disponibles et téléchargeables sur le site, <http://www.adeseaufrance.fr>).

Le premier ouvrage (n°BSS : 05092X0009/P) a une profondeur de 20 mètres. Il est situé sur la commune de Mouzillon ; le niveau de la nappe est suivi par le Conseil Général de Loire-Atlantique depuis le 01 avril 1994 (Illustration 5 et Illustration 7).

Le second ouvrage (n°BSS : 04202X0013/S9) a une profondeur de 58 mètres. Il est situé sur la commune de Derval ; le niveau de la nappe est suivi depuis le 14 avril 1994 (Illustration 6 et Illustration 8).

Ces informations sont figurées sur 2 types de graphiques pour chacun des ouvrages, une chronique piézométrique et une chronique de situation piézométrique, afin de proposer une analyse détaillée de la situation piézométrique du début mars 2008.

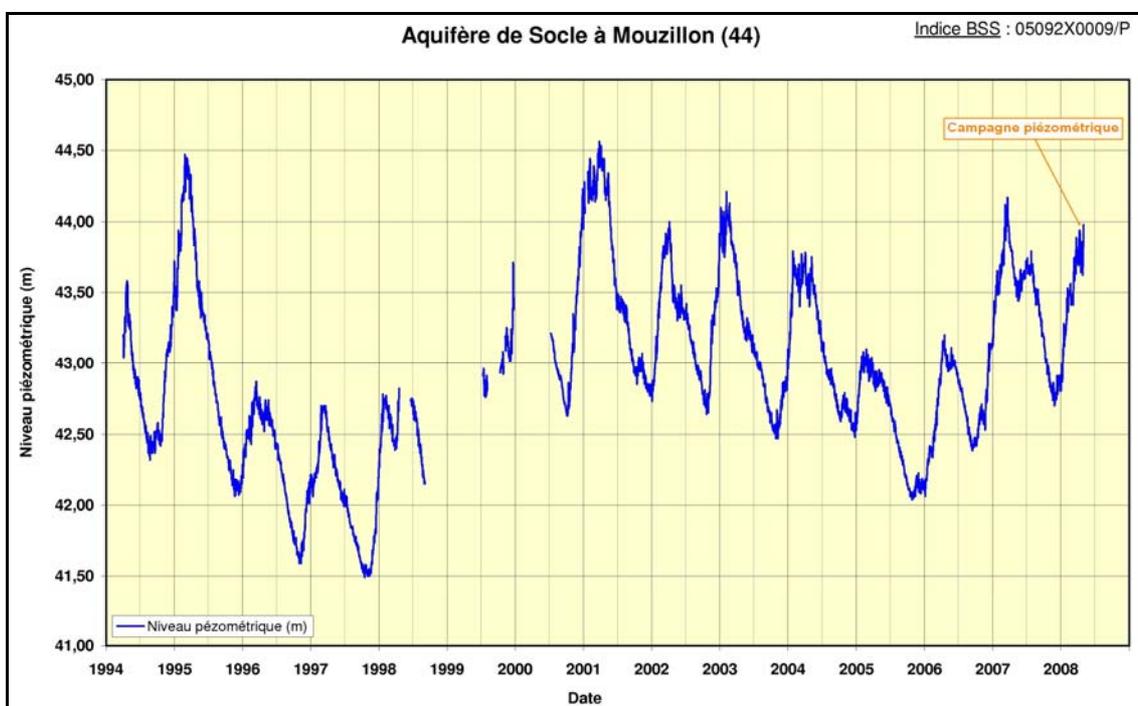


Illustration 5 : Chronique piézométrique du forage de « Les Quatres Chemins » à Mouzillon

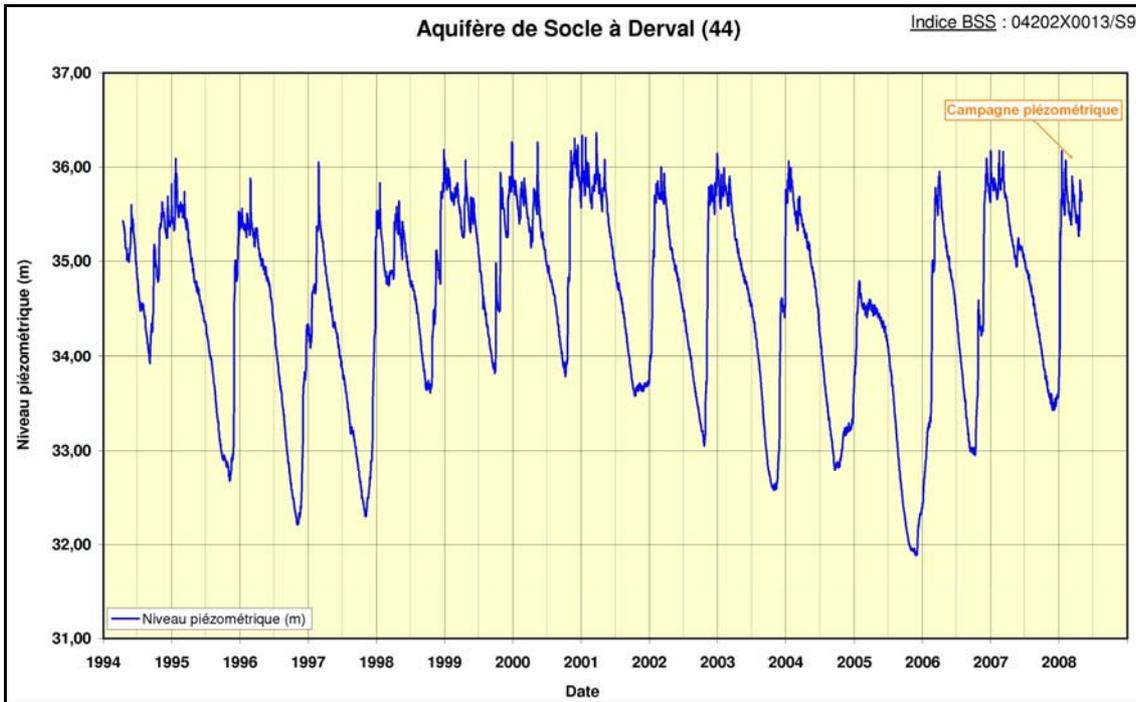


Illustration 6 : Chronique piézométrique du forage de « EDE » à Derval

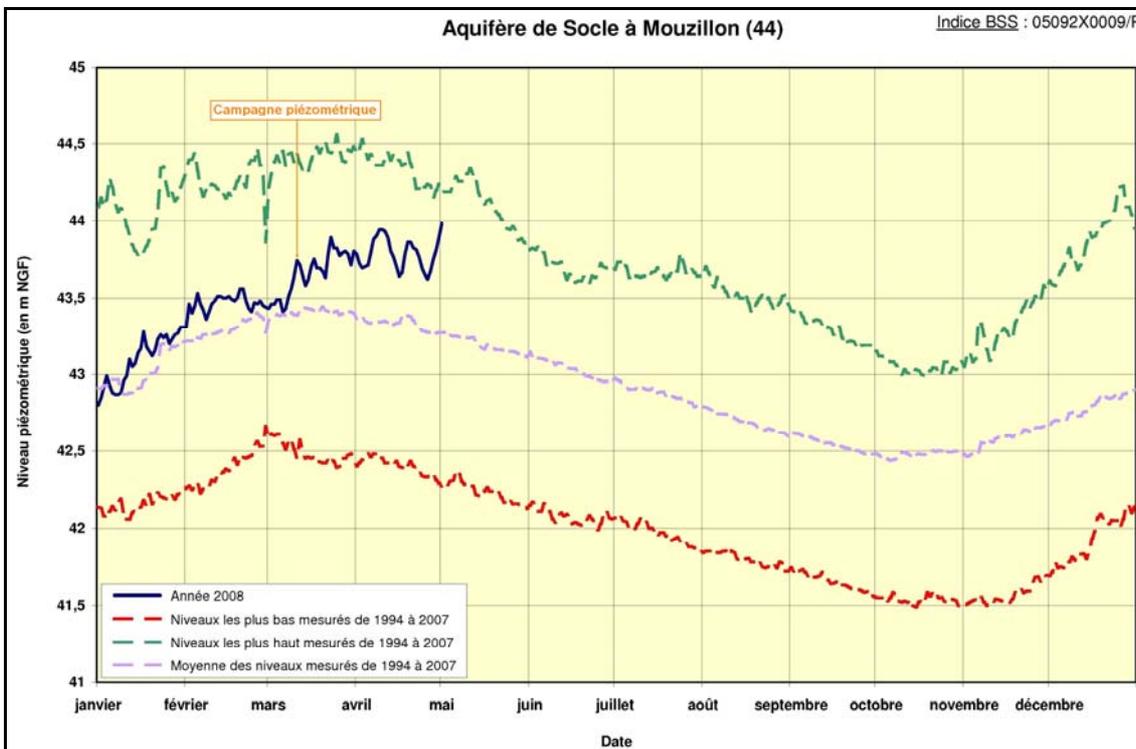


Illustration 7 : Situation piézométrique du forage de « Les Quatres Chemins » à Mouzillon

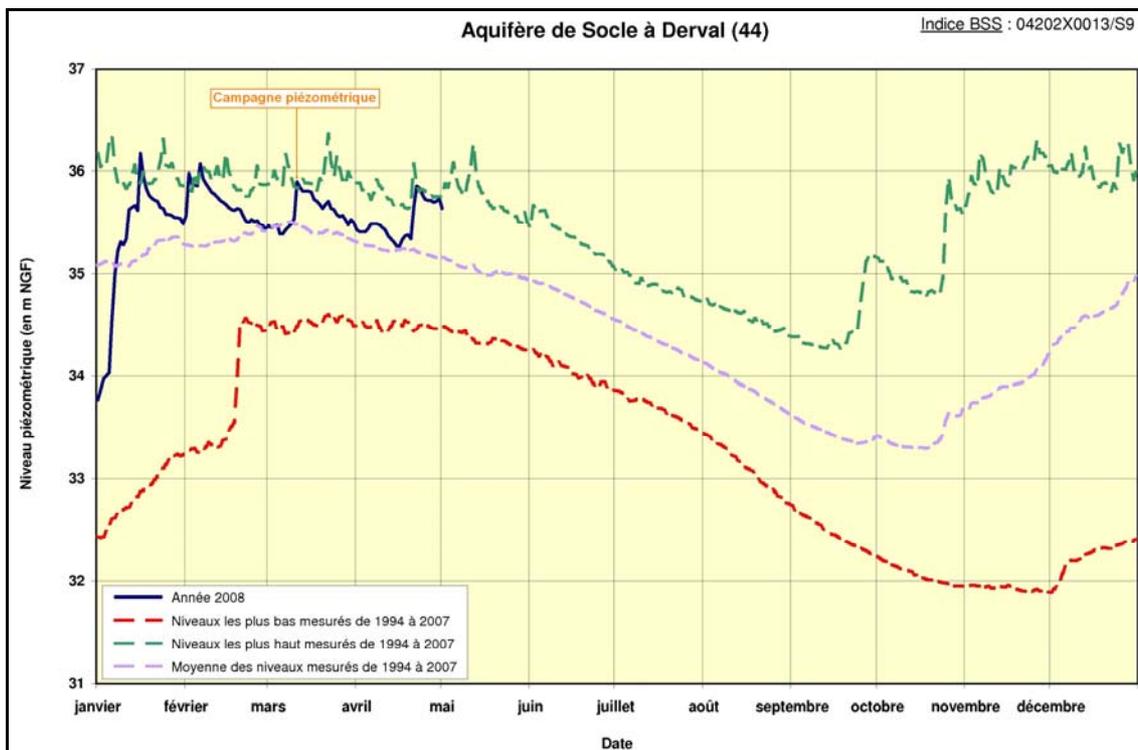


Illustration 8 : Situation piézométrique du forage de « EDE » à Derval

Ces illustrations montrent que le niveau des eaux souterraines est variable en cours d'année et suit un cycle de recharge-décharge : la nappe se recharge en hiver et le niveau devient maximum, tandis que la nappe se vidange en période d'été (fin d'été, début automne) et le niveau est alors minimum.

Le niveau de la nappe peut également s'approfondir brusquement en cas de pompage. Les ouvrages faisant l'objet de suivi piézométrique et dont les chroniques ont été analysées précédemment mesurent des niveaux de nappes en dehors de l'influence directe de pompage (au sein du point d'eau ou à proximité).

Les illustrations 5 et 6 montrent que la campagne de mesure (semaine du 03 au 10 mars 2008) a été réalisée pendant la période de hautes eaux.

Les illustrations 7 et 8 montrent que la piézométrie mesurée au début de l'année 2008 est dans l'ensemble comprise entre les valeurs de la courbe des moyennes des niveaux mesurés entre 1994 et 2007 et la courbe des niveaux les plus hauts mesurés depuis 1994, dans chacun des deux cas.

La période de mesure est donc représentative des niveaux « hauts » rencontrés usuellement sans atteindre les valeurs maximales observées sur les chroniques.

4. Déroulement du projet

4.1. CHOIX DE LA PERIODE DE MESURE

Les chroniques piézométriques des illustrations 5 et 6 montrent que les plus hauts niveaux de nappe sont rencontrés fréquemment de mi-janvier à mi-avril.

La campagne de mesure des niveaux piézométriques sur le secteur d'étude a donc été programmée sur une période limitée dans le temps (afin de s'affranchir des évolutions temporelles des niveaux piézométriques en ayant des mesures synchrones, comparables les unes aux autres). Elle a été programmée en mars 2008 en période de hautes eaux.

Pour cette campagne de mesure, le niveau des eaux souterraines sur le secteur étudié est représentatif des niveaux « hauts » rencontrés usuellement sans atteindre les valeurs maximales observées par rapport aux années précédentes. En effet, les illustrations 7 et 8 montrent que la piézométrie mesurée dans les deux piézomètres au début de l'année 2008 est dans l'ensemble comprise entre les valeurs de la courbe des moyennes des niveaux mesurés entre 1994 et 2007 et la courbe des niveaux les plus hauts mesurés depuis 1994.

4.2. DEPOUILLEMENT DES DONNEES D'ARCHIVE ET REPERAGE

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 et les informations afférentes 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 : afin que celle-ci soit plus ciblée, seuls les points à usage « eau » ont été extraits, soit 912 ouvrages.

De plus, les ouvrages concernés par des déclarations préalables en forage d'eau (142 ouvrages) ont été pris en compte pour comptabiliser un maximum d'ouvrages. De ce fait, 1054 points ont été recensés avant le début de la campagne de mesure (Illustration 9).

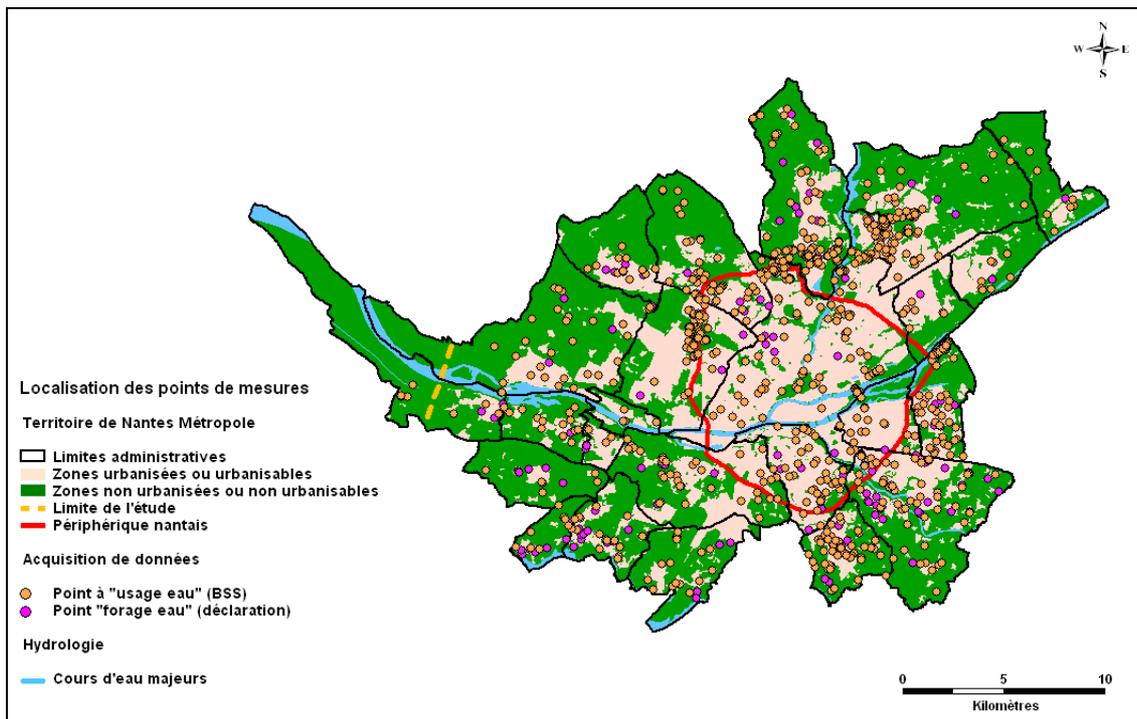


Illustration 9 : Répartition des points de mesure potentielle

Les ouvrages comptabilisés (1054 points) ont été précisément localisés sur fond cartographique (TeleAtlas). Ces repérages ont permis de préparer la campagne de mesure en définissant différents secteurs en vue de répartir spatialement les points de mesure de la manière la plus homogène possible.

4.3. CAMPAGNE DE MESURE SUR LE TERRAIN

4.3.1. Campagne de mesure

La campagne de mesure en hautes eaux s'est déroulée du 03 mars au 10 mars 2008 (semaine 10 et début de semaine 11).

Comme mentionné ci-dessus la campagne de mesure a été préparée afin de viser une répartition géographique homogène sur l'ensemble du territoire d'étude. Il est important en effet que les points de mesures ne soient pas concentrés sur un même secteur. A cette fin, le territoire de mesure a été découpé en quadrillage et les mesures ont été réparties dans celui-ci (de l'ordre de 2 à 3 sites de mesure par secteur).

A l'aide du tableau des ouvrages répertoriés en BSS et repérés sur le terrain, le BRGM (Services Géologiques des Pays de la Loire) a sillonné le territoire de la communauté urbaine de Nantes Métropole afin de réaliser des mesures à l'aide d'une sonde piézométrique (Illustration 10). 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.



Illustration 10 : Aperçu d'une sonde piézométrique

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

- puits : excavation généralement cylindrique de 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 vissé - par les exploitations agricoles pour l'irrigation, par les industriels 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 : forage servant à la surveillance de la surface piézométrique des eaux souterraines.

Dans ces différents ouvrages la profondeur du niveau piézométrique est mesurée 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.

4.3.2. Résultats obtenus et problèmes rencontrés

Suite aux campagnes de terrains 236 mesures ont été effectuées. Les résultats obtenus par commune sont rassemblés ci-dessous.

COMMUNE	Nb de mesures	COMMUNE	Nb de mesures
BASSE GOULAIN	4	ORVAULT	21
BOUAYE	9	PONT SAINT MARTIN*	1
BOUGUENAI	17	REZE	5
BRAINS	9	ROUANS	3
CARQUEFOU	20	SAUTRON	6
COUERON	16	SAINT AIGNAN GRANDLIEU	12
INDRE	0	SAINT HERBLAIN	7
LA CHAPELLE SUR ERDRE	22	SAINT JEAN DE BOISEAU	7
LA MONTAGNE	1	SAINT LEGER LES VIGNES	8
LE PELLERIN	10	SAINTE LUCE SUR LOIRE	4
LES SORINIERES	10	SAINT SEBASTIEN	0
MAUVES SUR LOIRE	3	THOUARE SUR LOIRE	7
NANTES	13	VERTOU	21

Illustration 11 : Chiffrage des sites visités par commune

Le travail de mesure sur le territoire de Nantes Métropole a une répartition homogène sur le terrain, néanmoins cette répartition fait apparaître une hétérogénéité dans le nombre de mesures par communes. Les campagnes de mesure piézométrique en milieu urbain sont assez compliquées.

En effet, les mesures n'ont pas toujours pu être effectuées sur les sites pré-identifiés. Cela peut s'expliquer 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, de taxe...) ;
- ouvrages rebouchés ou non retrouvés ;
- gênes occasionnées par les équipements des ouvrages (pompe, couvercle...) lesquels empêchent le passage de la sonde de mesure.

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.

Le cahier des charges du projet prévoyait d'effectuer environ 200 mesures, celui-ci a été respecté et même dépassé puisque 236 mesures ont été effectuées.

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

L'illustration 12 montre la localisation des 236 points de mesure, ceux-ci sont relativement bien répartis et représentent de façon assez homogène la zone d'étude.

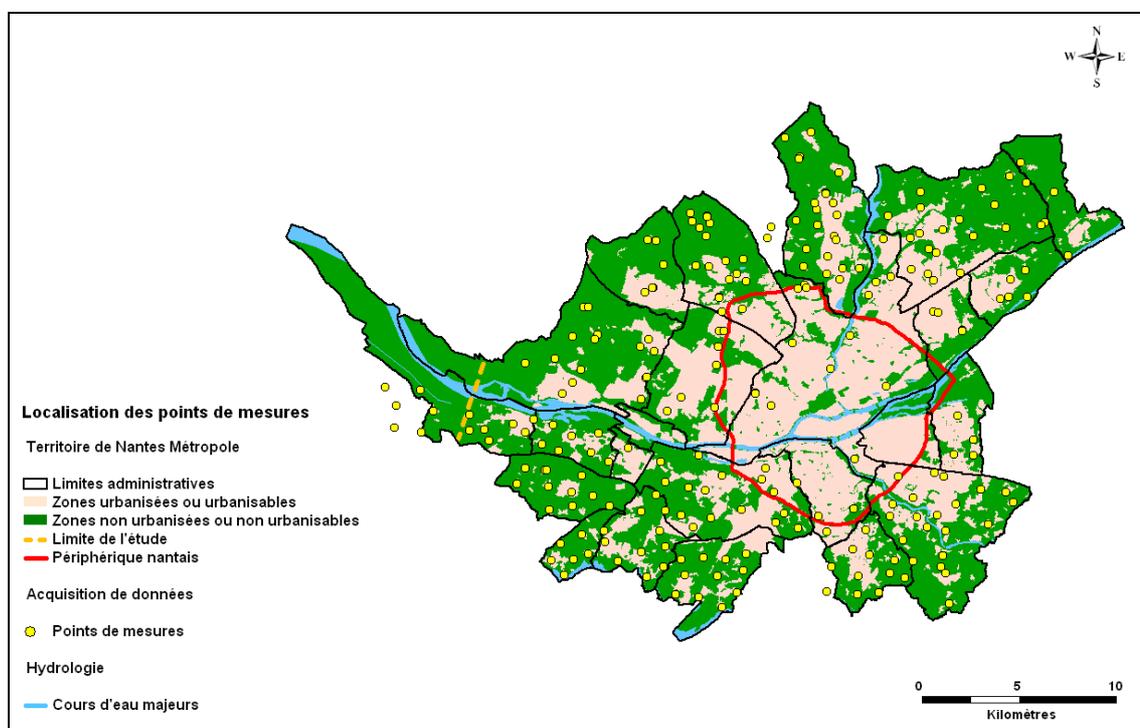


Illustration 12 : Localisation des 236 mesures effectuées

Les profondeurs de nappe relevées sur le terrain varient entre 0,00 et 13,80 m de profondeur. L'ensemble de ces 236 points d'observation représente une densité d'environ 1 point pour 2,16 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.

5. Cartographie de la profondeur des eaux souterraines

La modélisation de la surface piézométrique (altitude de la surface de la nappe) a été réalisée par le biais du logiciel ArcGis 9.2. 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 de format A3 à l'échelle du 1/50 000 (Annexe 2).

5.1. DESCRIPTION DE LA METHODE UTILISEE

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 (Illustration 13).

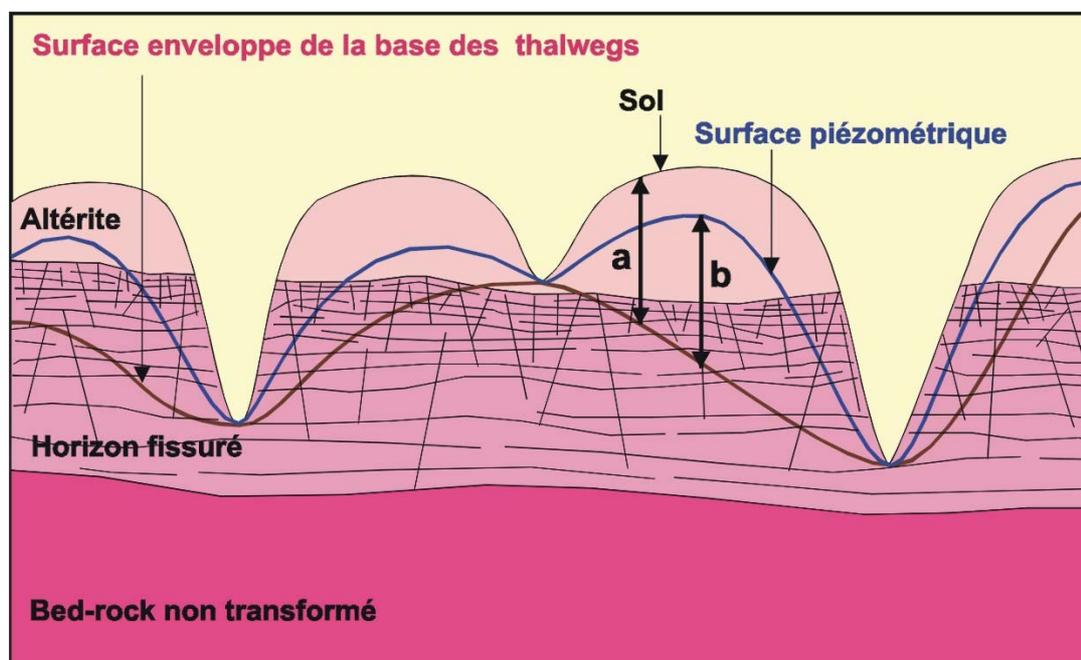


Illustration 13 : Principe de modélisation de la surface piézométrique en domaine de socle altéré

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 l'illustration 13), et d'autre part la dénivellation entre l'altitude de la surface piézométrique et celle de la surface-enveloppe des rivières (« b » sur l'illustration 13). 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.

5.2. DONNEES DISPONIBLES

L'altitude du niveau de la nappe a été modélisée à partir :

- du Modèle Numérique de Terrain (MNT) au pas de 20 mètres fourni par Nantes Métropole (Illustration 14). L'altitude du sol varie entre -93.9 mètres (carrière des Pontreaux au Sud de la zone alluviale de la Loire) et 83 mètres. Ce MNT fournissant l'altitude des ponts et non de la Loire, le MNT de l'IGN au pas de 50 mètres a été utilisé en complément.

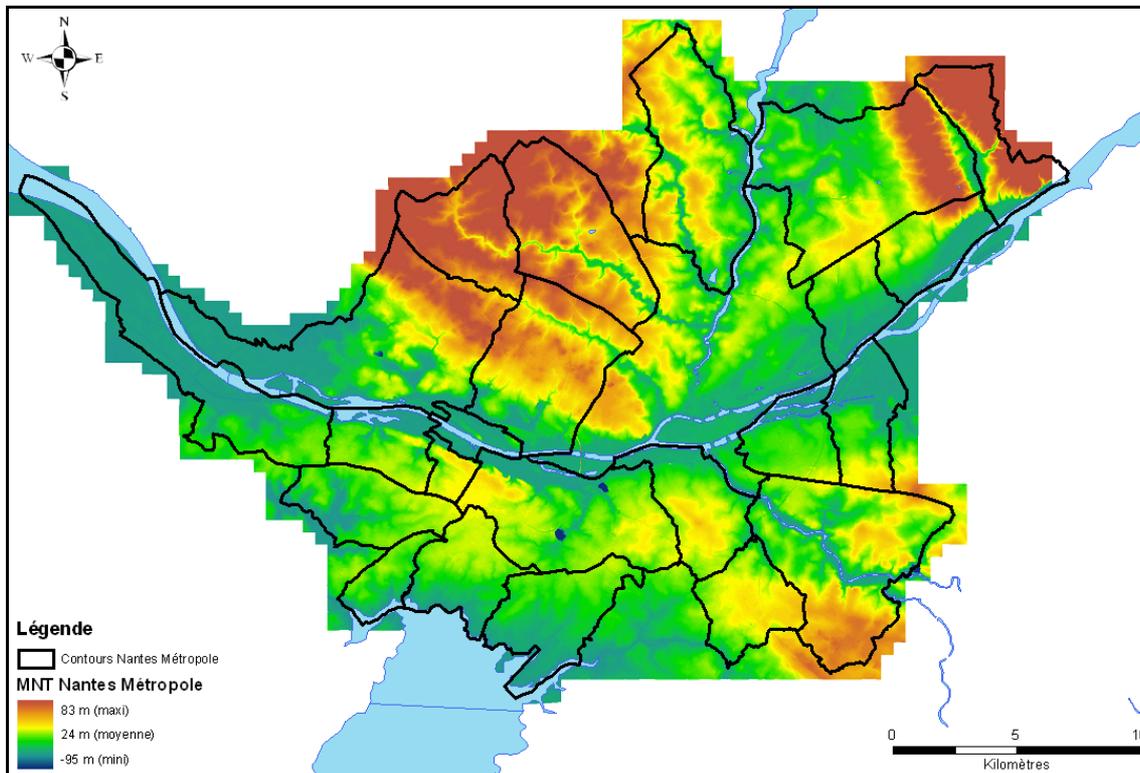


Illustration 14 : Modèle Numérique de Terrain de Nantes Métropole

- des 236 mesures de la profondeur du niveau de nappe réalisées lors de cette étude ;
- d'un réseau hydrographique reconstitué à partir du réseau de la BD Carthage (IGN).

Les différentes mesures de niveau de nappe disponibles sont présentées sur l'illustration 15.

11 mesures de niveau de nappe ont été écartées, car fournissant un résultat influencé (pompage) ou non cohérent avec les autres mesures effectuées dans le voisinage (ouvrage colmaté par exemple).

225 mesures de niveau d'eau ont donc été retenues pour caler la représentation du niveau de nappe.

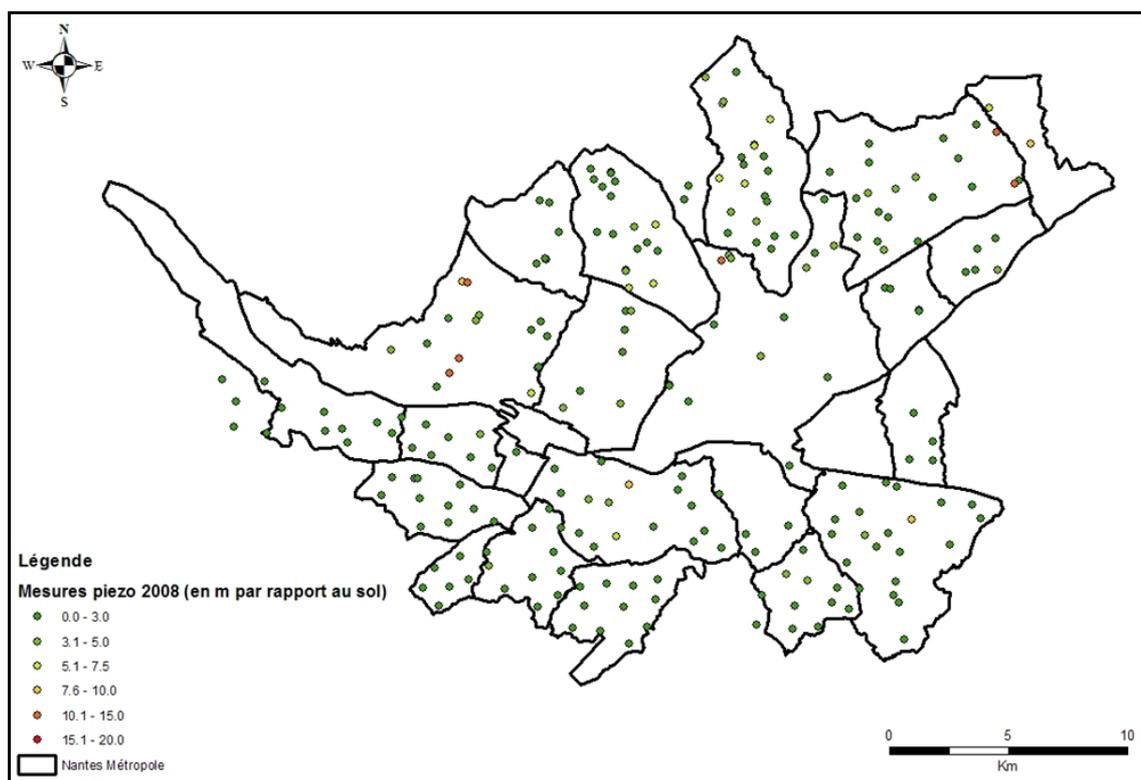


Illustration 15 : Niveaux mesurés sur le territoire de Nantes Métropole

5.3. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE ET RESULTATS OBTENUS

Trois sources de données ont été utilisées pour cartographier la surface-enveloppe des rivières pérennes :

- le réseau hydrographique pérenne issu de la BD Carthage ;
- le réseau digitalisé en 2005 sur le territoire du périphérique nantais à partir des fonds scannés 1/25 000^{ème} de l'Institut Géographique National ;
- un réseau hydrographique généré à partir du MNT de Nantes Métropole. Ce réseau a été utilisé à l'extérieur du périphérique nantais.

A partir de ces réseaux, un semis de points a été généré et renseigné à l'aide du MNT pour obtenir l'altitude des points représentatifs du réseau hydrographique pérenne. Ensuite, une analyse variographique et une interpolation par krigeage de l'altitude de ce semis de points ont été conduites. Ceci a permis d'obtenir une grille représentant l'altitude de la surface-enveloppe du réseau hydrographique pérenne.

L'étape suivante consiste alors à définir les paramètres de la relation linéaire liant « a » et « b », tels que définis par l'illustration 13

Un premier essai a été effectué, en calculant pour les points mesurés l'altitude du sol et l'altitude de la surface-enveloppe des rivières pérennes, de manière à identifier les paramètres «a» ($Z_{sol}-Z_{rivières}$) et « b » ($Z_{piézométrie}-Z_{rivières}$) (Illustration 16).

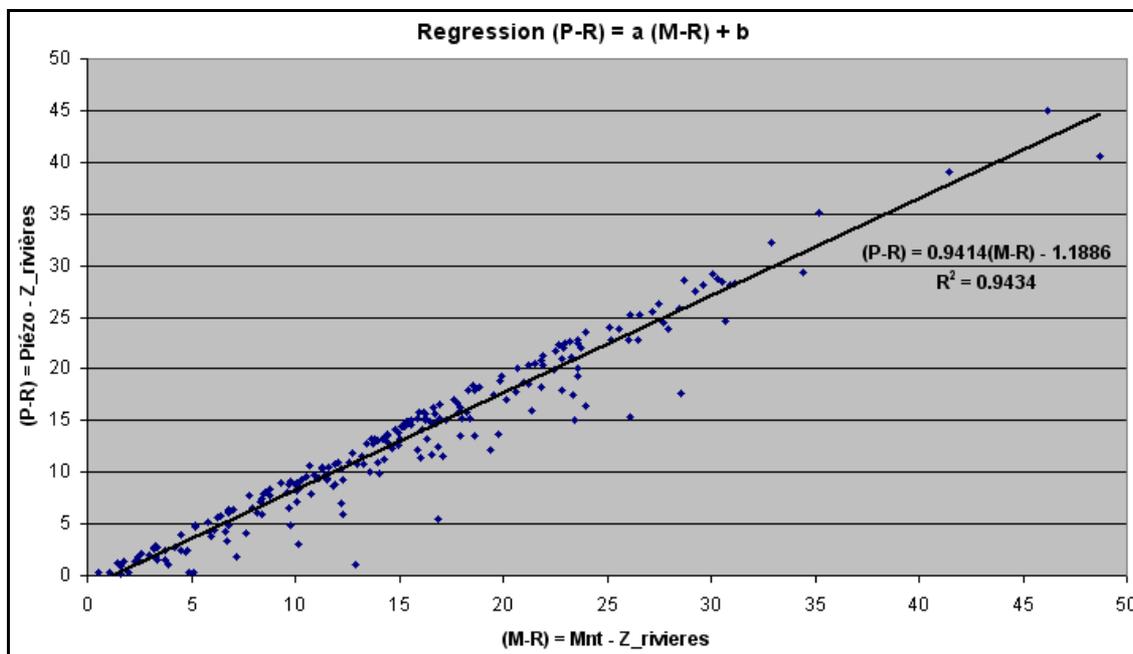


Illustration 16 : Corrélation linéaire entre le niveau piézométrique, le niveau de base des rivières et la topographie

La régression obtenue est : $(P-R) = 0.9414*(M-R) - 1.189$

Où :

- P est le niveau piézométrique ;
- M est le niveau topographique connu par le MNT au pas de 20 m ;
- R est le niveau de base des rivières.

Le coefficient de corrélation est de 0,971, la variance des résidus : 3,91, et l'écart-type des résidus = 1,98 m.

L'écart-type restant élevé, des écarts importants étaient attendus lors de l'interpolation entre la mesure effectuée sur le terrain et la représentation cartographique qui en était faite.

La méthode a donc été légèrement adaptée pour que la cartographie représente au mieux les mesures de terrain.

Cette adaptation a consisté en la réalisation d'une interpolation par krigeage avec dérivée externe. Elle est basée sur le même principe que la méthode décrite précédemment mais dont les paramètres sont évalués localement :

$$\text{PIEZ}(x) = \sum \lambda_i \text{PIEZ}(x_i) + a + b * \sum \text{TOPO}(x_i) + c * \sum \text{ZRIV}(x_i)$$

Où :

- x est le nœud de grille à calculer ;
- xi sont des nœuds de la grille situés au voisinage de x pour lesquels PIEZ(xi), TOPO(xi) et RIV(xi) sont connus ;
- TOPO(x) représente la cote topographique ;
- ZRIV(x) représente la cote du niveau de base.

Les inconnues sont les suivantes :

- λ_i = poids attribués à chaque donnée piézométrique ;
- a, b, c = coefficients de la « régression » entre PIEZ, TOPO et ZRIV.

Cette combinaison linéaire se fait en utilisant les données dans un certain voisinage autour du nœud de grille x. Les coefficients a, b et c prennent donc un sens local. Il en va de même pour les poids λ_i .

La carte de l'altitude de la surface piézométrique est présentée en annexe 2 planche 2. Elle a été obtenue à partir d'une grille de données au pas de 20 m. Cette carte représente l'altitude de la surface piézométrique sur le territoire de Nantes métropole, les éléments hors de ce système ne sont pas figurés.

L'altitude de la nappe début mars 2008 varie sur le territoire de Nantes Métropole de -95 m (au niveau des carrières) à +78 m NGF.

L'écart-type des écarts sur les 225 mesures de niveau de nappe retenues est de 0,69 m, avec une valeur médiane de ces écarts égale à 0,38 m.

La carte des écart-type de krigeage de la piézométrie est présentée en annexe 2 planche 4. Elle montre l'augmentation de l'incertitude sur le niveau de la nappe à mesure que l'on s'éloigne des points connus (mesures piézométriques ou réseau hydrographique). Cette carte présente l'information sur les incertitudes par « classe »

qualitative car la quantification (en mètres par exemple) de cette information nécessiterait des calculs extrêmement complexes (prise en compte d'enveloppes limites, etc.) et des données non disponibles dans le cadre de l'étude.

La carte de la profondeur de la nappe est obtenue par différence entre le Modèle Numérique de Terrain et l'altitude de la surface piézométrique. Elle est représentée en annexe 2 planche 3.

Début mars 2008, la nappe est subaffleurante, soit près de la surface du sol, dans et au voisinage des fonds de vallée. De même qu'en 2005, sa profondeur augmente lorsque l'on s'éloigne des exutoires (ces fonds de vallées) : cette profondeur peut atteindre une vingtaine de mètres dans l'extrémité Nord-Est de la communauté urbaine. Ceci étant, on notera que l'incertitude sur le niveau de la nappe (écart-type de krigeage) est assez élevée dans ce secteur (la profondeur maximale mesurée étant de 13,8 m, le résultat a été obtenu par extrapolation).

Enfin, le niveau de la nappe indiqué en zone alluviale, notamment dans sa partie ouest, correspond à une situation moyennée : en effet, la nappe est en lien étroit avec la Loire dans ce secteur et ses fluctuations sont donc influencées par les variations du niveau du fleuve. Celles-ci sont soumises au marnage : les variations quotidiennes peuvent donc être importantes.

Cinq ouvrages ont été mesurés en 2005 et en 2008. Tous font apparaître un niveau piézométrique de mars 2008 supérieur à celui mesuré en mars 2005 (écart maximal : 1,80 m).

Pour chacun des 107 points utilisés en 2005 pour la constitution du niveau piézométrique de basses eaux, le niveau de la nappe interpolé en 2008 a été identifié et comparé au niveau de la nappe interpolé en 2005. Plus de 75% des points présentent bien un niveau de nappe en mars 2008 supérieur ou équivalent à celui de mars 2005. La moyenne de l'écart constaté est de 0,75 m environ, avec un écart-type de 1,80 m sur la variation piézométrique. Autrement dit, la carte piézométrique réalisée en 2008 à l'intérieur du périphérique nantais présente des niveaux en moyenne plus hauts de 0,75 mètres par rapport aux niveaux de 2005.

6. Conclusion

L'étude visant à apporter une vision globale de la situation des nappes phréatiques sur l'ensemble du territoire de la communauté urbaine à l'exception de son extrémité ouest (environ 510 km²) a été menée à bien. En effet, une cartographie de la profondeur de la nappe, début mars 2008, a été réalisée sur le territoire d'étude.

La campagne de mesure des niveaux de nappe de certains points d'eau situés dans le secteur d'étude a confirmé la difficulté du recensement et de l'accessibilité des ouvrages en milieu urbain. Néanmoins, les 236 mesures effectuées ont permis d'établir une cartographie présentée dans ce rapport.

Celle-ci montre que les eaux souterraines sont peu profondes sur le territoire considéré. De plus, la période de mesure est représentative des niveaux « hauts » rencontrés usuellement sans atteindre les valeurs maximales observées sur les chroniques.

La carte issue des travaux présentés dans ce rapport constitue donc une information complètement exploitable et représentative des niveaux « hauts » susceptibles d'être rencontrés sur le territoire de la communauté urbaine (à l'exception de son extrémité ouest). Celle-ci vient donc compléter la connaissance apportée par la carte éditée suite aux travaux menés en 2004-2005, moins représentative et d'extension géographique plus limitée.

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 selon les besoins.

Annexe 1

Carte géologique simplifiée du territoire de Nantes Métropole

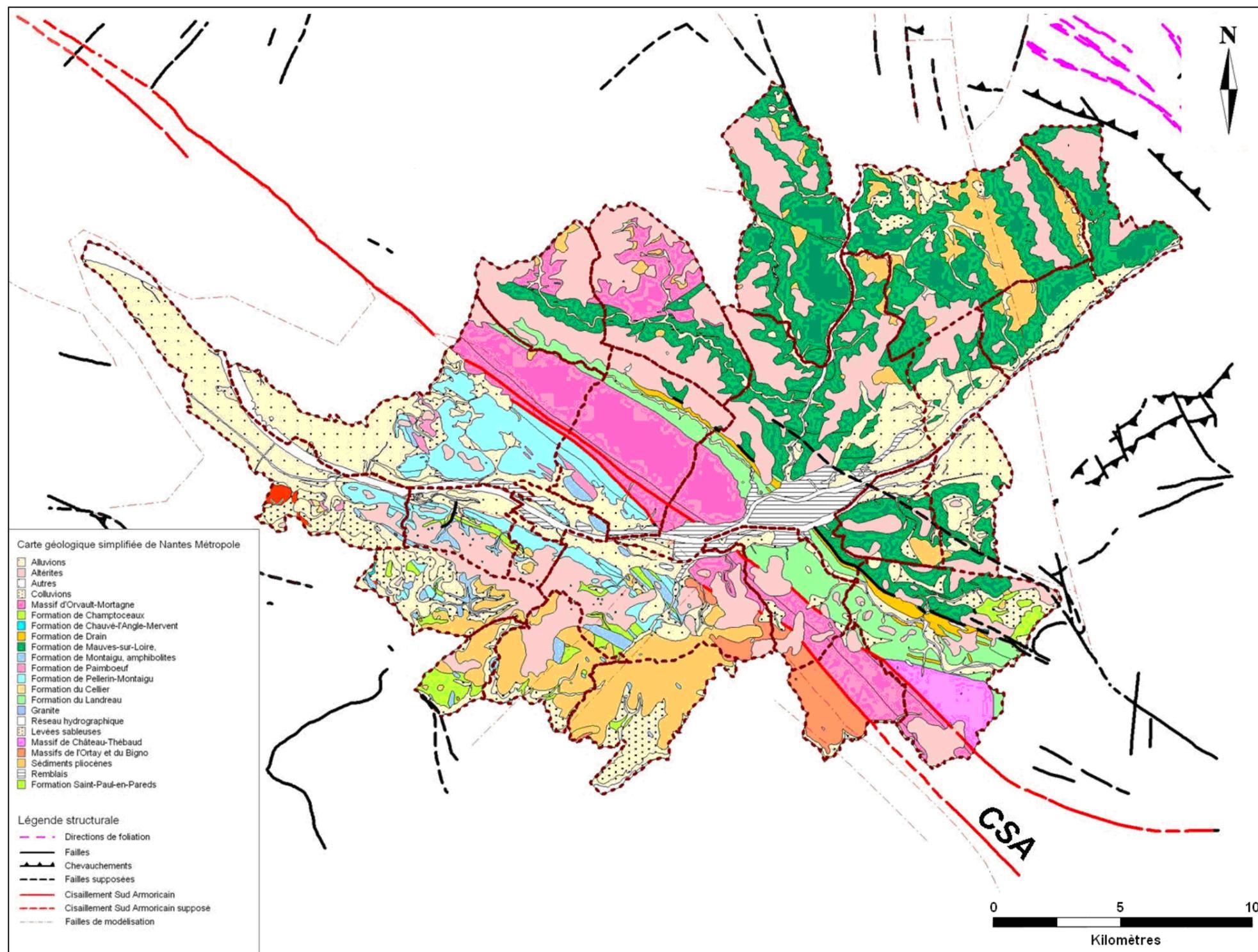


Planche 1 : Carte géologique simplifiée du territoire d'étude

Annexe 2

Résultats de l'étude

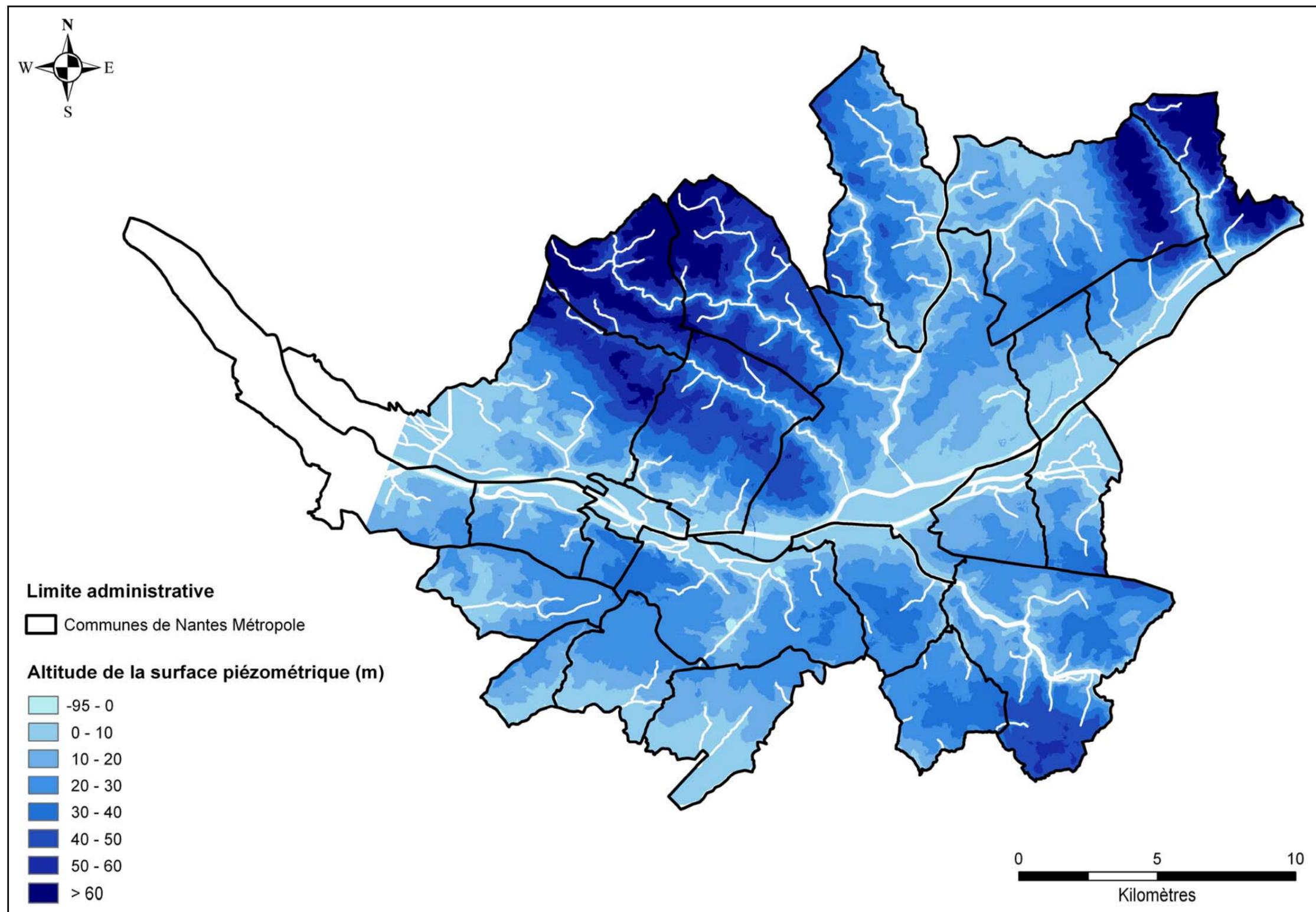


Planche 2 : Altitude de la surface piézométrique début mars 2008

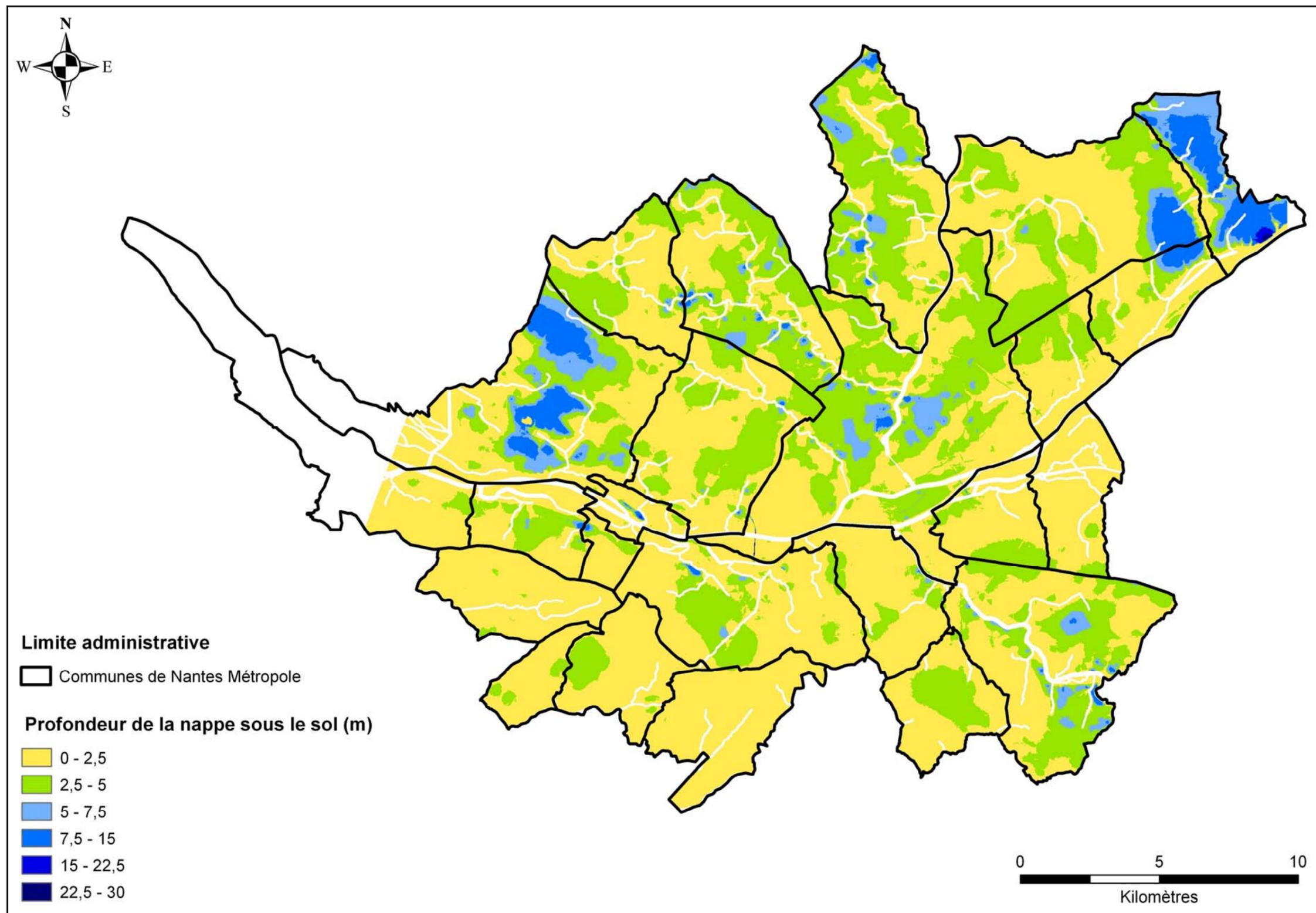


Planche 3 : Profondeur de la nappe sous le sol début mars 2008

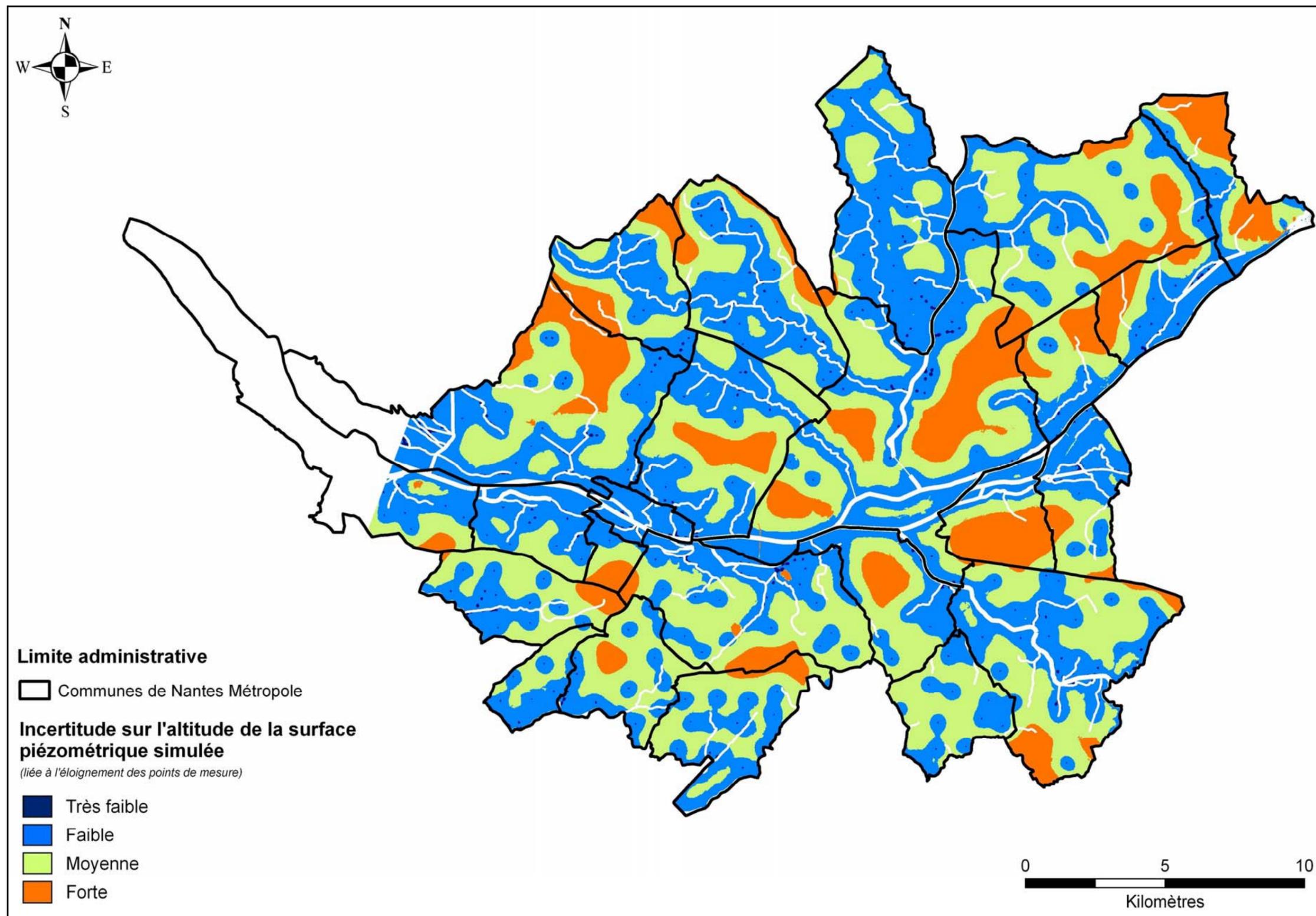


Planche 4 : Incertitude sur l'altitude de la surface piézométrique

Annexe 3

Synthèse des travaux réalisés en 2004-2005

Cette annexe a pour objectif de présenter une synthèse des résultats obtenus lors des travaux menés par le BRGM en 2004-2005 dans le cadre du projet « Profondeur des eaux souterraines sur le périmètre intérieur au périphérique nantais ». (Rapport BRGM/RP-53917-FR)

A.1 - Contexte de l'étude

A.1.1. CONTEXTE GENERAL

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

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

A.1.2. CHOIX DU SECTEUR D'ETUDE

En accord avec Nantes Métropole, les travaux avaient porté sur le territoire s'inscrivant à l'intérieur du périphérique nantais (soit environ 100 km²). Ce secteur d'étude comprenait une partie des communes d'Orvault, Saint-Herblain, Nantes, Bouguenais, Rezé, Saint-Sébastien-sur-Loire, Basse-Goulaine et Vertou (planche 5).

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

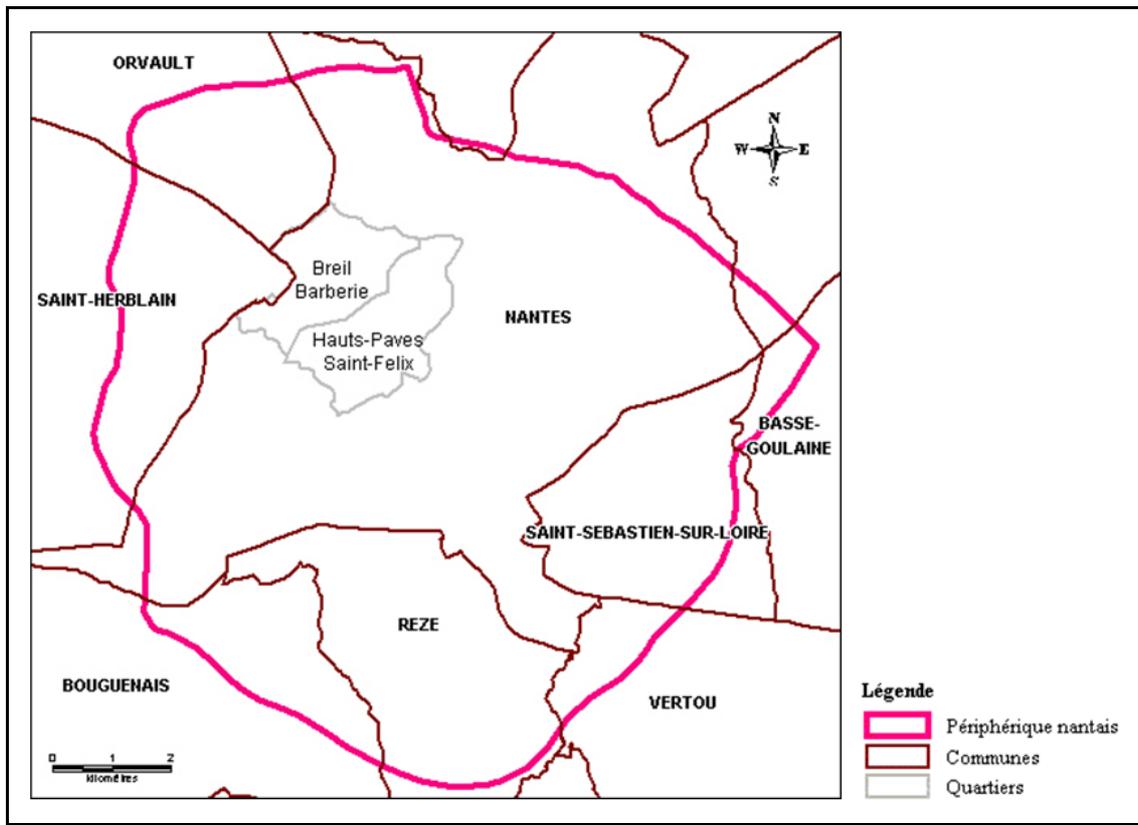


Planche 5 : Représentation de la zone d'étude

A.1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

L'intérieur du périphérique nantais est occupé 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 Armoricaïn).

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 (Planche 6).

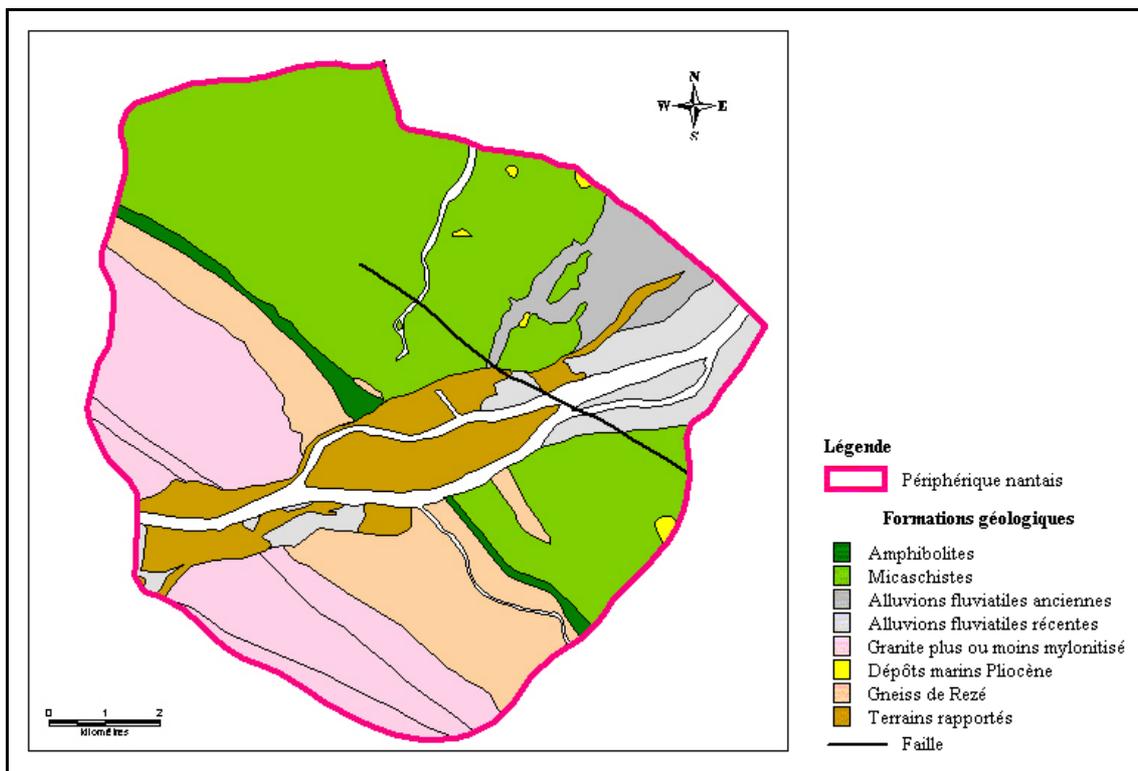


Planche 6 : Représentation de la zone d'étude

A.2 - Déroulement technique du projet

A.2.1. CHOIX DE LA PERIODE DE MESURE

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 était 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 représentaient que 0 à 30 % de la moyenne 1946-2004 (Planche 7).

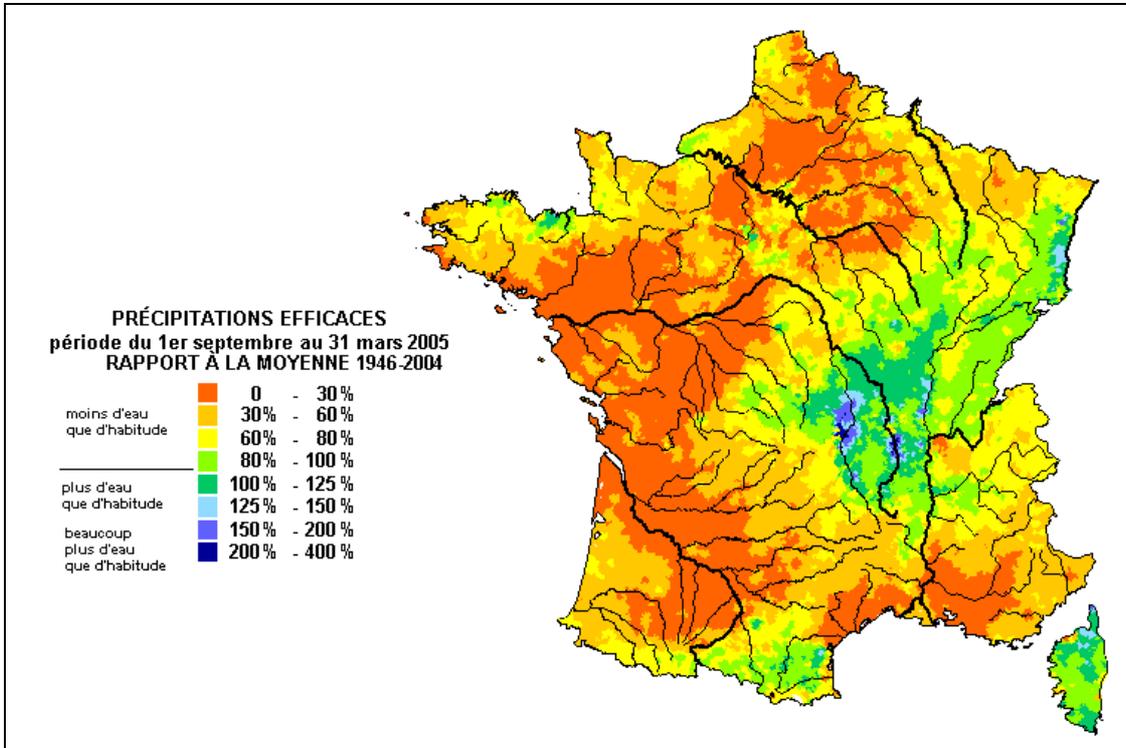


Planche 7 : Précipitations efficaces en France du 1^{er} septembre 2004 au 31 mars 2005 (source : RNDE)

En accord avec Nantes Métropole, il avait 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.

A.2.2. DEPOUILLEMENT DES DONNEES D'ARCHIVE ET REPERAGE

Rappelons qu'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. 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 consultées 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.

A.2.3. CAMPAGNE DE MESURE SUR LE TERRAIN

A.2.3.1. 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.

Les mesures ont été réalisées sur différents types d'ouvrages (puits, forage, sondages, piézomètre) appartenant principalement à des particuliers, à des entreprises ou à des collectivités territoriales.

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 inventoriés.

A.2.3.2. Résultats obtenus et problèmes rencontrés

Suite aux campagnes de terrains, 252 sites ont été visités (sur 376 potentiellement accessibles) 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

Planche 8 : 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 déjà présentées dans le rapport.

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 planche 9 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.

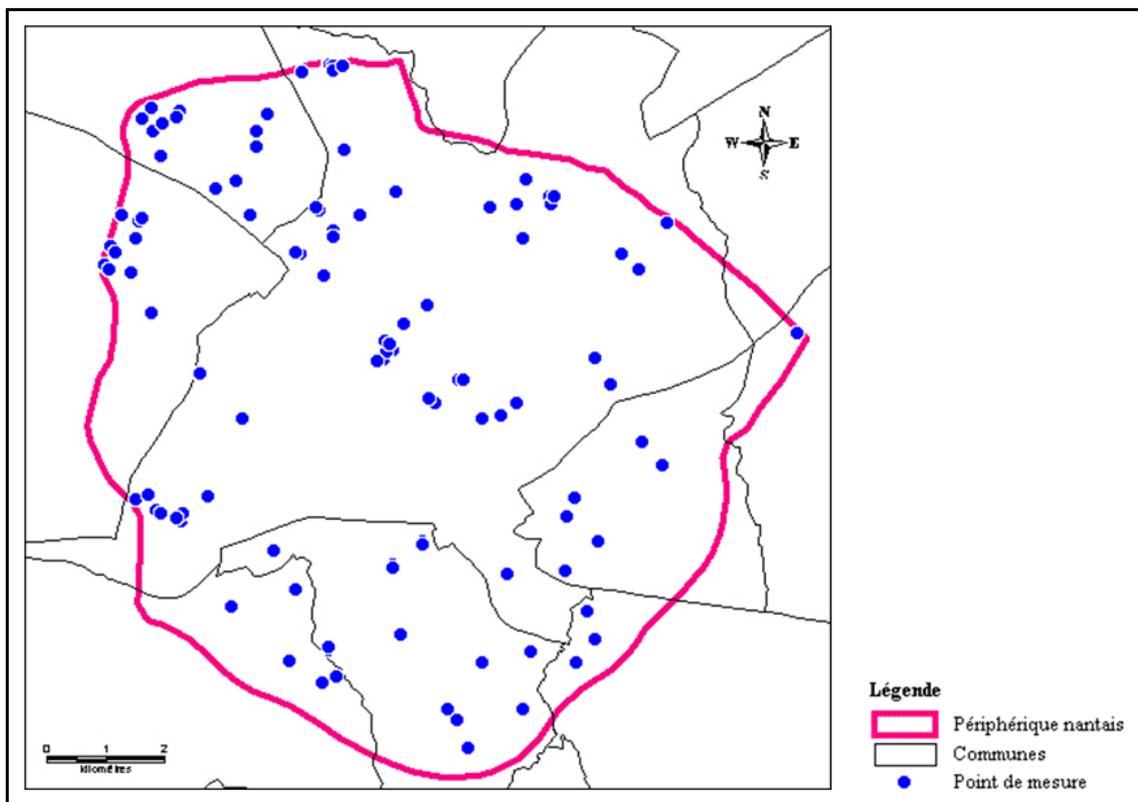


Planche 9 : Repartition des points de mesure

A.3 - Cartographie de la profondeur des eaux souterraines

La méthodologie utilisée lors des travaux menés par le BRGM en 2004-2005 dans le cadre du projet « Profondeur des eaux souterraines sur le périmètre intérieur au périphérique nantais » suivait le même principe que celle de l'étude menée en 2008.

A.3.1. CARTOGRAPHIE DE L'ALTITUDE DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE

La carte de l'altitude de la surface piézométrique (Planche 10) 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.

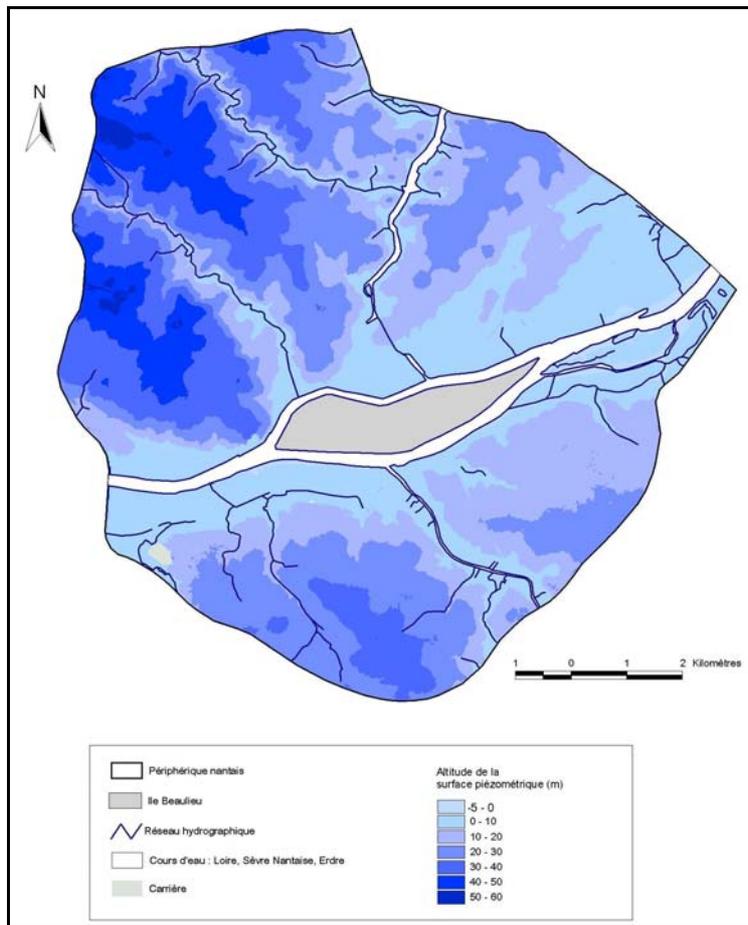


Planche 10 : Altitude de la surface piézométrique fin février – début mars 2005

L'altitude de la surface piézométrique, fin février - début mars 2005, variait entre -4,3 et 58,1 m, avec une moyenne de 18,5 m

A.3.2. 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 qui suit.

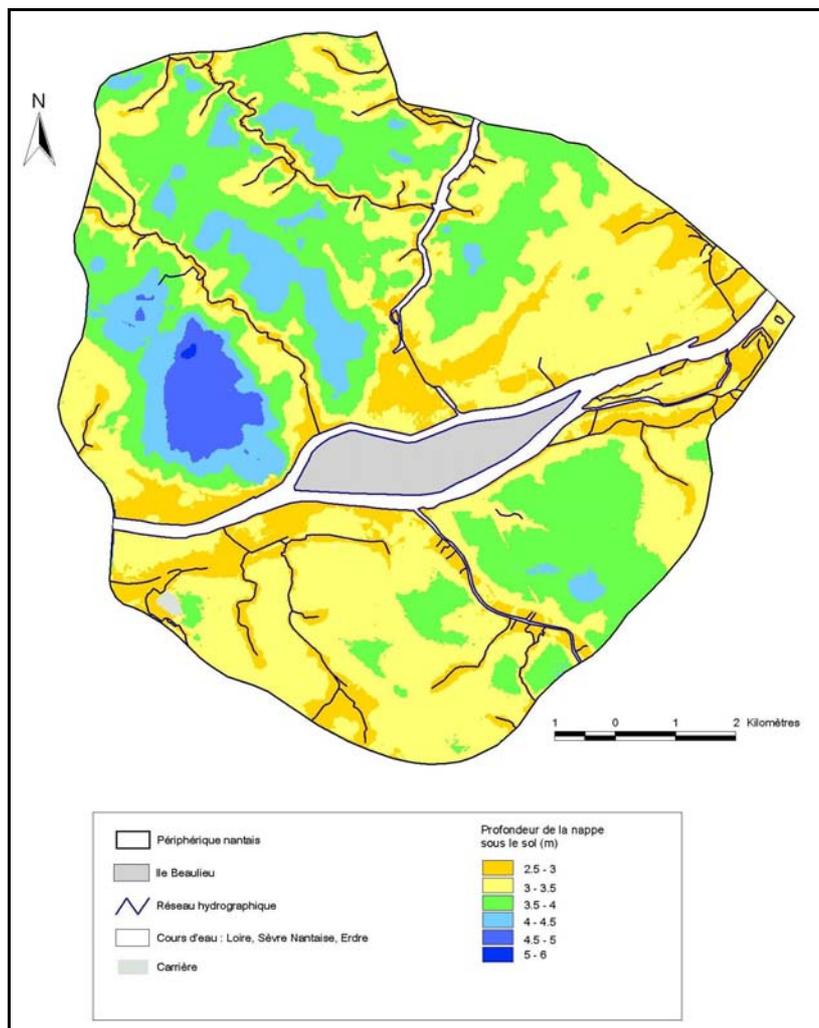


Planche 11 : Profondeur de la nappe sous le sol fin février – début mars 2005

La profondeur de la nappe, fin février - début mars 2005, variait entre 2,5 et 5,7 m, avec une moyenne de 3,4 m.

A.3.3. CARTOGRAPHIE DE L'INCERTITUDE SUR L'ALTITUDE DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE

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 12.

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.

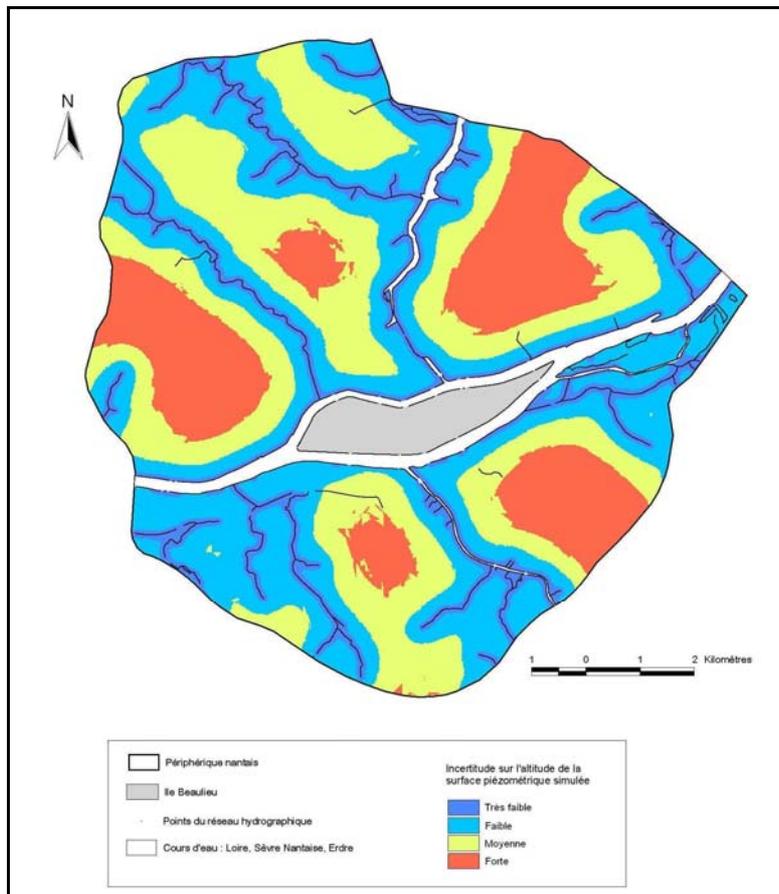


Planche 12 : Incertitude sur l'altitude de la surface piézométrique

A.3.4. REMARQUES

Au niveau de la carrière des Pontreaux, au Sud-Ouest de la zone d'étude, l'altitude de la surface piézométrique est faussée. 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.

A.3.5. ZOOM SUR LES QUARTIERS NANTAIS

En raison des nombreux problèmes rencontrés sur les quartiers Haut Pavés - St-Félix et Breil Barberie, il était également prévu de travailler plus particulièrement 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-sols, 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 13.

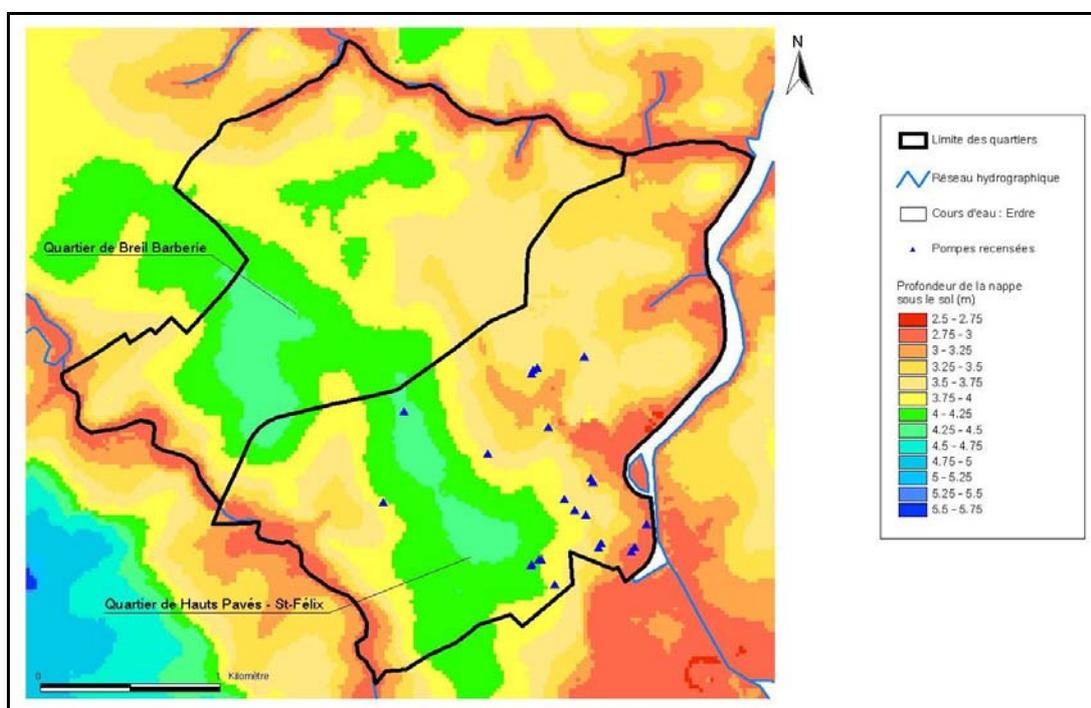


Planche 13 : Profondeur de la nappe sous le sol des quartiers Haut Pavés - St-Félix et Breil Barberie fin février – début mars 2005

Sur les deux quartiers, la profondeur de la nappe, en fin d’hiver 2005, variait entre 2,5 et 4,5 m.

Cependant, sur cette carte sont positionnés 23 pompes recensées sur le quartier de Haut Pavés - St-Félix qui peuvent entraîner localement par pompage une diminution de la profondeur de la nappe. 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 planche 14.

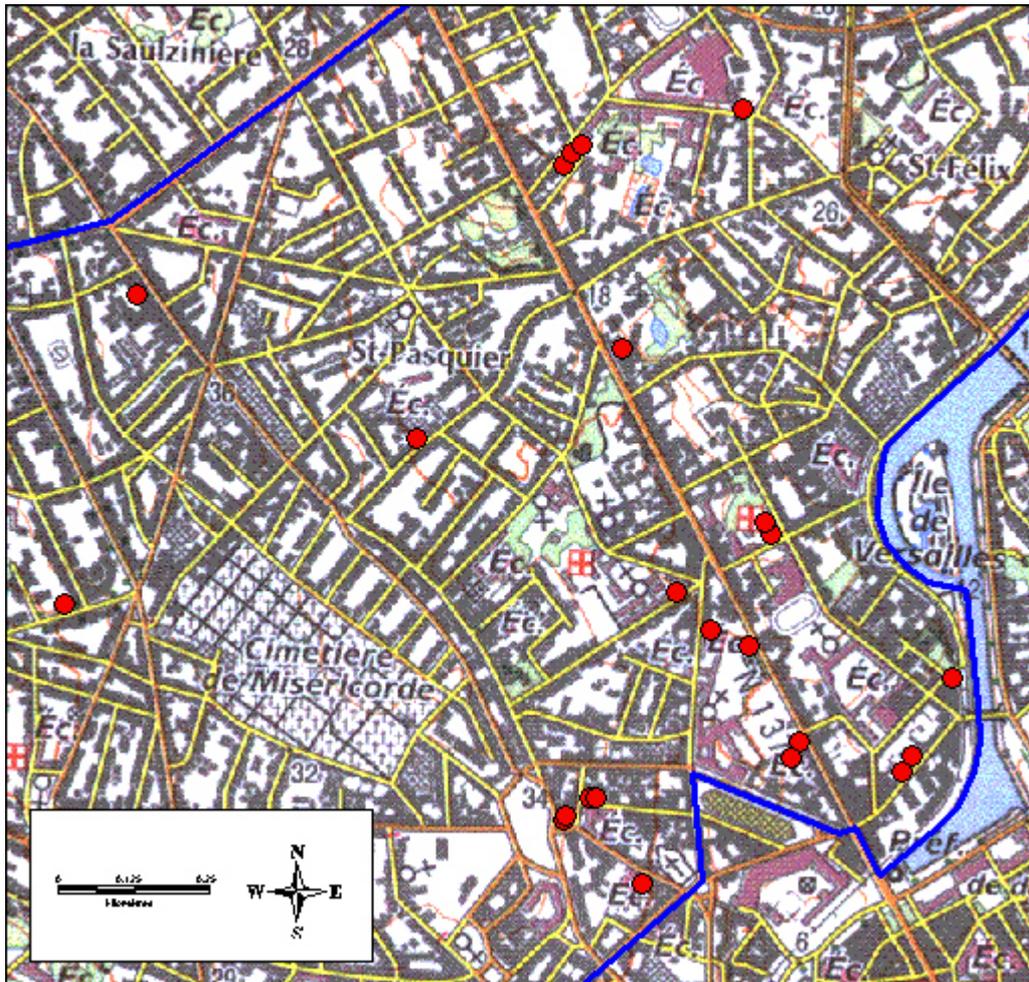


Planche 14 : Localisation des pompes sur le quartier St-Félix - Hauts Pavés

A - Conclusion

L'étude menée en 2004-2005 a apporté une vision globale de la situation des nappes phréatiques sur une portion du territoire de la communauté urbaine. 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.

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.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
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