

[illegible]

Août 2012

Délimitation des bassins d'alimentation des captages AEP prioritaires de la Loire-Atlantique et cartographie de leur vulnérabilité

Rapport final

BRGM/-RP-61442-FR
Août 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 11EAUK78

P. Chrétien

Vérificateur :

Nom : E. Rouxel

Date : 23 août 2012



Approbateur :

Nom : P. Conil

Date : 23 août 2012



En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : bassin d'alimentation, captage, captage prioritaire, Grenelle, BAC, alimentation en eau potable, vulnérabilité, pollution diffuse, Loire-Atlantique, Pays-de-la-Loire.

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

Chrétien P. (2012) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages AEP prioritaires de la Loire-Atlantique et cartographie de leur vulnérabilité. Rapport final. BRGM/RP-61442-FR, 126 p., 42 ill., 7 tab., 7 ann.

Synthèse

Dans le cadre de ses actions d'appui technique aux services de l'état en charge de la police de l'eau pour la région Pays-de-la-Loire, le BRGM a été sollicité en 2009 par la Mission Inter-services de l'Eau de Loire-Atlantique (MISE 44) pour délimiter trois bassins d'alimentation de captages (BAC) pour l'alimentation en eau potable (AEP) et cartographier leur vulnérabilité face aux pollutions agricoles. Il s'agit des BAC des communes de Machecoul (deux puits et deux forages dans la nappe des calcaires gréseux du Lutétien), Nort-sur-Erdre (deux forages dans la nappe superficielle des sables du Pliocène et deux forages dans la nappe profonde des calcaires de l'Oligocènes) et Saffré (deux forages dans les calcaires de l'Oligocène).

Cette demande de la MISE 44 s'inscrit dans la mise en œuvre du dispositif de protection de la ressource vis-à-vis des pollutions diffuses d'origine agricole introduit par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30/12/2006, qui répond aux exigences de la Directive cadre sur l'eau (DCE).

Les travaux du BRGM s'appuient sur le guide méthodologique national de septembre 2007 « Délimitation des bassins d'alimentation de captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses¹ ».

- Le BAC de Machecoul proposé par le BRGM a une superficie de 7,19 km² (719 ha). 67,4 % du BAC ont une vulnérabilité élevée (485 ha), 17,3 % du BAC ont une vulnérabilité modérée (124 ha), 15,3 % du BAC ont une vulnérabilité faible (110 ha).
- Le BAC de Nort-sur-Erdre proposé par le BRGM a une superficie de 29,68 km² (2 968 ha). 2,2 % du BAC ont une vulnérabilité très élevée ; 35,9 % du BAC ont une vulnérabilité élevée ; 7,1 % du BAC ont une vulnérabilité modérée ; 54,8 % du BAC ont une vulnérabilité faible.
- Le BAC de Saffré proposé par le BRGM a une superficie de 84,60 km² (8 460 ha). 0,8 % du BAC ont une vulnérabilité très élevée ; 6,8 % du BAC ont une vulnérabilité élevée ; 32,2 % ont une vulnérabilité modérée ; 4,4 % ont une vulnérabilité faible ; 55,7 % ont une vulnérabilité très faible.

¹ Vernoux *et al.*, rapport BRGM/RP-55874-FR

Sommaire

1. Introduction	11
2. Éléments de méthodologie	13
2.1. NOTION DE BASSIN D'ALIMENTATION D'UN CAPTAGE	13
2.2. NOTION D'AIRE D'ALIMENTATION DE CAPTAGE	16
2.3. OUTIL POUR LA DÉTERMINATION DES COURBES ENVELOPPES DE LA PORTION DE NAPPE ALIMENTANT LE CAPTAGE.....	17
2.4. COHÉRENCE AVEC LES PÉRIMÈTRES DE PROTECTION	17
2.5. CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ	17
3. Captages de Machecoul	19
3.1. DOCUMENTS CONSULTÉS.....	19
3.2. CONTEXTES	20
3.2.1. Hydrographie.....	20
3.2.2. Géologie.....	22
3.2.3. Hydrogéologie	22
3.3. DESCRIPTION DES OUVRAGES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE	25
3.3.1. Puits 05078X0003/P3.....	25
3.3.2. Puits 05078X0033/P7.....	26
3.3.3. Forages 05078X0088/P11 et 05078X0089/P12	26
3.4. DÉLIMITATION DU BASSIN D'ALIMENTATION DES CAPTAGES	26
3.4.1. Détermination des cônes d'appel des captages	26
3.4.2. Piézométrie	26
3.4.3. Ruissellement (contribution indirecte à la nappe)	29
3.4.4. Cohérence avec les périmètres de protection des captages.....	29
3.5. CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA VULNÉRABILITÉ.....	31
3.5.1. Type d'aquifère	31
3.5.2. Paramètres pris en compte	32
3.6. CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES	33
3.6.1. Pluies efficaces	35

3.6.2. Couverture pédologique protectrice	35
3.6.3. Infiltration.....	36
3.6.4. Épaisseur de la zone non saturée (ZNS)	37
3.6.5. Perméabilité	38
3.7. ANALYSE MULTICRITÈRES – NOTE DE VULNÉRABILITÉ	39
4. Captages de Nort-sur-Erdre.....	41
4.1. DOCUMENTS CONSULTÉS.....	41
4.2. CONTEXTES	42
4.2.1. Hydrographie.....	42
4.2.2. Géologie.....	42
4.2.3. Hydrogéologie	45
4.3. DESCRIPTION DES OUVRAGES DE PRODUCTION D’EAU POTABLE	51
4.3.1. Nappe superficielle des sables pliocènes	51
4.3.2. Nappe profonde des calcaires oligocènes	52
4.3.3. Conditions d’exploitation.....	54
4.4. DÉLIMITATION DES BASSINS D’ALIMENTATION DES CAPTAGES	54
4.4.1. Limites occidentale et septentrionale du BAC sur les formations géologiques du Massif armoricain	55
4.4.2. Limite méridionale du BAC dans les sables pliocènes	55
4.4.3. Limite orientale du BAC.....	55
4.4.4. Cohérence avec les périmètres de protection des captages.....	57
4.5. CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA VULNÉRABILITÉ.....	57
4.5.1. Type d’aquifère.....	57
4.5.2. Paramètres pris en compte.....	58
4.6. CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES HORS ZONE DE SOCLE.....	58
4.6.1. Pluies efficaces	58
4.6.2. Couverture pédologique protectrice	58
4.6.3. Infiltration.....	61
4.6.4. Épaisseur de la zone non saturée (ZNS)	61
4.6.5. Perméabilité	62
4.7. ANALYSE MULTICRITÈRES – NOTE DE VULNÉRABILITÉ	62
5. Captages de Saffré.....	65
5.1. DOCUMENTS CONSULTÉS.....	65

5.2. CONTEXTES	66
5.2.1. Hydrographie.....	66
5.2.2. Géologie.....	66
5.2.3. Hydrogéologie	71
5.3. DESCRIPTION DES OUVRAGES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE	73
5.4. BASSINS D'ALIMENTATION DES CAPTAGES.....	75
5.5. CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA VULNÉRABILITÉ.....	79
5.5.1. Type d'aquifère	79
5.5.2. Paramètres pris en compte dans le bassin sédimentaire.....	79
5.5.3. Paramètres pris en compte dans la zone où le socle affleure	80
5.6. CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES DU BASSIN TERTIAIRE	80
5.6.1. Roche.....	80
5.6.2. Infiltration - pentes.....	82
5.6.3. Couverture pédologique	82
5.6.4. Karstification.....	82
5.7. ANALYSE MULTICRITÈRES – NOTE DE VULNÉRABILITÉ DU BASSIN TERTIAIRE	83
6. Conclusion	85
7. Bibliographie	87

Liste des illustrations

Illustration 1 : carte de situation dans le département de la Sarthe des trois communes concernées par l'étude.....	11
Illustration 2 : définition du bassin d'alimentation du captage (in Bussard, 2005)	14
Illustration 3 : bassin hydrogéologique et bassin d'alimentation dans un cas simple (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007).....	15
Illustration 4 : cas où la surface entre crêtes topo et piézo est imperméable (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007)	15
Illustration 5 : cas d'une nappe captive (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007)	16
Illustration 6 : carte topographique de la région de Machecoul (© IGN).....	20
Illustration 7 : carte géologique du bassin tertiaire de Machecoul	21
Illustration 8 : carte hydrogéologique du bassin tertiaire de Machecoul	23

Illustration 9 : variations piézométriques de la nappe des calcaires gréseux du Lutétien à la Croix Besseau.....	25
Illustration 10 : zones d'appel et isochrones des ouvrages de production de Machecoul	27
Illustration 11 : carte piézométrique hautes eaux de la nappe de Machecoul (à partir de SAFEGE, 2009)	28
Illustration 12 : périmètres de protection des captages AEP de Machecoul, mai 2010	30
Illustration 13 : Bassin d'alimentation des captages AEP de Machecoul	31
Illustration 14 : zone non saturée d'un aquifère	33
Illustration 15 : discrétisation du BAC de Machecoul	34
Illustration 16 : reboisement du secteur « les Rivières » / « la Clartière »	36
Illustration 17 : valeur moyenne de l'IDPR par entité géologique sur le BAC de Conlie	37
Illustration 18 : interpolation des isopièzes hautes eaux de la nappe des calcaires du Lutétien (d'après Safege, 2009)	38
Illustration 19 : cartographie de la vulnérabilité du BAC de Machecoul (discrétisation maillée du BAC).....	39
Illustration 20 : cartographie de la vulnérabilité du BAC de Machecoul	40
Illustration 21 : coupe et log géologiques du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre (Lithologic)	42
Illustration 22 : carte topographique du secteur de Nort-sur-Erdre (© IGN).....	43
Illustration 23 : carte géologique du secteur de Nort-sur-Erdre.....	44
Illustration 24 : chronique piézométrique des calcaires oligocènes du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre	46
Illustration 25 : chronique piézométrique des sables pliocènes du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre	47
Illustration 26 : carte hydrogéologique et structurale du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre	49
Illustration 27 : log géologique validé du forage 04514X0013.....	53
Illustration 28 : log géologique validé du forage 04514X0016/PB11	54
Illustration 29 : bassin d'alimentation des captages du Plessis-Pas-Brunet (Nort-sur-Erdre)	56
Illustration 30 : carte des sols du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre	59
Illustration 31 : cartographie de la vulnérabilité du BAC de Nort-sur-Erdre (discrétisation maillée du BAC)	63
Illustration 32 : cartographie de la vulnérabilité du BAC de Nort-sur-Erdre	64
Illustration 33 : hydrographie et relief de la région de Saffré.....	66
Illustration 34 : carte géologique de la région de Saffré	69
Illustration 35 : carte géologique du bassin tertiaire de Saffré	70
Illustration 36 : carte hydrogéologique de la région de Saffré (source BDLISA).....	71

Illustration 37 : carte de répartition des fontis sur la commune de Saffré (in BRGM/RP-58502-FR, source SIAEP de la région de Nort-sur-Erdre et mairie de Saffré).....	73
Illustration 38 : implantation des forages de la Chutenaie, Saffré	75
Illustration 39 : bassin d'alimentation des captages de Saffré.....	77
Illustration 40 : vulnérabilité de la zone de socle du BAC de Saffré	81
Illustration 41 : cartographie de la vulnérabilité discrétisée par mailles du BAC de Saffré	83
Illustration 42 : cartographie de la vulnérabilité du BAC de Saffré	84

Liste des tableaux

Tableau 1 : piézomètres du réseau de suivi quantitatif de Loire-Atlantique implantés à Machecoul.....	24
Tableau 2 : paramètres pris en compte dans le calcul de la note de vulnérabilité d'un système aquifère continu	32
Tableau 3 : classification des paramètres pour le calcul de la vulnérabilité d'un système aquifère continu (in Guide méthodologique BRGM/RP-55874-FR).....	33
Tableau 4 : classification du critère sol (in Guide méthodologique BRGM/RP-55874-FR)	34
Tableau 5 : 19 types de sols ont été inventoriés sur le bassin de Nort-sur-Erdre	60
Tableau 6 : caractéristiques des forages F1 et F2 (Géoarmor, 2004).....	74
Tableau 7 : paramètres pris en compte dans le calcul de la note de vulnérabilité d'un système aquifère discontinu karstique	79

Liste des annexes

Annexe 1 Lettre de mission de la MISE 44.....	89
Annexe 2 Coupe technique du forage 05087X0033/P7 (Machecoul)	93
Annexe 3 Notation des paramètres pris en compte pour le calcul de la vulnérabilité du BAC de Machecoul	97
Annexe 4 Coupes techniques des ouvrages de Nort-sur-Erdre	103
Annexe 5 Notation des paramètres pris en compte pour le calcul de la vulnérabilité du BAC de Nort-sur-Erdre	109
Annexe 6 Coupes techniques des ouvrages de Saffré.....	115
Annexe 7 Notation des paramètres pris en compte pour le calcul de la vulnérabilité du BAC de Saffré	119

régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement des Pays de la Loire (DREAL), le Conseil général de Loire-Atlantique (CG 44), le Syndicat départementale d'alimentation en eau potable de Loire-Atlantique (SDAEP 44), la Chambre d'agriculture de Loire-Atlantique (CA 44). Les propositions du BRGM quant aux délimitations des BAC et cartographies de leur vulnérabilité ont été validées par la MISE en novembre 2010.

Ultérieurement, à la fin de l'année 2011, la MISE 44 a souhaité que le BRGM rédige un rapport détaillant la méthode employée pour parvenir à ces résultats. C'est l'objet du présent rapport : nous y présentons la délimitation des BAC réalisée par le BRGM et la cartographie de leur vulnérabilité.

2. Éléments de méthodologie

Les éléments qui suivent proviennent du rapport BRGM/RP-55332-FR (Vernoux *et al.*, 2007), auquel le lecteur pourra se référer pour plus de détails.

2.1. NOTION DE BASSIN D'ALIMENTATION D'UN CAPTAGE

Le bassin hydrogéologique d'un aquifère ou bassin versant souterrain est la partie d'un aquifère, simple ou complexe, dans laquelle les eaux souterraines s'écoulent vers un même exutoire ou groupe d'exutoires ; il est délimité par une ligne de partage des eaux souterraines qui, à l'encontre de celle des bassins de surface, peut-être migrante. C'est l'homologue souterrain d'un bassin versant pour les eaux de surface (Castany et Margat, 1977).

À l'instar du bassin versant topographique, le bassin versant hydrogéologique correspond au domaine souterrain dans lequel les écoulements convergent vers un point bas appelé exutoire (la source, les captages). C'est donc à la surface de la nappe souterraine (surface piézométrique) que l'on se réfère pour calculer les pentes et le contour des bassins versants hydrogéologiques. Le bassin versant ainsi défini peut ne pas être confondu avec le bassin versant de surface. En effet, la forme de la surface piézométrique ne dépend pas seulement de la localisation des zones d'infiltration, mais également de la distribution des perméabilités, de la forme des couches imperméables qui constituent la base de la nappe pour les nappes libres et de la répartition des pressions (ou charge) pour les nappes captives ; le principe de base de l'écoulement souterrain est qu'il se dirige des charges les plus élevées vers les charges les plus faibles (*i.e.* dans le sens des potentiels décroissants).

Dans un bassin versant souterrain, on peut définir une portion de nappe d'eau souterraine alimentant le captage (PNAC) : elle représente l'ensemble des particules d'eau située en un endroit de la zone saturée qui termineront leur course dans le captage (premier schéma de l'illustration 2).

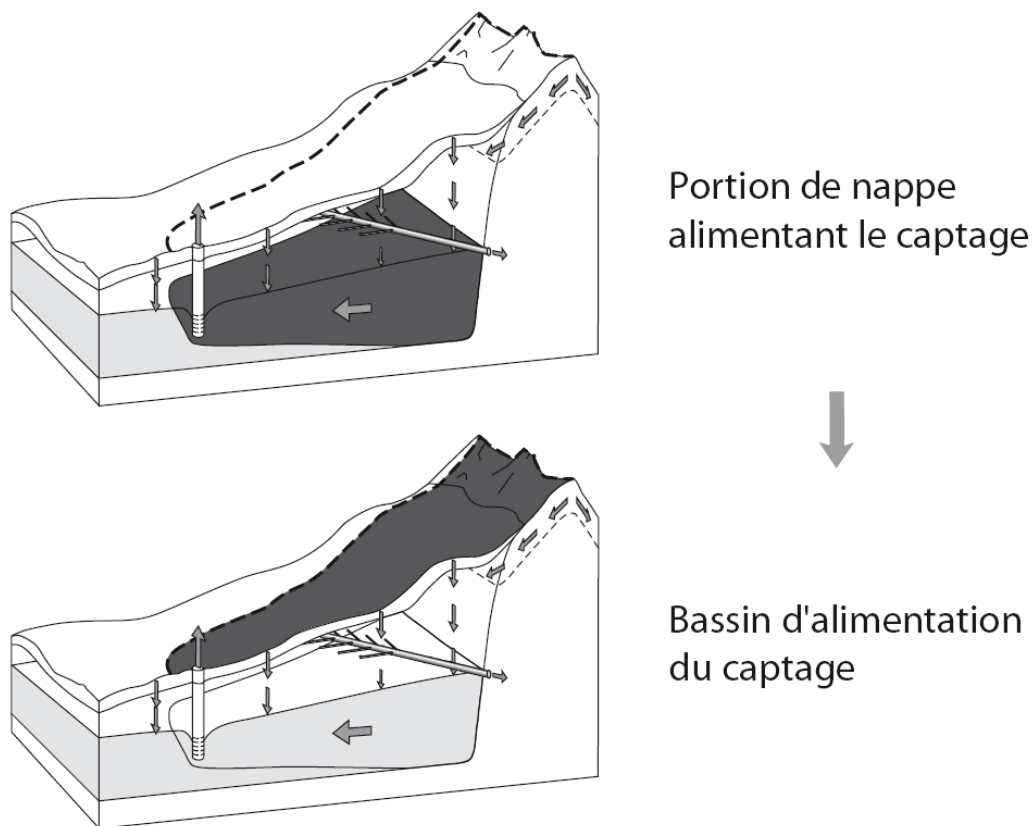


Illustration 2 : définition du bassin d'alimentation du captage (in Bussard, 2005)

Le bassin d'alimentation d'un captage (BAC) est le lieu des points de la surface du sol qui contribuent à l'alimentation du captage (second schéma de l'illustration 2). Dans les cas simples, le BAC concerne un seul aquifère et correspond à la projection en surface de la portion de nappe alimentant le captage. C'est ce que montre l'illustration 3, cette dernière présentant une surface infiltrante entre la crête topographique et la crête piézométrique. Si cette surface était imperméable, le BAC serait plus réduit et à l'inverse le bassin d'alimentation de la source serait plus étendu (Illustration 4). Dans la pratique une surface étant rarement totalement ruisselante ou infiltrante, la zone située entre la crête topographique et la crête piézométrique devrait être prise en compte pour les deux bassins, les deux BAC ayant alors une partie commune.

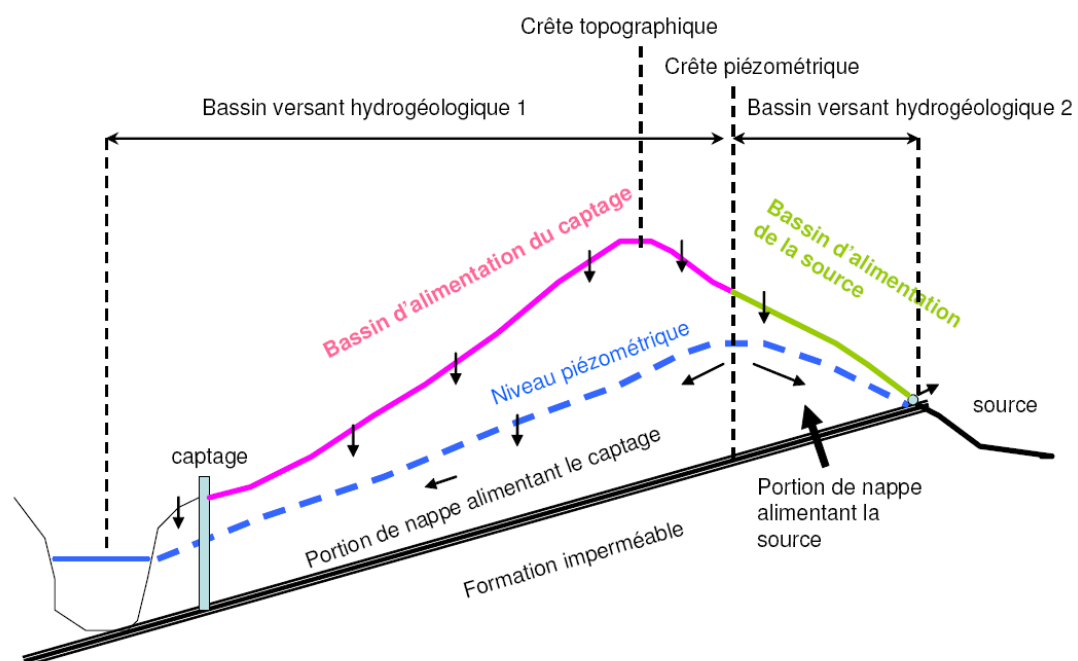


Illustration 3 : bassin hydrogéologique et bassin d'alimentation dans un cas simple (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007)

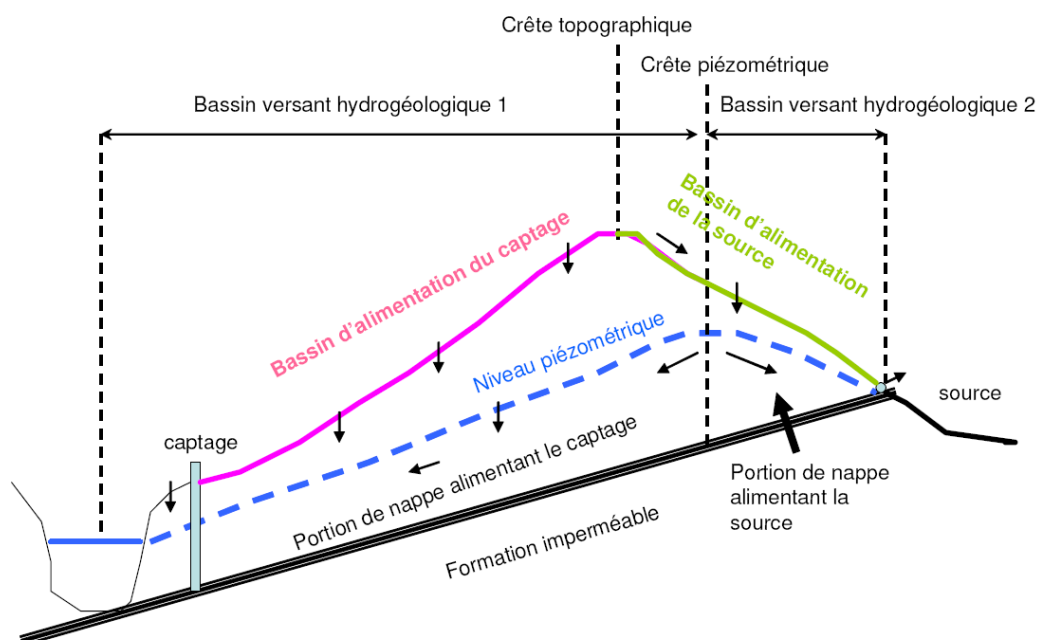


Illustration 4 : cas où la surface entre crêtes topo et piézo est imperméable (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007)

De même, toute frontière basée sur une crête piézométrique doit être considérée comme une zone plus ou moins large et non comme une ligne de partage. En effet, la position de la crête piézométrique varie dans le temps selon les contraintes climatiques ou les influences des captages qui sollicitent la nappe. En outre, les crêtes piézométriques ne sont jamais abruptes : il s'agit d'un replat par lequel une ligne de partage est un tracé très arbitraire. Il est donc possible de considérer que des BAC puissent se superposer localement.

Signalons que le BAC peut-être de dimension plus réduite que le bassin versant de surface si la nappe est captive (Illustration 5). Dans ce cas, il peut arriver qu'une zone à proximité du captage ne participe pas à son alimentation. Dans une telle situation, il est essentiel de s'assurer que l'homme n'a pas détérioré la bonne protection naturelle dont bénéficie la ressource en eau, au travers par exemple de forages de mauvaise conception.

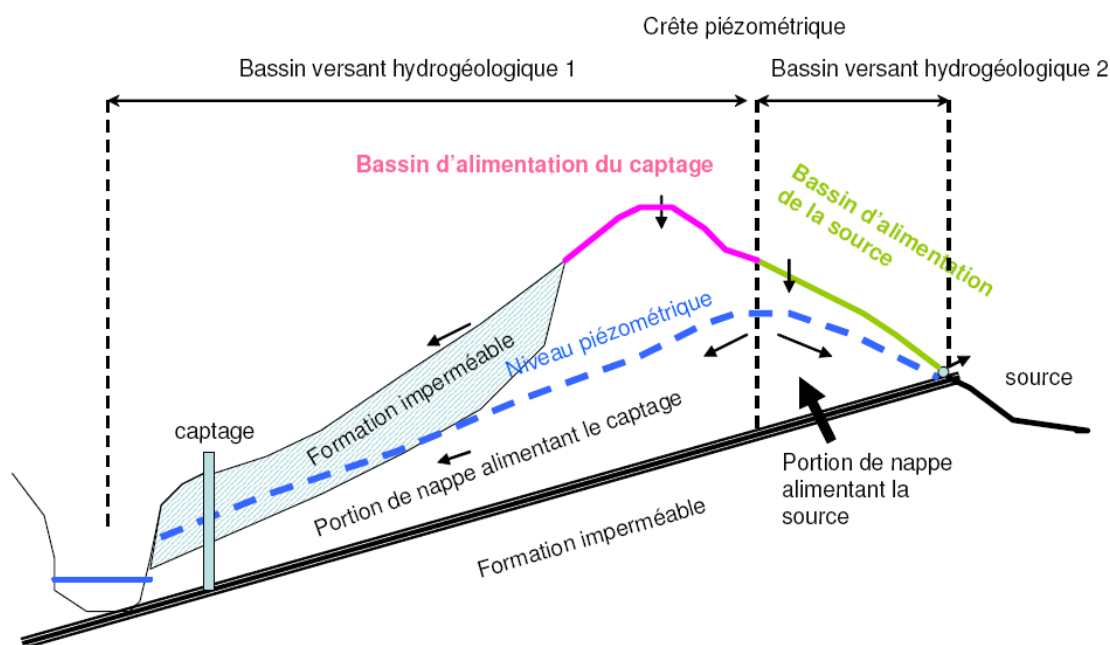


Illustration 5 : cas d'une nappe captive (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007)

2.2. NOTION D'AIRE D'ALIMENTATION DE CAPTAGE

Pour ce qui concerne les eaux souterraines, il convient de considérer que les notions de « bassin d'alimentation de captages » et d'aires d'alimentation de captages sont équivalentes.

2.3. OUTIL POUR LA DÉTERMINATION DES COURBES ENVELOPPES DE LA PORTION DE NAPPE ALIMENTANT LE CAPTAGE

Ces courbes enveloppes sont générées à partir d'une approche statistique – dite de Monte-Carlo – basée sur un grand nombre de valeurs pour le jeu de paramètres considérés dans le calcul de la PNAC². L'approche est basée sur un écoulement unidirectionnel en domaine captif. L'équation analytique utilisée découle de celles de Bear et Jacob.

L'outil calcule 5000 valeurs de transmissivité (T) de façon aléatoire entre deux bornes fixées par l'utilisateur. À partir de là, il calcule les coordonnées des points de la courbe enveloppe (X, Y et R pour différentes valeur de θ) pour chaque T, à partir de la localisation du captage AEP (dont les coordonnées sont fournies par l'utilisateur). La direction de l'écoulement régional est introduite et les résultats sont fournis sous forme de points de coordonnées métriques.

Les données à fournir par l'utilisateur sont :

- les bornes mini et maxi de la transmissivité ;
- le gradient hydraulique en régime naturel ;
- la valeur du débit de pompage (en $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$) ;
- l'angle fait par l'écoulement régional avec un axe est-ouest ;
- les coordonnées cartésiennes métriques du captage d'eau potable ;
- le cas échéant, le coefficient de dispersion pris en compte ;
- les angles θ pour lesquels les coordonnées des points des courbes enveloppes sont calculées.

La zone d'appel d'extension maximale est obtenue pour le débit de pompage maximal et la transmissivité minimale.

2.4. COHÉRENCE AVEC LES PÉRIMÈTRES DE PROTECTION

Il importe d'assurer la cohérence entre la délimitation du BAC et la délimitation des périmètres de protection. Ces derniers, y compris le périmètre de protection éloigné, doivent être inclus dans le BAC.

2.5. CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ

La cartographie et la hiérarchisation de la vulnérabilité du bassin d'alimentation de captage reposent sur une analyse multicritères. Les critères (ou paramètres) retenus dépendent du type d'aquifère (aquifère continu, aquifère discontinu fissuré ou aquifère discontinu karstique). Ils ont été repris de méthodes existantes et adaptées à la problématique de la protection des captages vis-à-vis des pollutions diffuses. L'analyse

² PNAC : portion de nappe alimentant le captage

de la vulnérabilité se limite à la vulnérabilité intrinsèque, indépendante du type de polluant.

À chaque paramètre est attribuée une note (comprise entre 0 et 4) et un coefficient de pondération. La note attribuée à chaque paramètre est distribuée spatialement sur le bassin d'alimentation du captage. La valeur de vulnérabilité intrinsèque résulte de la moyenne pondérée des notes de paramètres dans chaque maille.

Aucune des méthodes pour évaluer la vulnérabilité intrinsèque n'est parfaite. Il convient donc d'insister sur le caractère empirique de la définition des paramètres de vulnérabilité, qui peuvent de ce fait être soumis à discussion. S'agissant des résultats présentés ici, la méthode de travail proposée par la Direction Départementale des Territoires et de la Mer de Loire-Atlantique (DDTM 44) comprenait la formation d'un groupe de travail constitué de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB), du Conseil général de Loire-Atlantique (CG44), du BRGM et de la DDTM 44. Les principaux résultats du travail réalisé par le BRGM (méthodologie, délimitation du BAC, cartographie de la vulnérabilité) ont été présentés à ce groupe de travail et à la MISE à mesure que l'étude avançait et ont fait l'objet de discussions avant d'aboutir à la validation des résultats en novembre 2010 (réunion de la MISE 44 le 23 novembre 2011).

3. Captages de Machecoul

3.1. DOCUMENTS CONSULTÉS

Les documents consultés pour établir la délimitation du bassin d'alimentation des captages de Machecoul et hiérarchiser sa vulnérabilité sont les suivants :

- Cartes géologiques au 1/50 000 (et notices associées) de Machecoul, Saint-Philbert-de-Grand-Lieu et Challans
- Carte géologique harmonisée du département de la Loire-Atlantique
- Cartes topographiques au 1 /25 000 (© IGN)
- Données de la Banque du Sous-Sol (BSS)
- Guide méthodologique national pour la délimitation des bassins d'alimentation des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses (rapport BRGM/RP-55874-FR, sept. 2007)
- Direction Départementale de l'Agriculture de Loire-Atlantique. Étude géologique et hydrogéologique du bassin tertiaire de Machecoul. Étude n°892. Compagnie de Prospection Géophysique Française (CPGF), janv. 1970.
- Centre d'études techniques de l'Équipement (CETE) de l'ouest. Périmètres de protection des captages de Machecoul. Étude préliminaire d'environnement. Janv. 1982.
- Bassin de Machecoul. Étude du biseau salé par magnétotellurique artificielle. Geoscop, Oct. 1985.
- SIAEP de la région de Machecoul. Étude de réhabilitation de la nappe de Machecoul. Volet 1 : description générale du site. ouest-Aménagement, déc. 2000.
- Suivi piézométrique du bassin de Machecoul, BE2000 & HE2001, Calligée, 2001.
- Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable (SIAEP) des Pays-de-Retz – sud-Loire. Bassin tertiaire de Machecoul. Modélisation hydrodynamique et hydrochimique du bassin tertiaire de Machecoul (rapport Burgéap R.Na306a, mai 2006)
- SIAEP du Pays-de-Retz. Faisabilité de la réalimentation de la nappe à partir du bassin existant sur le champ captant de Machecoul. Étude hydrogéologique et modélisation. SAFEGE, fév. 2008.
- SIAEP du Pays-de-Retz sud-Loire. Modélisation du bassin d'alimentation des captages AEP de Machecoul. SAFEGE, juin et nov. 2009.
- Proposition de périmètres de protection pour les captages de Machecoul, ouest Am', mai 2010.

3.2. CONTEXTES

3.2.1. Hydrographie

La rivière « le Falleron » coule au sud de Machecoul et rejoint la baie de Bourgneuf au Port du Collet après avoir traversé le Marais Breton. Le Falleron reçoit les eaux du canal d'irrigation qui passe à l'est de Machecoul, et dont les eaux sont dérivées du Tenu (affluent de l'Acheneau).

Au sud du bourg, à son entrée dans le Marais Breton, le Falleron se divise en deux étiers : l'étier de la Taillée au sud et l'étier de la Gravelle en direction de l'ouest. Ils se rejoignent au Port-la-Roche dans le Marais.

Le Marais Breton est parcouru de nombreux canaux et étiers.

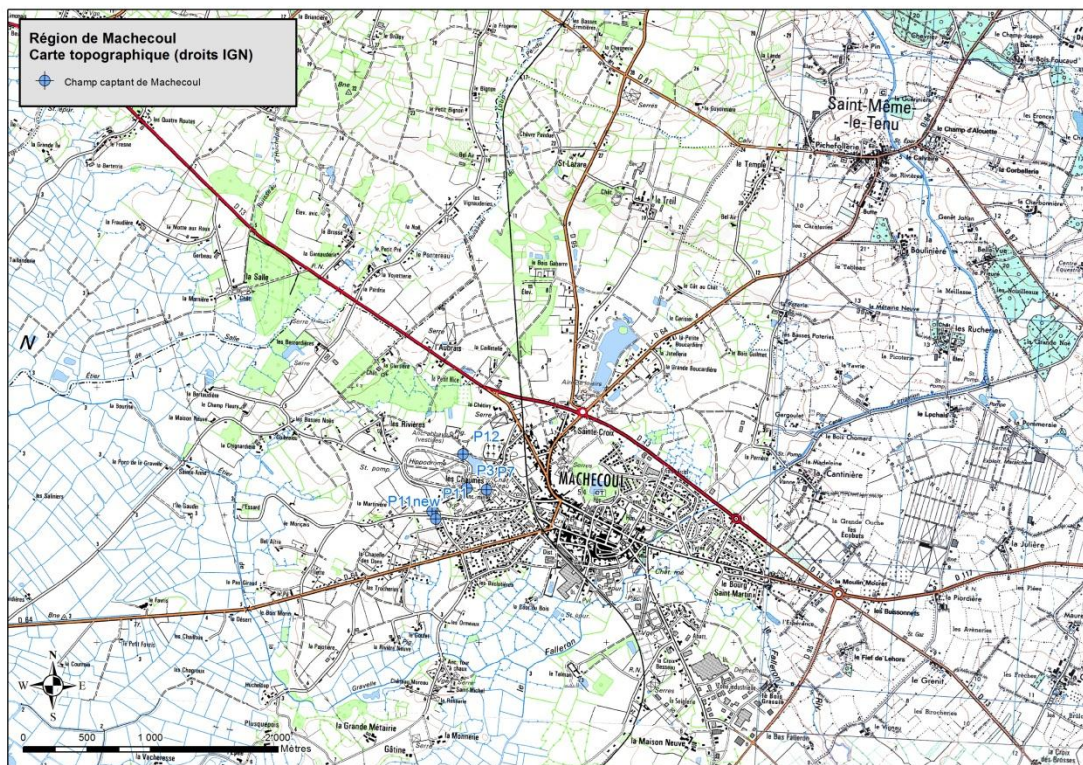


Illustration 6 : carte topographique de la région de Machecoul (© IGN)

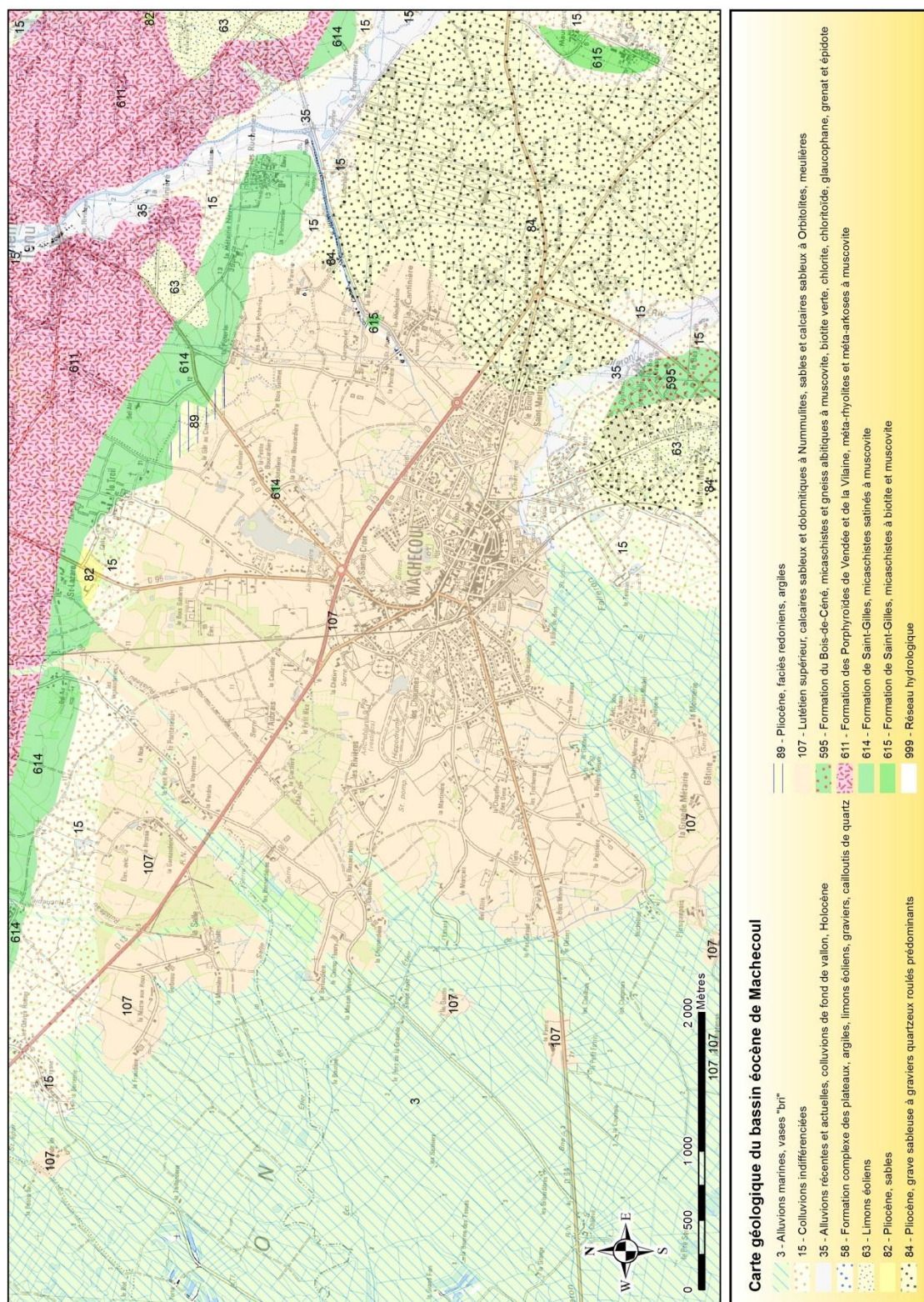


Illustration 7 : carte géologique du bassin tertiaire de Machecoul

3.2.2. Géologie

Le bassin tertiaire de Machecoul forme la terminaison orientale de la baie de Bourgneuf et correspond à une dépression due à un accident du socle (Illustration 7). Cette dépression est comblée par des dépôts du Lutétien supérieur en une alternance de bancs de calcaires sableux et dolomitiques avec des passées gréseuses, sur une épaisseur de 8 à 15 mètres. A leur base, un horizon peu épais (et négligeable) de sables de l'Yprésien supérieur repose sur un horizon argileux issu de l'altération des micaschistes du socle : micaschistes à glaucophane du Bois de Cené au sud et micaschistes à muscovite de la formation de Saint-Gilles au nord.

Plus à l'est, les calcaires gréseux lutétiens sont recouverts de placages de sables et galets pliocènes qui peuvent atteindre 12 m d'épaisseur. Vers l'ouest, ils s'enfoncent sous les alluvions marines flandriennes appelées localement « bri ». Dans cet ensemble quaternaire on distingue un niveau inférieur constitué de vase verdâtre qui s'étend sur les calcaires lutétiens, et un niveau supérieur constitué de vase gris-noir riche en matière organique.

3.2.3. Hydrogéologie

Les formations du Lutétien supérieur constituent une importante réserve aquifère. La surface du bassin est d'environ 2 250 ha et il a une épaisseur moyenne de 12 mètres. La limite occidentale de l'aquifère est définie par la limite avec les eaux saumâtres du « bri ». Compte-tenu de l'origine marine des sédiments, ces eaux sont riches en magnésium et en sodium.

D'un point de vue hydrodynamique, la nappe des calcaires gréseux du Lutétien est globalement caractérisée par les paramètres suivants :

- transmissivité moyenne : $T : 3,6.10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$
- perméabilité $K \approx 3.10^{-4} \text{ m}.\text{s}^{-1}$ (pour une épaisseur moyenne de 12 m)
- coefficient d'emmagasinement $S : 2\%$
- volume utile approximatif de la nappe : $5\,400\,000 \text{ m}^3$

Les différentes cartes piézométriques réalisées depuis les années 1970 montrent que l'écoulement général de la nappe se fait du nord/nord-est vers le sud/sud-ouest (Illustration 8). D'après l'étude de réhabilitation de la nappe de Machecoul (2000), la pente de la nappe est relativement marquée. Elle est de l'ordre de 0,10% en hautes et moyennes eaux et de 0,06% en basses eaux. La nappe tertiaire est en connexion hydraulique avec celle des sables pliocènes à l'est, qui la réalimentent du fait de leur position amont, et celle des roches du socle au nord (cet aquifère étant néanmoins peu transmissif, et donc peu contributif). Les roches du socle armoricain sont généralement peu perméables ; la ressource en eau souterraine exploitable est faible et l'obtention de débits intéressants se limite aux zones de failles et de fissures.

La nappe devient captive vers l'ouest sous les vases du bri, qui renferment elles-mêmes une nappe superficielle de faible intérêt (débits médiocres) mais qui est cependant exploitée pour des usages particuliers.

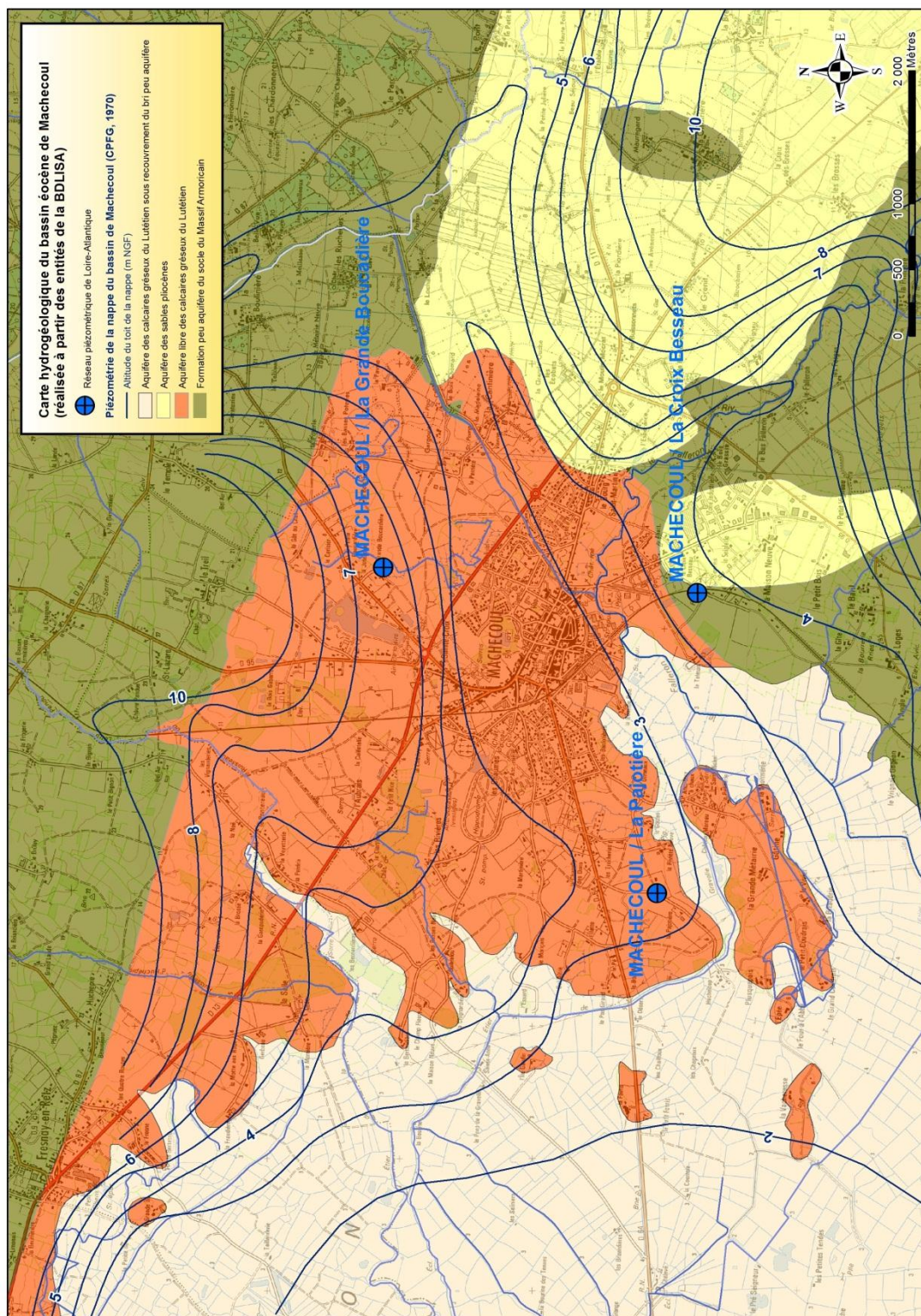


Illustration 8 : carte hydrogéologique du bassin tertiaire de Machecoul

Quant aux zones d'alimentation de la nappe, elles sont principalement situées là où les calcaires lutétiens sont libres, et là où les sables pliocènes affleurent. Ces zones d'alimentation se font essentiellement par infiltration des précipitations efficaces. Le Conseil général de Loire-Atlantique a estimé la recharge à 4,5 Mm³.

La partie libre de l'aquifère tertiaire du bassin de Machecoul (Calcaires lutétiens et sables pliocènes) est très sensible aux risques de pollutions.

Dans le cadre du réseau de surveillance piézométrique départemental, trois piézomètres sont suivis sur la nappe de Machecoul. Ces piézomètres sont automatisés depuis juillet 1994. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Indice national	Commune	Lieu-dit	Date de mise en service	Patrimonial	Aquifère suivi	XL2	YL2	Z_repère	Profondeur
05078X0040/PZN1	Machecoul	La Grande Boucadière	07/07/1994	Non	Bassin tertiaire de Machecoul	284 460	2 231 120	5.38	15
05078X0041/PZN3	Machecoul	La Croix Besseau	07/07/1994	Oui	Bassin tertiaire de Machecoul	284 270	2 228 750	4.95	6
05078X0042/PZN5	Machecoul	La Pajotière	07/07/1994	Non	Bassin tertiaire de Machecoul	282 000	2 229 055	5.66	12

Tableau 1 : piézomètres du réseau de suivi quantitatif de Loire-Atlantique implantés à Machecoul

Les sables pliocènes et les micaschistes du Massif Armoricaïn ne font pas l'objet d'un suivi piézométrique à proximité de Machecoul.

Les variations interannuelles de la nappe tertiaire du bassin de Machecoul sont faibles, de l'ordre de 1 m.

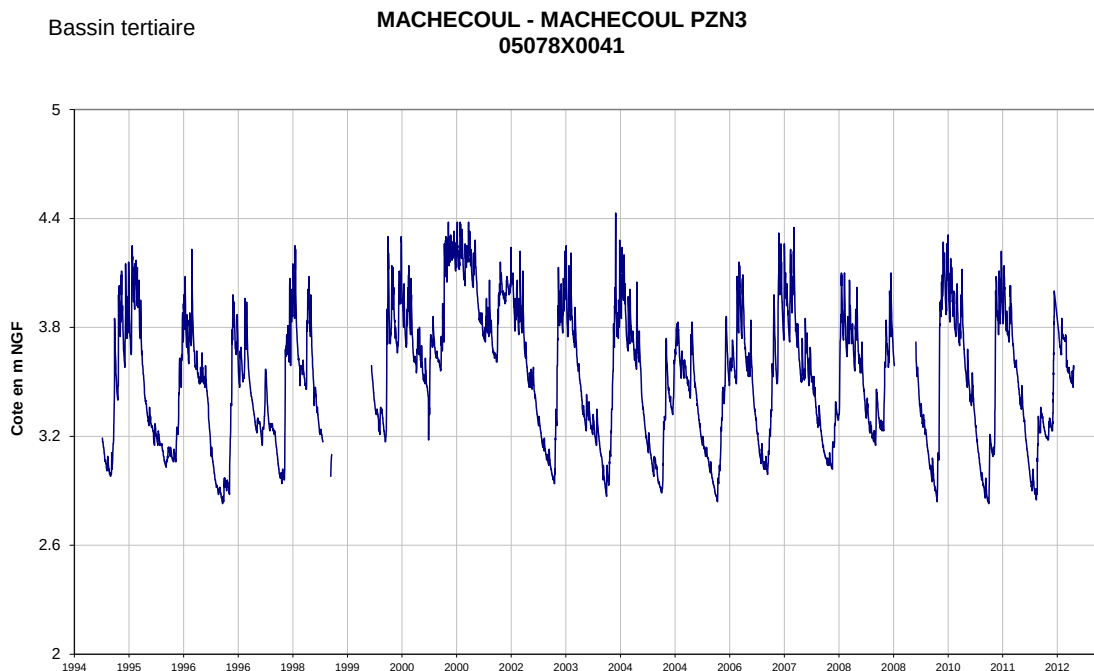


Illustration 9 : variations piézométriques de la nappe des calcaires gréseux du Lutétien à la Croix Besseau

3.3. DESCRIPTION DES OUVRAGES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE

Du fait de la dégradation de la qualité de la nappe du bassin tertiaire de Machecoul, notamment à cause de trop fortes teneurs en nitrates, plusieurs ouvrages AEP ont été abandonnés au fil des ans et la production d'eau potable a considérablement chuté à partir de 1991 pour s'établir autour de 50 000 m³ en 2010 (contre 1,5 Mm³ en 1990). L'irrigation des cultures maraîchères consomme elle environ 1 Mm³.a⁻¹. Les teneurs en nitrates avoisinent les 50 mg.L⁻¹ dans les forages encore en production, mais peuvent dépasser 100 mg.L⁻¹ ailleurs dans le bassin.

En 2010 lorsque le BRGM a travaillé à la délimitation du BAC, deux ouvrages étaient en activité (05078X0003/P3 et 05078X0033/P7), et deux autres étaient sur le point d'entrer en exploitation (05078X0089/P12, achevé d'être foré en janvier 2011 et 05078X0088/P11, achevé d'être foré en mars 2011). Ils forment un champ captant et sont localisés sur l'illustration 10. Le SIAEP du Pays-de-Retz prévoit de reprendre l'exploitation à un volume annuel proche de 0,7 Mm³.

3.3.1. Puits 05078X0003/P3

Ce puits exploite depuis août 1952 la nappe des calcaires gréseux du Lutétien. À ses débuts, il débitait 55 m³.h⁻¹. D'après l'étude SAFEGE de février 2008, le même débit pourrait aujourd'hui être obtenu. On ne connaît pas sa coupe technique (absente du dossier BSS).

Le puits P3 est profond de 11,50 m par rapport au sol de la station de pompage.

En 2010, il n'est exploité que ponctuellement.

3.3.2. Puits 05078X0033/P7

La coupe technique du puits P7 figure en Annexe 2. Il s'agit d'un puits creusé en août 1976 à une profondeur de 19,50 m (sa profondeur serait aujourd'hui de 17,85 m, probablement à cause de l'ensablement). Il exploite les calcaires gréseux du Lutétien. Au début de son exploitation en juillet 1977, il débitait $45 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. D'après l'étude SAFEGE de février 2008, le même débit pourrait aujourd'hui être obtenu.

En 2010, il n'est exploité que ponctuellement.

3.3.3. Forages 05078X0088/P11 et 05078X0089/P12

Ces forages n'existaient pas encore au moment des travaux de délimitation du BAC et de cartographie de la vulnérabilité, mais leur exploitation future et leur implantation étant déjà acquises, ils ont néanmoins été pris en compte. Leurs débits d'exploitation sont prévus à $55 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ pendant l'été (3 mois) et respectivement 15 et $20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ pour P11 et P12 pendant le reste de l'année (9 mois).

3.4. DÉLIMITATION DU BASSIN D'ALIMENTATION DES CAPTAGES

Compte-tenu de la proximité des quatre captages, il est pertinent de ne délimiter qu'un seul BAC, valable pour le champ captant.

3.4.1. Détermination des cônes d'appel des captages

La modélisation hydrodynamique du bassin tertiaire de Machecoul réalisée par SAFEGE en 2008 et actualisée en 2009 a permis de déterminer par le calcul le bassin d'alimentation des forages dans leur voisinage proche (Illustration 10). Ces résultats sont particulièrement utiles pour déterminer les limites aval et latérales du bassin d'alimentation du champ captant.

3.4.2. Piézométrie

Les différentes cartes piézométriques consultées (CPGF, 1970 ; Calligée, 2001 ; SAFEGE, 2009) montrent que les puits et forages sont implantés sur une crête piézométrique (Illustration 11). Les sens d'écoulement de la nappe en amont des captages sont divergents (on pourrait dire que la nappe est convexe en amont des captages), et dans le cas étudié seule la portion de crête piézométrique entre les lieux-dits « l'Aubraie » et « les Vignauderies » permet de délimiter la limite nord du BAC au-delà de la zone d'appel définie par la modélisation SAFEGE.

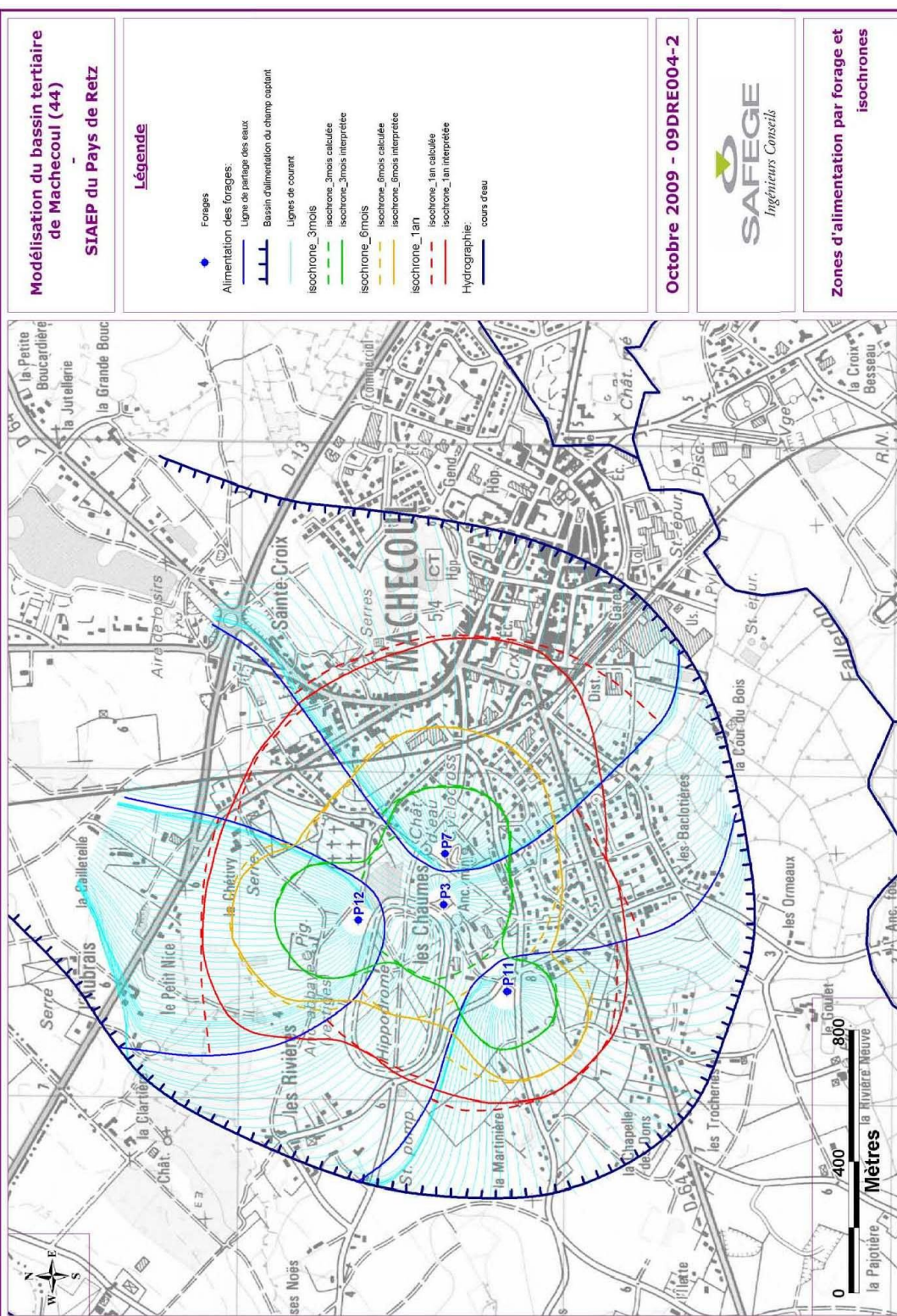


Illustration 10 : zones d'appel et isochrones des ouvrages de production de Machecoul

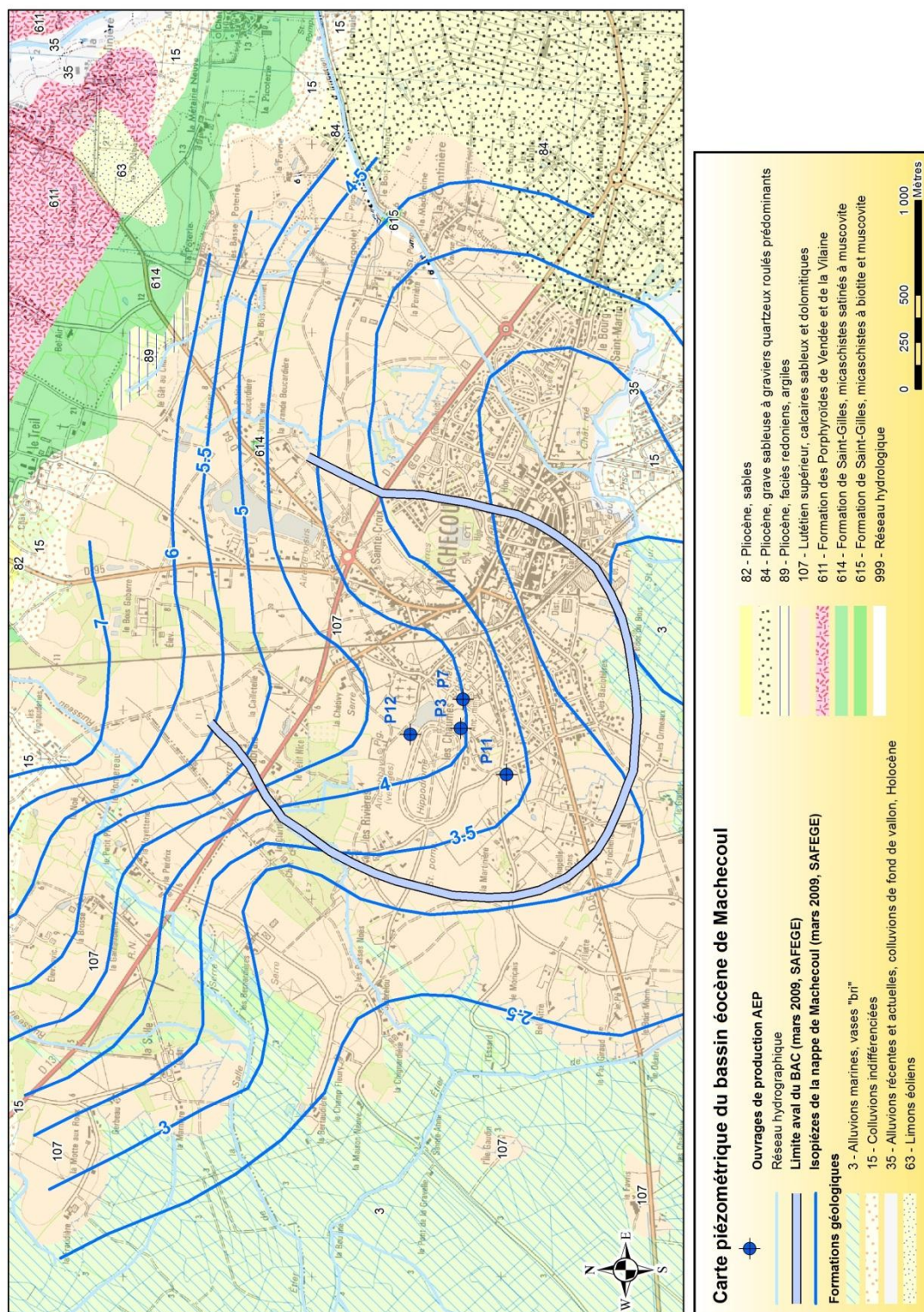


Illustration 11 : carte piézométrique hautes eaux de la nappe de Machecoul (à partir de SAFEGE, 2009)

3.4.3. Ruissellement (contribution indirecte à la nappe)

Au nord de Machecoul, le secteur qui s'étend entre les lieux-dits « St-Lazare » et « le Tableau » et où affleurent les micaschistes de la formation de St-Gilles (Illustration 7) contribue indirectement à l'alimentation des captages AEP par ruissellement. En effet, ces formations géologiques sont peu perméables, et le ruissellement des eaux superficielles y est significatif. Les eaux qui ruissellent rejoignent la nappe par infiltration au travers des calcaires lutétiens. Aussi la crête topographique St-Lazare – le Temple – le Tableau constitue-t-elle la limite amont du BAC de Machecoul.

Par ailleurs, il nous a semblé prudent d'inclure également le secteur la Clartière – l'Aubrais dans le BAC, bien que la portion de nappe sous-jacente échappe aux captages AEP d'après les résultats de la modélisation SAFEGE. En effet, le ruissellement (probablement peu significatif compte-tenu de la nature des formations géologiques rencontrées, mais qui ne peut être complètement exclu) se fait ici en direction de la zone située au-dessus de la portion de nappe alimentant les captages.

En revanche, la limite occidentale du BAC n'a pas été étendue au-delà de la zone d'appel des captages car le ruissellement éventuel est dirigé vers l'extérieur de la zone d'alimentation.

3.4.4. Cohérence avec les périmètres de protection des captages

Le SDAEP de Loire-Atlantique a transmis au BRGM le 10 mai 2010 les contours des PPC proposés par le bureau d'études en charge de l'étude préalable. Ces périmètres sont cohérents avec les limites aval et latérales du BAC issues des résultats de la modélisation SAFEGE, aux détails de parcelles cadastrales près (Illustration 12).

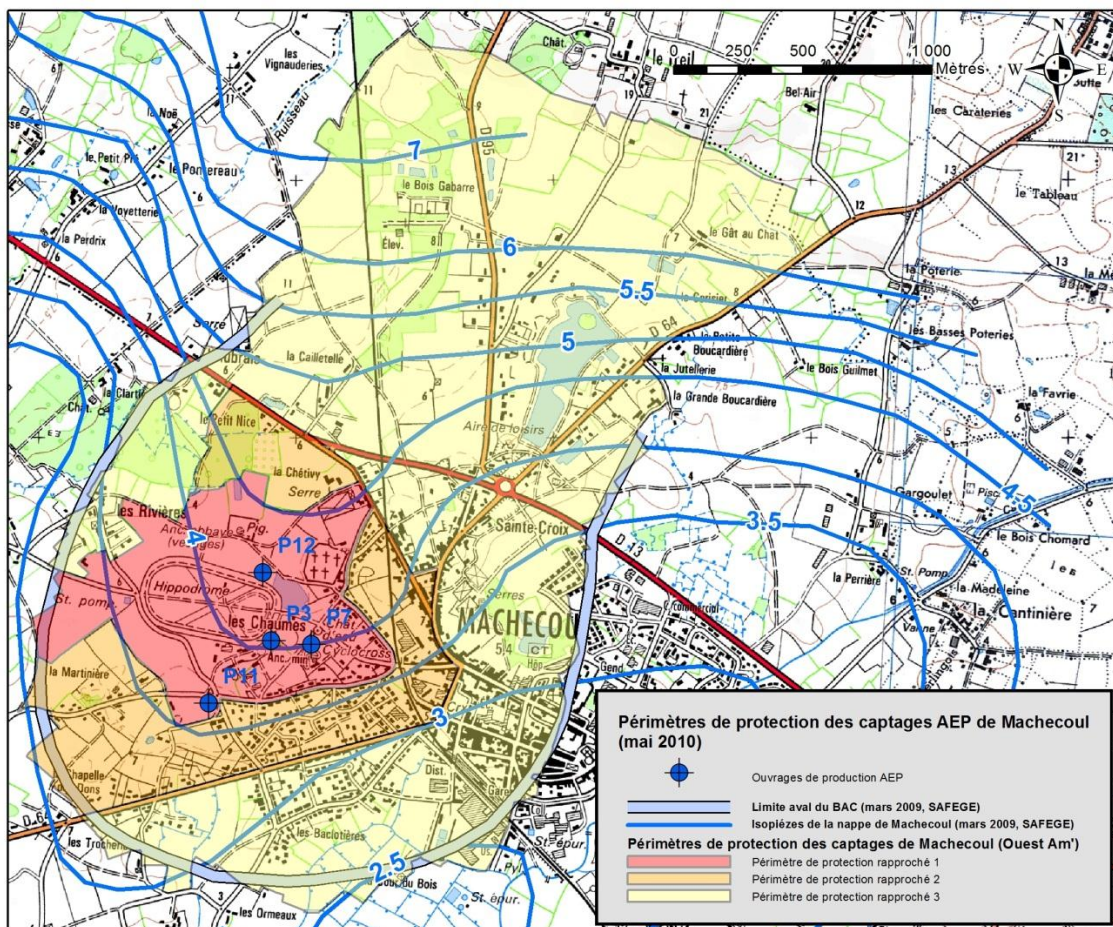


Illustration 12 : périmètres de protection des captages AEP de Machecoul, mai 2010

Le BAC de Machecoul proposé par le BRGM englobe les périmètres de protection des captages, et va même au-delà dans les secteurs la Clartière – l'Aubrais et St-Lazare – le Treil – le Tableau (cf. § 3.4.3 et Illustration 13). Sa superficie totale atteint 7,19 km² (719 ha).

Le BAC comporte ainsi une part de son territoire sur laquelle des formations très peu perméables limitent considérablement l'infiltration (secteur nord amont). C'est la capacité de ruissellement des formations géologiques de ce secteur en direction de zones d'infiltration vers la nappe qui nous conduisent à étendre le BAC à ce secteur.

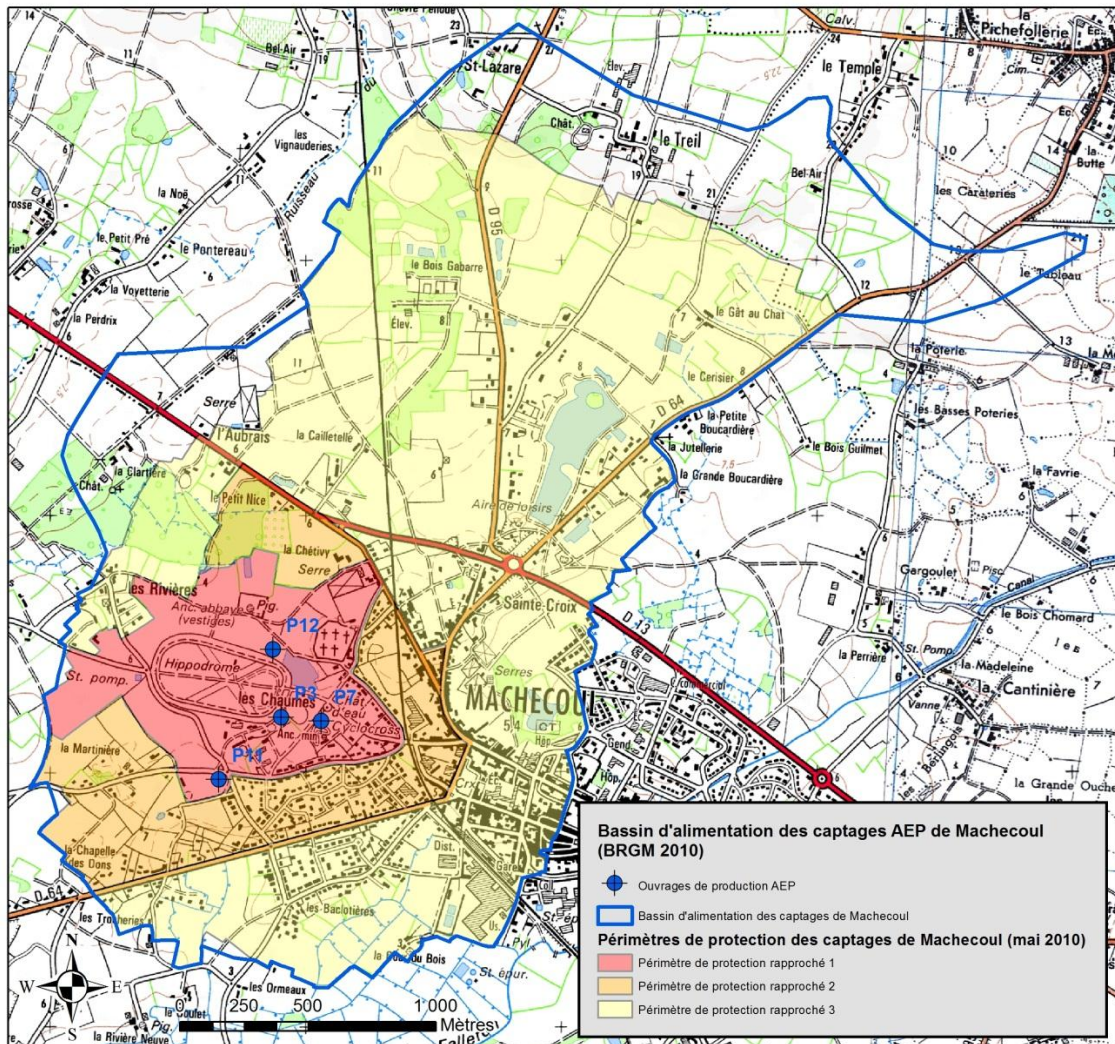


Illustration 13 : Bassin d'alimentation des captages AEP de Machecoul

3.5. CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA VULNÉRABILITÉ

3.5.1. Type d'aquifère

- La perméabilité des calcaires gréseux du bassin tertiaire de Machecoul est assurée essentiellement par les fissures dans la roche (porosité de fissures) et dans une moindre mesure par l'interconnexion des pores (porosité d'interstices). Les fissures/fractures/diaclases de la roche sont réputées être réparties de façon homogène ; aucune discontinuité principale favorisant les écoulements dans un secteur plutôt qu'un autre n'est mentionnée dans la bibliographie ou ne peut être mise en évidence au moyen des données recueillies. On considère donc que le milieu est « fissuré homogène » ;

- Aucune connaissance de phénomènes karstiques sur la zone (pertes, dolines...);
- La surface piézométrique est relativement plane.

Ces éléments nous conduisent à considérer la nappe des calcaires gréseux du Lutétien à Machecoul comme un **système aquifère continu**.

3.5.2. Paramètres pris en compte

Les paramètres pris en compte pour un système aquifère continu figurent dans le Tableau 2.

Paramètres		Coefficient de pondération
hauteur de pluie efficace	P	10%
nature de la couverture pédologique	S	25%
infiltration efficace (capacité intrinsèque des formations géologiques présentes en surface à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de pluie, évaluée de façon indirecte grâce à l'IDPR)	I	30%
épaisseur de la zone non saturée	H	20%
perméabilité de l'aquifère	K	15%
IDPR : Indice de Développement et de Persistance des Réseaux		

Tableau 2 : paramètres pris en compte dans le calcul de la note de vulnérabilité d'un système aquifère continu

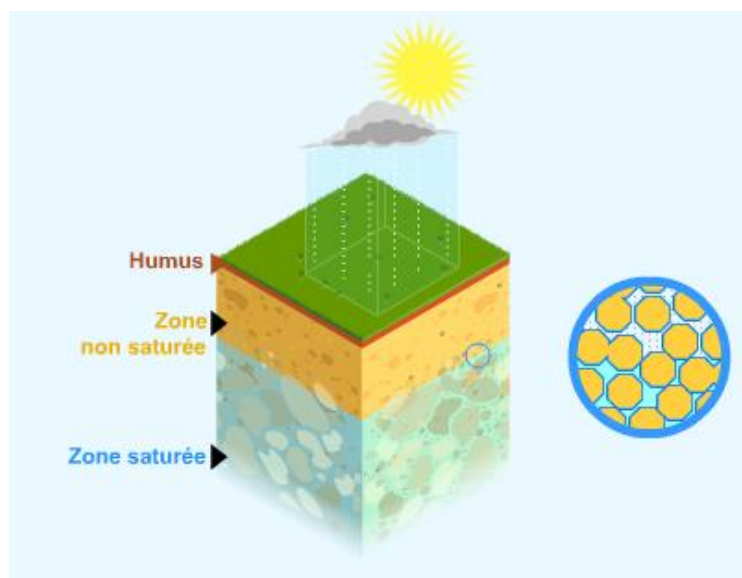


Illustration 14 : zone non saturée d'un aquifère

3.6. CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES

La classification des paramètres est présentée dans le Tableau 3. Les valeurs attribuées à chacune des classes (notes) s'échelonnent de 0 – très favorable à la protection de l'aquifère – à 4 – très défavorable.

Valeur de l'indice	Pluies efficaces (mm)	IDPR	Epaisseur ZNS (m)	Perméabilité (m/s)
4	> 300	0-400	< 2	$> 10^{-3}$
3	200-300	400-800	2-5	$10^{-4} - 10^{-3}$
2	100-200	800-1200	5-20	$10^{-5} - 10^{-4}$
1	50-100	1200-1600	20-50	$10^{-7} - 10^{-5}$
0	< 50	1600-2000	> 50	$< 10^{-7}$

Tableau 3 : classification des paramètres pour le calcul de la vulnérabilité d'un système aquifère continu (in Guide méthodologique BRGM/RP-55874-FR)

La classification du critère sol (couverture pédologique) dépend de sa texture, de sa teneur en caillou, et de son épaisseur (Tableau 4).

Caractéristiques				Caractéristiques				Indice
Sol sur matrice nue ou avec un horizon géologique faiblement protecteur (éboulis, alluvions)				Sol sur horizon géologique important de faible conductivité hydraulique (argiles, argiles marneuses, conglomérats et brèches massifs)				
Nature du sol inconnue	Nature de sol connue			Nature du sol inconnue	Nature de sol connue			
	1	2	3		1	2	3	
	-	-	-	Couverture protectrice > 5m (avec sol ou non)				0
Epaisseur > 100cm	Epaisseur > 100cm	-	-	Couverture protectrice 1-5m ou > 1m avec un sol de texture inconnue ou de type 1 > 20cm				1
Epaisseur 20-100cm	Epaisseur 20-100cm	Epaisseur > 100cm	-	Epaisseur 0-20cm	Epaisseur 0-20cm	Epaisseur 20-100cm	-	2
Epaisseur 0-20cm	Epaisseur 0-20cm	Epaisseur 20-100cm	Epaisseur > 100cm	Absence totale de sol	Absence totale de sol	Epaisseur 20-100cm	Epaisseur 0-100cm	3
Absence totale de sol	Absence totale de sol	Epaisseur 0-20cm	Epaisseur 0-100cm	-	-	-	-	4

Tableau 4 : classification du critère sol (in Guide méthodologique BRGM/RP-55874-FR)

La discrétisation du bassin d'alimentation des captages est obtenu au moyen d'un maillage carré de pas d'espace 100 m.

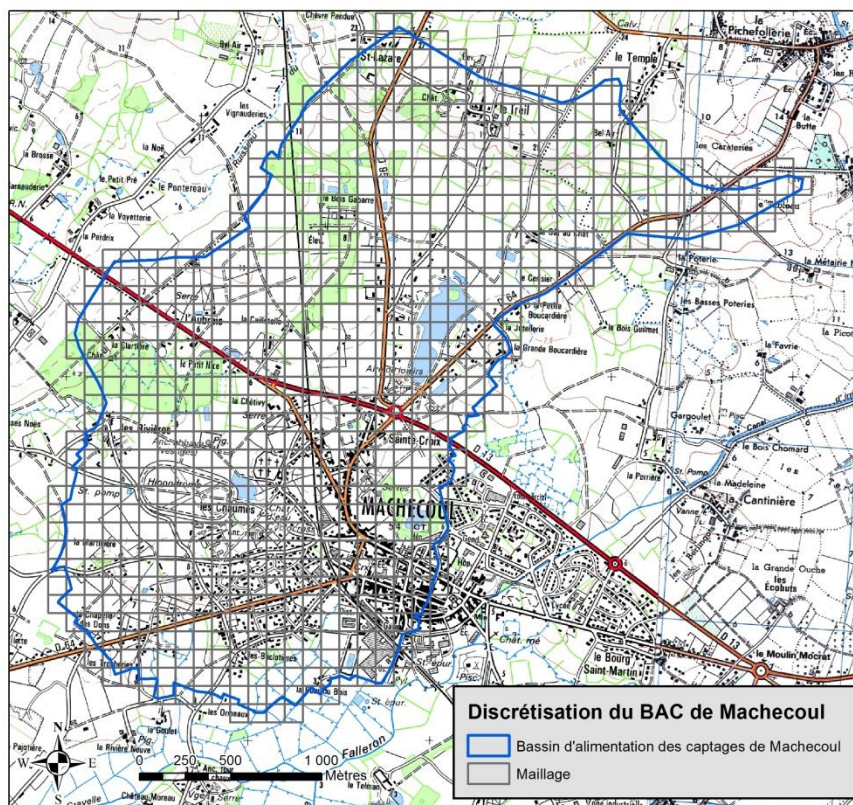


Illustration 15 : discrétisation du BAC de Machecoul

Chaque maille se voit attribuer une note pour chacun des 5 paramètres pris en compte.

3.6.1. Pluies efficaces

Compte-tenu de la taille du BAC, les pluies efficaces sont réputées homogènes : ce paramètre n'est pas discrétisé. La bibliographie indique une valeur moyenne de 200 mm pour les pluies efficaces. Le Tableau 3 (cf. § 3.6) donne la clef de répartition des notes pour ce paramètre. **La note 3 est attribuée à toutes les mailles du BAC.**

3.6.2. Couverture pédologique protectrice

L'étude pédologique du bureau d'études ouest Aménagement réalisée en 2001 comprend une typologie des sols présents sur la zone. Les sols sont répartis en quatorze « unités », dont quatre se retrouvent à l'intérieur du BAC de Machecoul, et pour lesquelles une note a été attribuée :

1. Sols de marais non labourables → **note 1**
2. Sols développés sur porphyroïdes, de profondeur inférieure à 60 cm → **note 1**
3. Sols d'apport alluvial ou colluvial → **note 2**
4. Sols développés dans les dépôts éocènes → **note 4**

L'étude pédologique ne couvre pas l'intégralité du BAC et ne traite pas le cœur du bassin. Sur proposition du BRGM et en accord avec le groupe de travail, les notes suivantes ont été attribuées à ce secteur :

1. Aux sols de la zone urbanisée de la commune a été attribuée la note 1 (infiltration limitée du fait des voiries et constructions).
2. Ailleurs, la note 4 a été attribuée (même note que celle des sols limitrophes).

Par ailleurs, le groupe de travail a fait valoir que depuis la publication de l'étude pédologique (2001), le lieu-dit « la Clartière » a été reboisé, ce que montre l'examen des cartes IGN de 2007 et de 2010 (cf. Illustration 16). Les sols d'apport alluvial et colluvial ont donc ici été déclassés d'un degré (note 2 → note 1), le reboisement conduisant à une diminution du caractère infiltrant des sols.

La cartographie du paramètre « couverture pédologique » figure en Annexe 3.

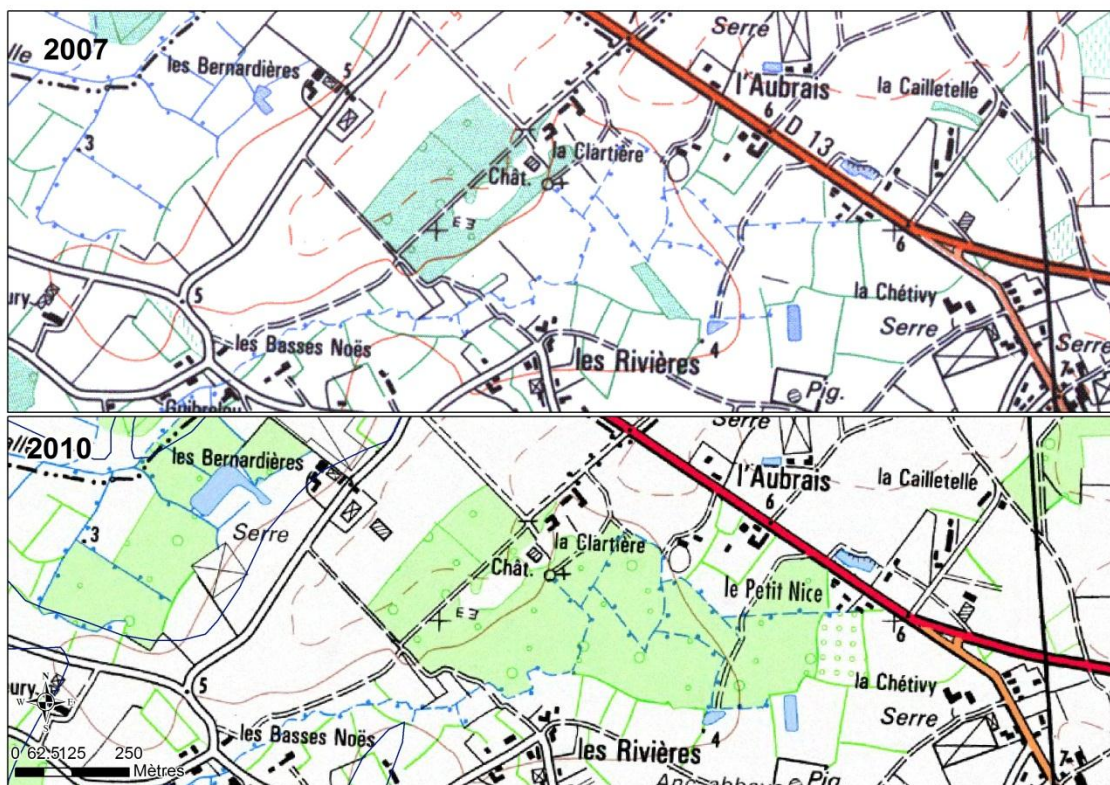


Illustration 16 : reboisement du secteur « les Rivières » / « la Clartière »

3.6.3. Infiltration

L'IDPR, disponible sous forme de grille sur le bassin Loire-Bretagne (l'échelle de validité est le 1/50 000), est utilisé sous forme polygonale. À cet effet, une valeur moyenne de l'IDPR est calculée pour chaque formation géologique de la carte géologique harmonisée de la Loire-Atlantique (une unité géologique y étant représentée sous forme d'un polygone).

Le Tableau 3 donne la clef de répartition des notes pour ce paramètre. La cartographie qui en résulte figure sur l'illustration 17 et en Annexe 3.

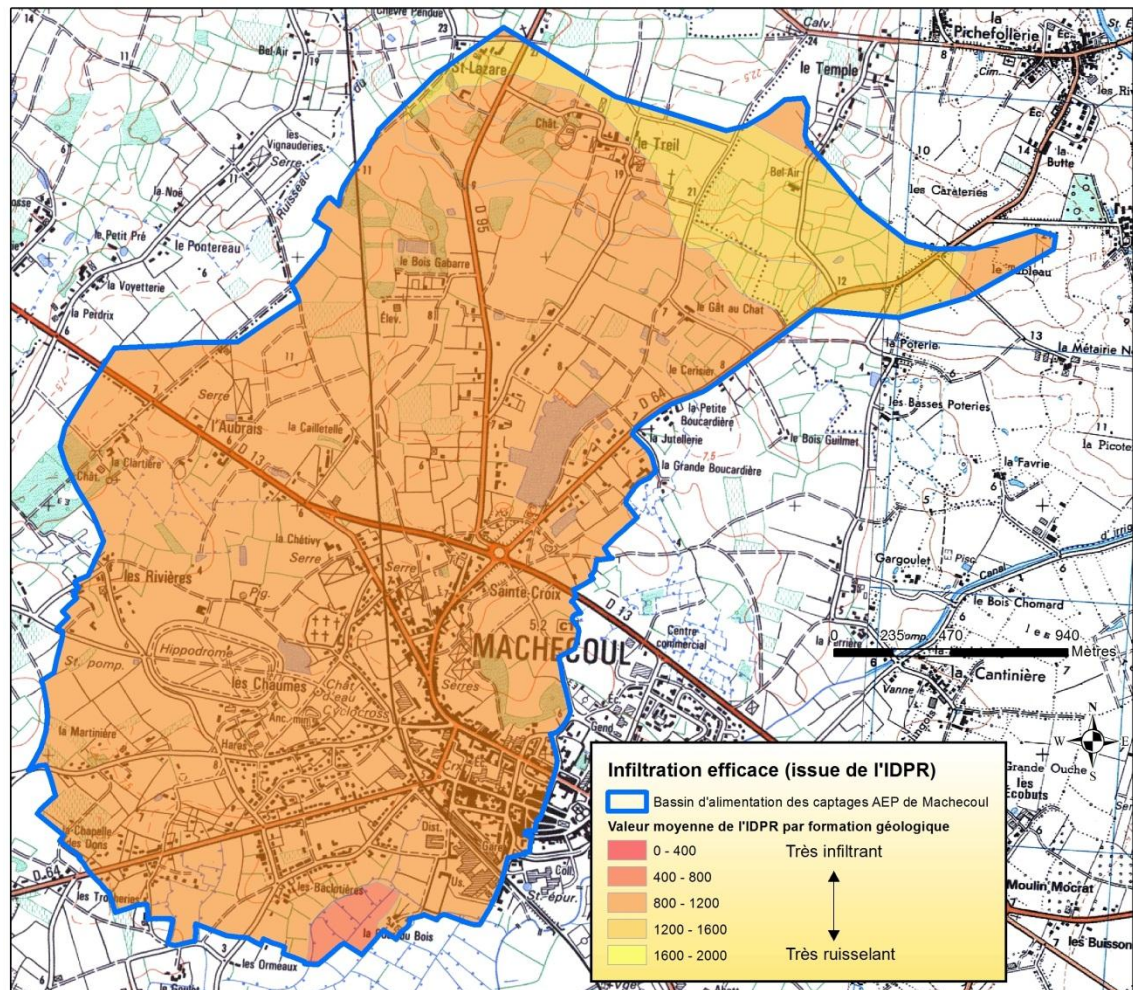


Illustration 17 : valeur moyenne de l'IDPR par entité géologique sur le BAC de Conlie

3.6.4. Épaisseur de la zone non saturée (ZNS)

Pour calculer la note du paramètre H on se place dans le cas le plus défavorable : nappe en situation de hautes eaux (ZNS minimale → note de vulnérabilité maximale). Les isopièzes hautes eaux (SAFEGE) ont d'abord été interpolées au pas d'espace 25 m (Illustration 18). Dans chaque maille du BAC est ensuite calculée la moyenne des cotes piézométriques. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN au pas de 50 m est utilisé pour calculer l'altitude au sol moyenne de chaque maille.

L'épaisseur de la ZNS est obtenue dans chaque maille en soustrayant à la cote topographique la cote piézométrique de la nappe. Le Tableau 3 donne la clef de répartition des notes pour ce paramètre. La note 0 a été attribuée aux mailles où affleurent les roches peu aquifères du socle. La cartographie qui en résulte figure en Annexe 3.

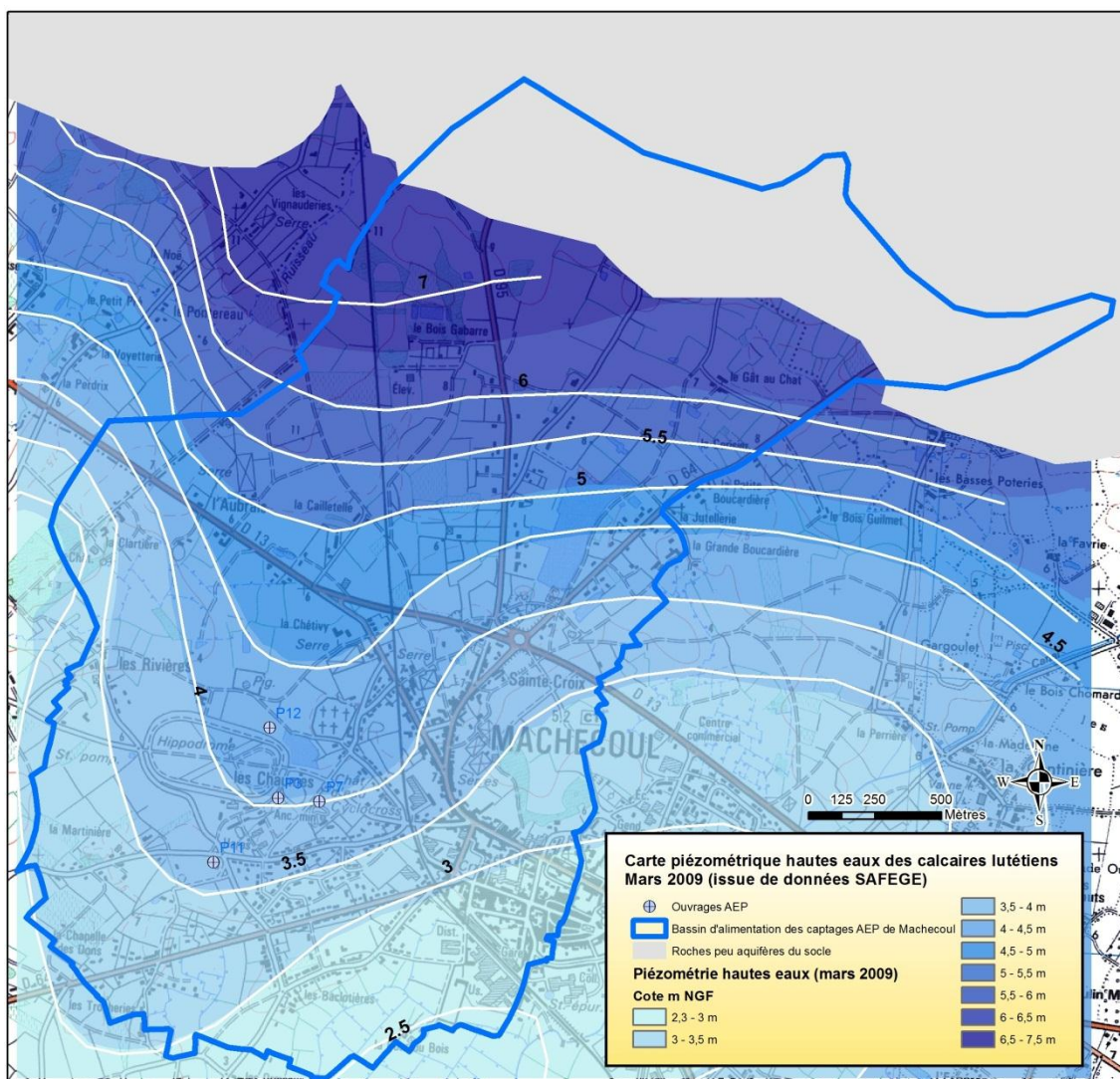


Illustration 18 : interpolation des isopièzes hautes eaux de la nappe des calcaires du Lutétien (d'après Safège, 2009)

3.6.5. Perméabilité

L'objectif consiste avant tout à mettre en évidence les zones plus perméables que d'autres : on a donc appliqué une approche relative.

La note 3 a été attribuée aux mailles où est présente la nappe des calcaires du Lutétien (dont la perméabilité moyenne est de $3.10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$). Les mailles où affleurent les roches peu aquifères du socle se sont vues attribuer la note 1.

La cartographie qui en résulte figure en Annexe 3.

Conformément aux souhaits du groupe de travail, un traitement ultérieur a permis de préciser les contours des zones d'égale vulnérabilité, au moyen des contours des formations géologiques et des zones de sol (Illustration 20).

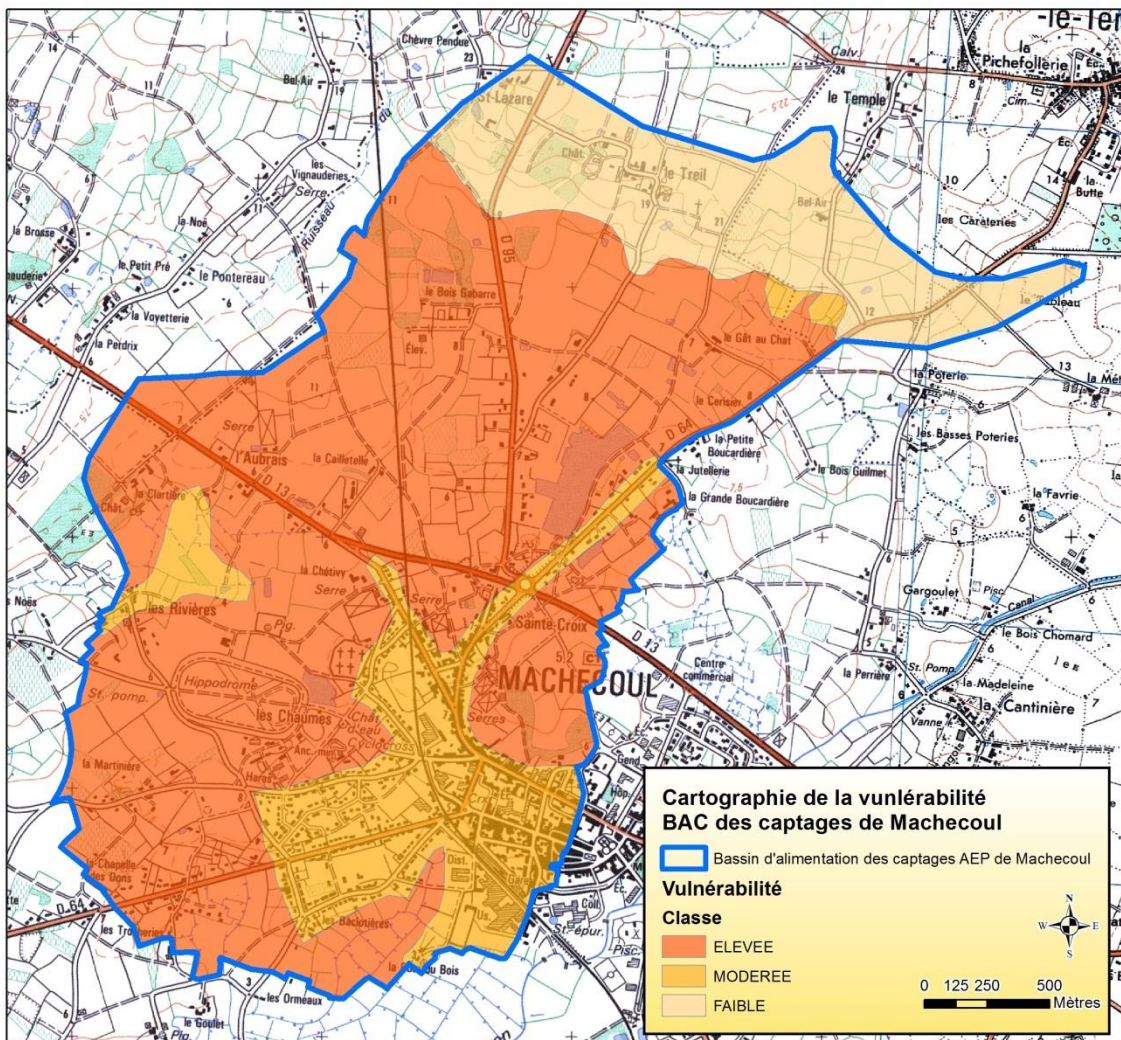


Illustration 20 : cartographie de la vulnérabilité du BAC de Machecoul

67,4 % du BAC ont une vulnérabilité élevée (485 ha), 17,3 % du BAC ont une vulnérabilité modérée (124 ha), 15,3 % du BAC ont une vulnérabilité faible (110 ha).

4. Captages de Nort-sur-Erdre

4.1. DOCUMENTS CONSULTÉS

Les documents consultés pour établir la délimitation du bassin d'alimentation des captages de Nort-sur-Erdre et cartographier sa vulnérabilité sont les suivants :

- Carte géologique au 1/50 000 (et notice associée) de Nort-sur-Erdre
- Carte géologique harmonisée du département de la Loire-Atlantique
- Cartes topographiques au 1 /25 000 (© IGN)
- Données de la Banque du Sous-Sol (BSS)
- Guide méthodologique national pour la délimitation des bassins d'alimentation des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses (rapport BRGM/RP-55874-FR, sept. 2007)
- Étude hydrogéologique du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre, BURGEAP (réf. R.428, janvier 1967)
- Recherches de ressources souterraines nouvelles en Loire-Atlantique. Résultats des travaux sur l'aquifère oligocène du bassin de Nort-sur-Erdre, DDAF 44 (mars 1991)
- Étude hydrogéologique du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre, GEOSCOPE (janvier 1991)
- Recherche d'un secteur à faciès triple (sables, marnes, calcaires) et essai de pompage dans la partie septentrionale du bassin de Nort-sur-Erdre, LITHOLOGIC (réf. R/YG/92.062, novembre 1992)
- Nappe oligocène de Nort-sur-Erdre. Résultats de 21 mois d'observations, Conseil général de Loire-Atlantique (octobre 1994).
- Rapport de l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique sur la définition des périmètres de protection des captages du Plessis-Pas-Brunet (mars 1995)
- Pompage d'essai sur des forages au Plessis-Pas-Brunet, ANTEA (juillet 1995)
- Bassin de Nort-sur-Erdre. Évolutions des ressources en eau de la nappe oligocène, Conseil général de Loire-Atlantique (novembre 1996)
- SIAEP de la région de Nort-sur-Erdre. Recherches sur les problèmes de qualité liés aux forages de production F1 et F2. Champ captant du Plessis-Pas-Brunet, Conseil général de Loire-Atlantique (septembre 1998)
- Enquête publique préalable à la mise en place des périmètres de protection, SIAEP de la région de Nort-sur-Erdre (1999)
- Suivi piézométrique du bassin sédimentaire de Nort-sur-Erdre. Basses eaux 2000 et hautes eaux 2001, CALLIGÉE (mars 2001)
- Arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique des périmètres de protection des captages, 2001
- Annuaire 2008 des nappes d'eau souterraine de Loire-Atlantique, Conseil général de Loire-Atlantique.
- Carte des unités pédologiques du bassin de Nort-sur-Erdre (SDAEP 44)

4.2. CONTEXTES

4.2.1. Hydrographie

Le secteur de Nort-sur-Erdre est traversé par l'Erdre, affluent de la Loire qui coule ici du nord au sud, et le canal de Nantes à Brest, situé dans un talweg (cf. Illustration 22). Une rigole alimentaire apporte de l'eau depuis le réservoir du Vioreau situé au nord de Joué-sur-Erdre et permet la réalimentation du canal en tant que de besoin.

Le réseau hydrographique secondaire est peu développé. Le canal est bordé par des fossés qui recueillent les eaux de ruissellement.

4.2.2. Géologie

La fin de l'orogénèse hercynienne s'est traduite dans le Massif armoricain par l'individualisation de réseaux de failles axées NNW-SSE. Par la suite, notamment à l'Oligocène (orogénèse pyrénéenne) puis au Pliocène (orogénèse alpine), ces systèmes sont réactivés et donnent naissance au bassin d'effondrement de Nort-sur-Erdre. On admet généralement que la mise en place du bassin par réactivation des failles a permis le piégeage des sédiments apportés lors des transgressions marines, notamment au Rupélien (Oligocène) puis au Pliocène. Une autre hypothèse est que la sédimentation soit antérieure au jeu des failles et couvre une zone bien plus vaste que celle du fossé d'effondrement actuellement connu. Celui aurait alors, par sa mise en place, protégé les sédiments de l'érosion à l'œuvre tout autour.

Au Plessis-Pas-Brunet, où l'on pense que la série sédimentaire est la plus épaisse, le socle n'est toujours pas atteint à -225 m de profondeur (Illustration 21).

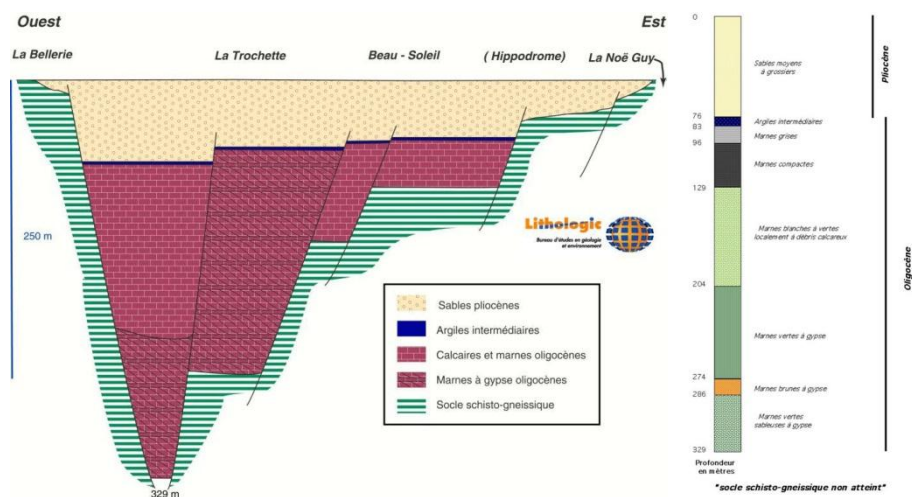


Illustration 21 : coupe et log géologiques du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre (Lithologic)

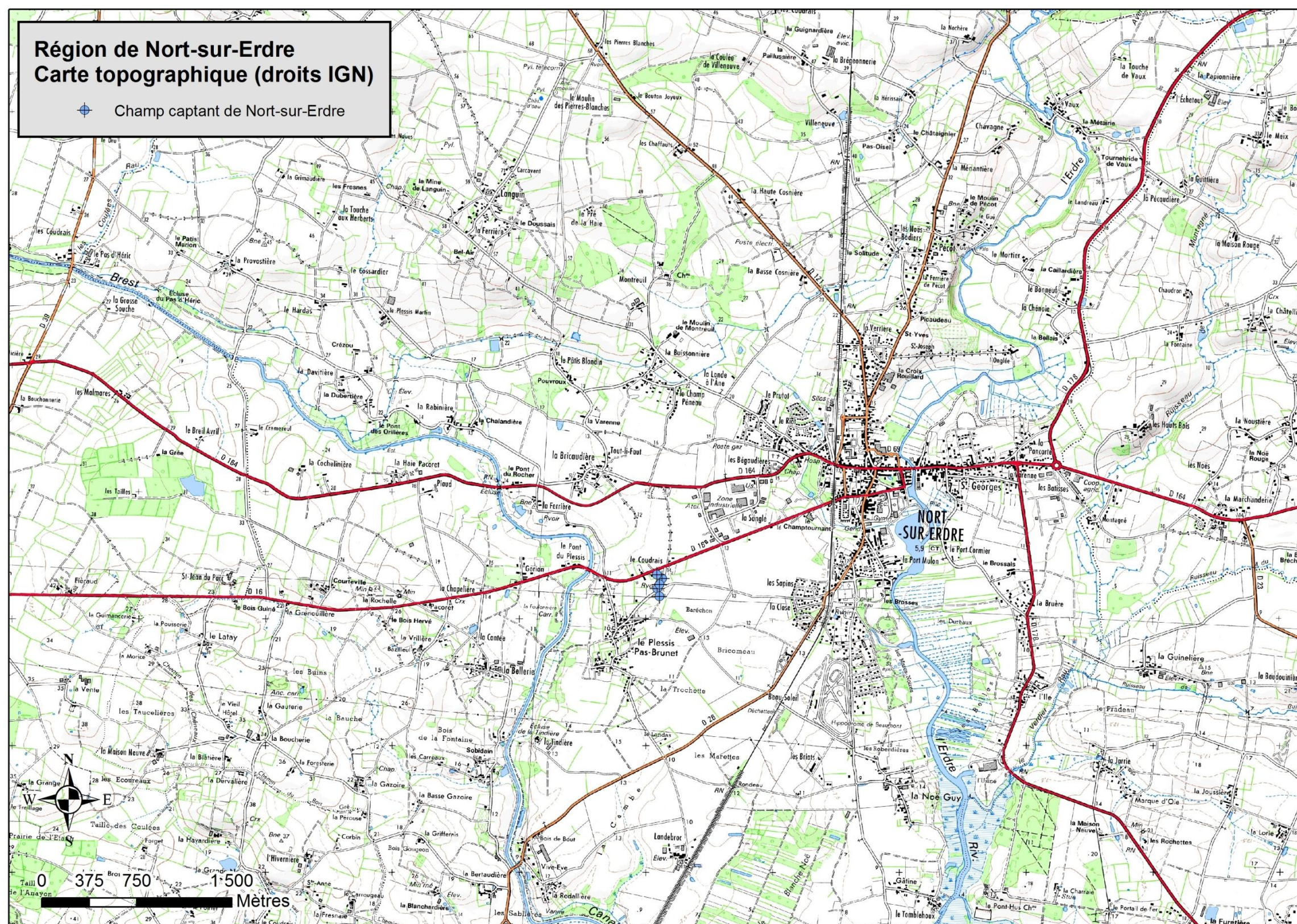


Illustration 22 : carte topographique du secteur de Nort-sur-Erdre (© IGN)

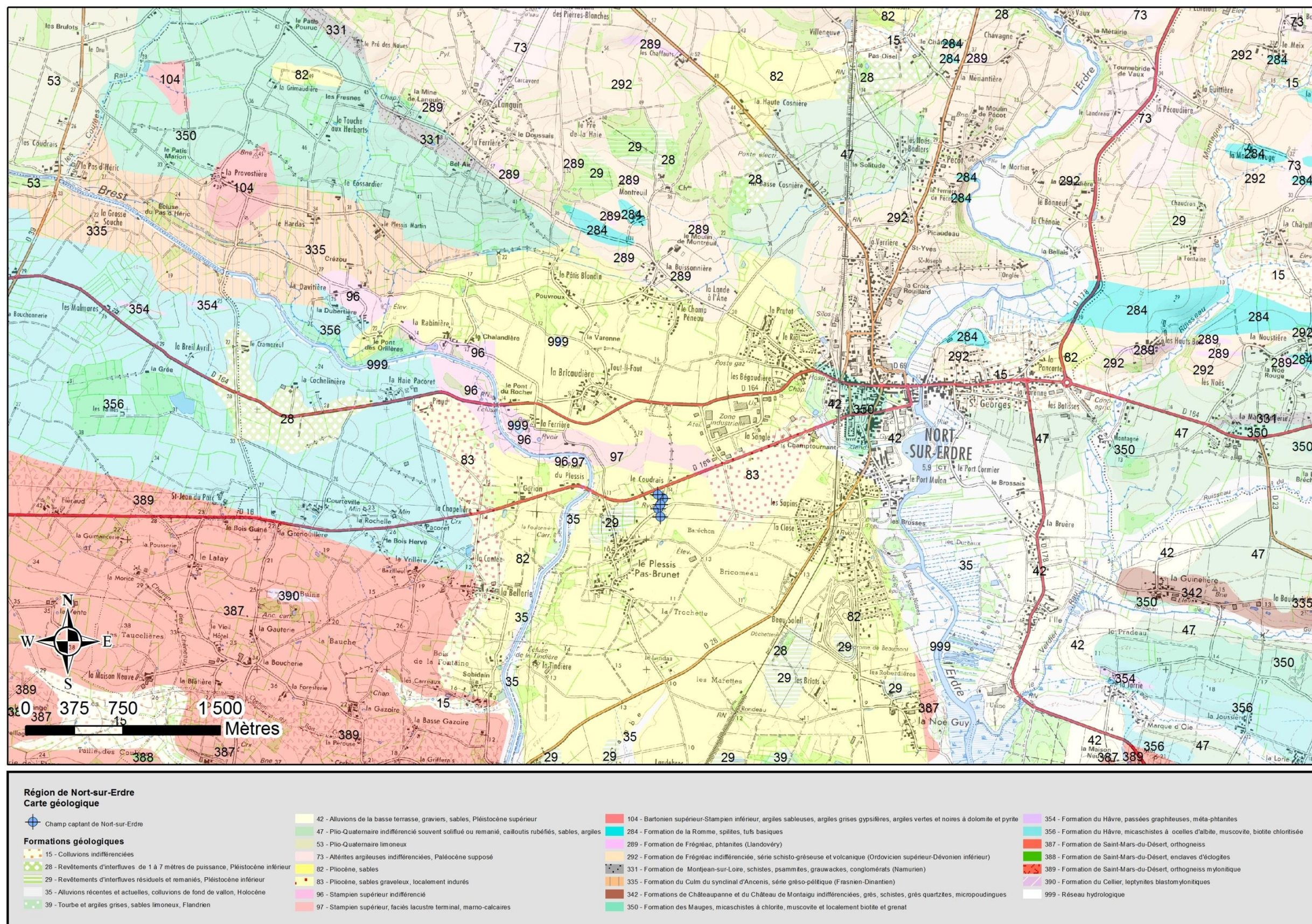


Illustration 23 : carte géologique du secteur de Nort-sur-Erdre

Sur l'illustration 21, la profondeur du bassin est extrapolée à partir des données connues dans le bassin sédimentaire limitrophe de Saffré (cf. § 5.2.2). Le fond du bassin serait rempli des sédiments calcaro-marneux du Rupélien. Ils sont surmontés d'un horizon peu épais d'argiles pliocènes (5-10 m) qui évoluent vers des sables (60 m). Les calcaires marneux oligocènes affleurent ou sont sub-affleurants entre le lieu-dit « la Davitière » et la zone industrielle de la Sangle, à l'ouest du bourg de Nort-sur-Erdre. Il est intéressant de noter l'existence d'un haut-fond granitique au lieu-dit la Noë Guy.

4.2.3. Hydrogéologie

Au droit des forages du Plessis-Pas-Brunet, les sables pliocènes (jusqu'à 80 m d'épaisseur) surmontent une éponte argileuse qui rend les calcaires marneux oligocènes sous-jacents (de 85 à 120 m de profondeur) captifs. Les calcaires oligocènes qui affleurent sur la zone pourraient être déconnectés des calcaires plus profonds.

Formation peu aquifère des roches du Massif armoricain

Le massif encaissant du socle armoricain est constitué de schistes qui sont généralement peu perméables ; la ressource en eau souterraine exploitable est faible et l'obtention de débits intéressants se limite aux zones de failles et de fissures.

Aquifère libre des sables pliocènes (nappe superficielle)

Aquifère libre, il est directement alimenté par les précipitations du bassin, mais aussi ponctuellement par le réseau hydrographique (rigole alimentaire et canal), en cas de crues notamment. Ses caractéristiques hydrodynamiques (perméabilité comprise entre 10^{-4} et 10^{-3} m.s^{-1} , transmissivité de 30 à $100 \text{ m}^2.\text{h}^{-1}$ et coefficient d'emménagement de 0,1) autorisent des prélèvements à des débits de quelques centaines de $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ par forage.

Du fait de son caractère libre, la nappe est très vulnérable aux pollutions. Elle est fortement affectée par une contamination azotée (teneur en nitrates supérieure à 50 mg.L^{-1}) et phytosanitaire (dérivés des triazines).

Aquifère libre et captif des calcaires oligocènes (nappe profonde)

Cet aquifère, captif au droit des forages du Plessis-Pas-Brunet, est libre au nord et nord-ouest. Des doutes subsistent quant à la connexion de la nappe libre et de la nappe captive, mais si connexion il y a alors la zone d'affleurement joue un rôle primordial pour la réalimentation de l'aquifère.

Les variations interannuelles enregistrées depuis 1995 au droit du piézomètre 04513X0112 dans le bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre ont une amplitude faible qui

n'excède généralement pas 2 mètres (cf. Illustration 24). Les cycles annuels du battement de la nappe sont bien marqués.

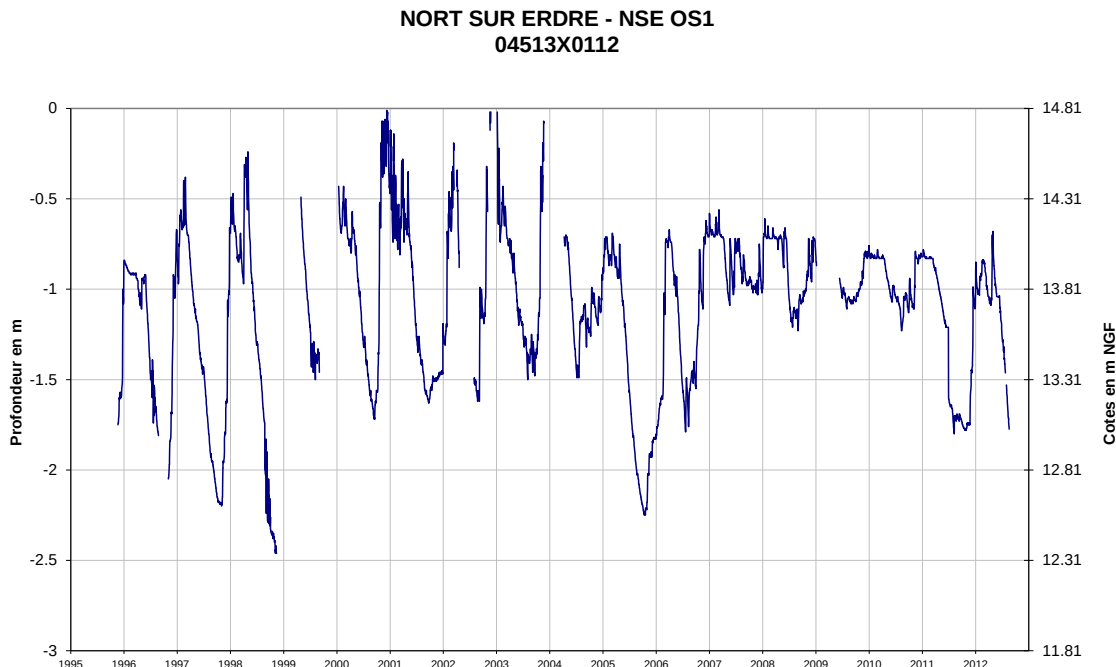


Illustration 24 : chronique piézométrique des calcaires oligocènes du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre

Les caractéristiques hydrodynamiques des calcaires captifs, inférieures à celles des sables pliocènes (transmissivité de l'ordre de $3 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ et coefficient d'emmagasinement voisin de $6 \cdot 10^{-4}$), sont toutefois suffisantes pour permettre l'exploitation des forages à des débits de quelques dizaines à une centaine de $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Du fait de son caractère captif, la nappe est protégée des pollutions et présente une qualité conforme aux normes chimiques et bactériologiques pour l'eau potable. La teneur en nitrates a néanmoins significativement augmenté depuis sa mise en exploitation au début des années 1990.

Malgré l'horizon argilo-marneux qui sépare les deux nappes, des échanges d'eau ont lieu par drainance, vraisemblablement à la faveur des nombreuses failles qui compartimentent le bassin (Illustration 21 et Illustration 26). Le sens des échanges et leur volume dépendent de la différence de charge piézométrique entre les deux aquifères. Compte-tenu de la dégradation avérée de la qualité de la nappe profonde oligocène, ces échanges sont significatifs dans le sens descendant (de la nappe superficielle vers la nappe oligocène). Nous émettons également l'hypothèse d'une continuité hydraulique entre les sables pliocènes et les calcaires oligocènes libres (qui affleurent), les deux formations constituant un seul aquifère que nous nommerons désormais aquifère libre superficiel du bassin sédimentaire de Nort-sur-Erdre.

Piézométrie de l'aquifère libre superficiel

Les variations interannuelles enregistrées depuis 1994 au droit du piézomètre 04518X0042 dans le bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre ont une amplitude faible qui n'excède généralement pas le mètre (cf. Illustration 25). Les cycles annuels du battement de la nappe sont bien marqués.

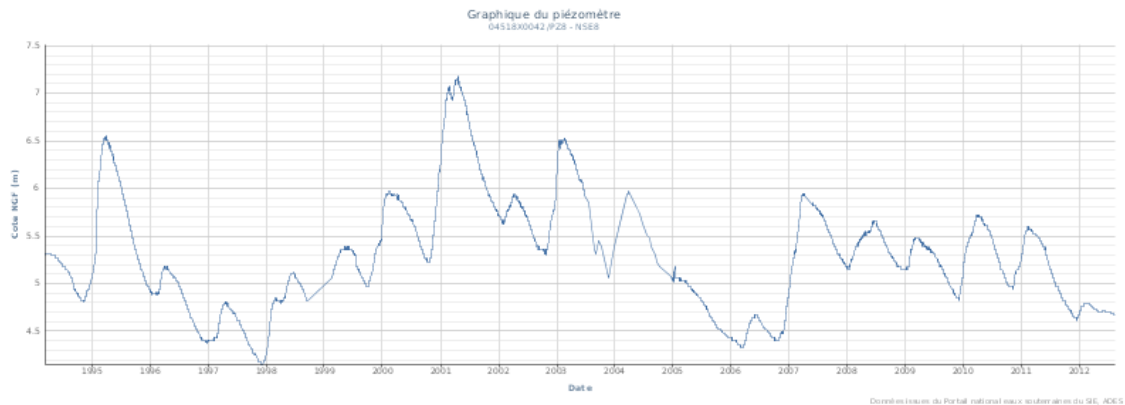


Illustration 25 : chronique piézométrique des sables pliocènes du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre

On dispose de plusieurs cartes piézométriques de la nappe superficielle du bassin de Nort-sur-Erdre :

- Cartes basses et hautes eaux (respectivement septembre 1996 et avril 1999) dressées par Y. Alix hydrogéologue départemental et figurant dans le dossier d'enquête publique préalable à la mise en place des périmètres de protection des captages AEP de Nort-sur-Erdre ;
- Cartes basses et hautes eaux (respectivement octobre 2000 et mars 2001) dressées par Calligée (Suivi piézométrique du bassin sédimentaire de Nort-sur-Erdre, mars 2001).

Les cartes traduisent l'influence des pompages, notamment AEP, qui créent une dépression piézométrique. Les cartes dressées par l'hydrogéologue départemental montrent sans ambiguïté l'existence d'une crête piézométrique au droit de la route départementale D26 (route de Casson). Elle est plus diffuse sur les cartes de Calligée (cf. Illustration 26). Cette crête piézométrique est mouvante, comme en atteste le dossier d'enquête publique : « en saison exceptionnellement sèche telle que 1992 (...) cette ligne de partage des eaux a atteint exceptionnellement les marais de Blanche Noë ».

Le rapport BURGEAP de 1966 signale par ailleurs qu'au droit du haut-fond granitique enclavé dans le bassin tertiaire à la Noë Guy correspond un dôme piézométrique.

Le canal de Nantes à Brest draine la nappe vers l'ouest et vers le sud. Les sens d'écoulement de la nappe libre sont représentés sur l'illustration 26.

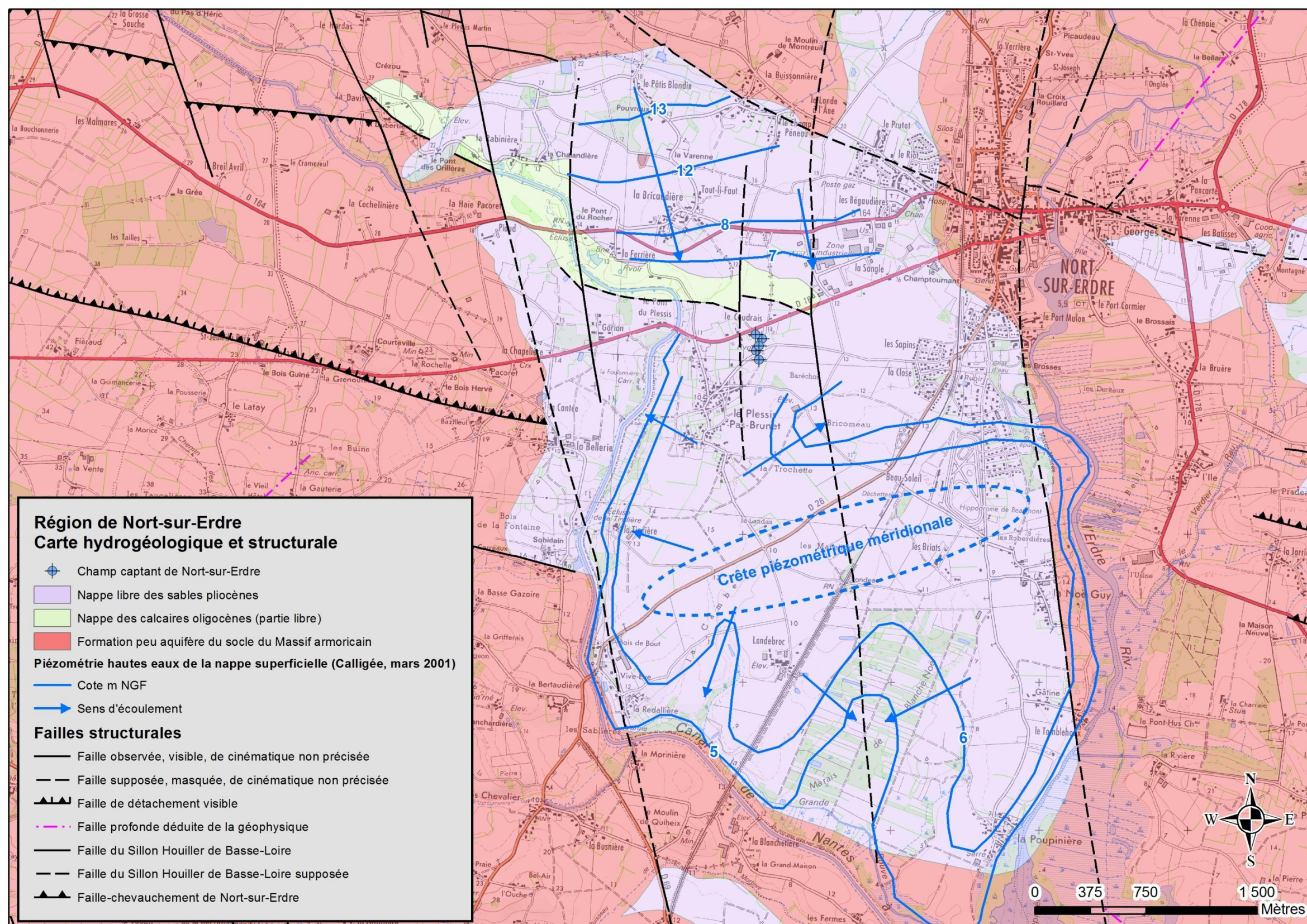


Illustration 26 : carte hydrogéologique et structurale du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre

Relations nappe superficielle – rivières

Le secteur sud-oriental des sables est drainé vers l'ouest en direction de l'Erdre. L'Erdre pourrait réalimenter la nappe des sables indirectement via les marais qui la bordent en période de basses eaux.

Des échanges ont lieu entre le canal de Nantes à Brest et la nappe superficielle, essentiellement dans le sens nappe→canal bien qu'une réalimentation ponctuelle de la nappe par le canal ou les fossés qui le bordent ne puisse être exclue (favorisée d'ailleurs par la position surélevée du canal par rapport au terrain naturel). Le canal ne constitue donc pas une barrière hydraulique.

Bien qu'il soit indiqué dans le dossier de synthèse d'enquête publique préalable à la mise en place des périmètres de protection des captages AEP de Nort-sur-Erdre que des travaux d'étanchéité seraient réalisés sur la rigole alimentaire, cela afin de justifier que son bassin versant ne soit pas pris en compte dans les périmètres de protection des captages AEP, le SDAEP nous informe que ces travaux ne sont toujours pas réalisés en juin 2012. Les échanges entre elle et la nappe superficielle ne sont donc pas négligés.

4.3. DESCRIPTION DES OUVRAGES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE

Deux forages exploitent la nappe superficielle et deux forages exploitent la nappe profonde. Le forage 04514X0017/PB12, désigné F5 et implanté en 1992 dans les calcaires oligocènes, n'est pas exploité.

4.3.1. Nappe superficielle des sables pliocènes

Forage 04514X0006/F1, désigné F1

La coupe technique du forage F1 figure en Annexe 4. Implanté en 1971, il atteint 63 m de profondeur. Il traverse l'intégralité des sables pliocènes jusqu'à atteindre un niveau argileux. Le puits est constitué d'un cuvelage en béton de 1,5 mètres de diamètre intérieur sur une profondeur de 2,5 m, poursuivi à plus petit diamètre (1,20 m) jusqu'à 6,10 m. Un massif filtrant de graviers a été mis en place à partir de 2,5 m de profondeur jusqu'au fond de l'ouvrage. Il est crépiné en diamètre 50 cm sur 42 m de hauteur en plusieurs tronçons :

- de 11 à 17 m de profondeur ;
- de 19 à 31 m ;
- de 33 à 45 m ;
- de 47 à 59 m.

Forage 04514X0007/F2, désigné F2

La coupe technique du forage F2, semblable en de nombreux points au forage F1, figure en Annexe 4. Implanté en 1972, il atteint 63 m de profondeur. Il traverse l'intégralité des sables pliocènes jusqu'à atteindre un niveau argileux. Le puits est constitué d'un cuvelage en béton de 1,5 mètres de diamètre intérieur sur une profondeur de 2,5 m, poursuivi à plus petit diamètre (1,20 m) jusqu'à 6,80 m. Un massif filtrant de graviers a été mis en place à partir de 2,5 m de profondeur jusqu'au fond de l'ouvrage. Il est crépiné en diamètre 50 cm sur 42 m de hauteur en plusieurs tronçons :

- de 11 à 17 m de profondeur ;
- de 19 à 31 m ;
- de 33 à 45 m ;
- de 47 à 59 m.

4.3.2. Nappe profonde des calcaires oligocènes

Forage 04514X0013/PB8, désigné F3

Il s'agit d'un forage réalisé en janvier 1992, profond de 123,5 m. Sa coupe technique figure en Annexe 4. Il est crépiné de 86 à 118 m de profondeur. L'illustration 27 décrit les formations géologiques qu'il traverse.

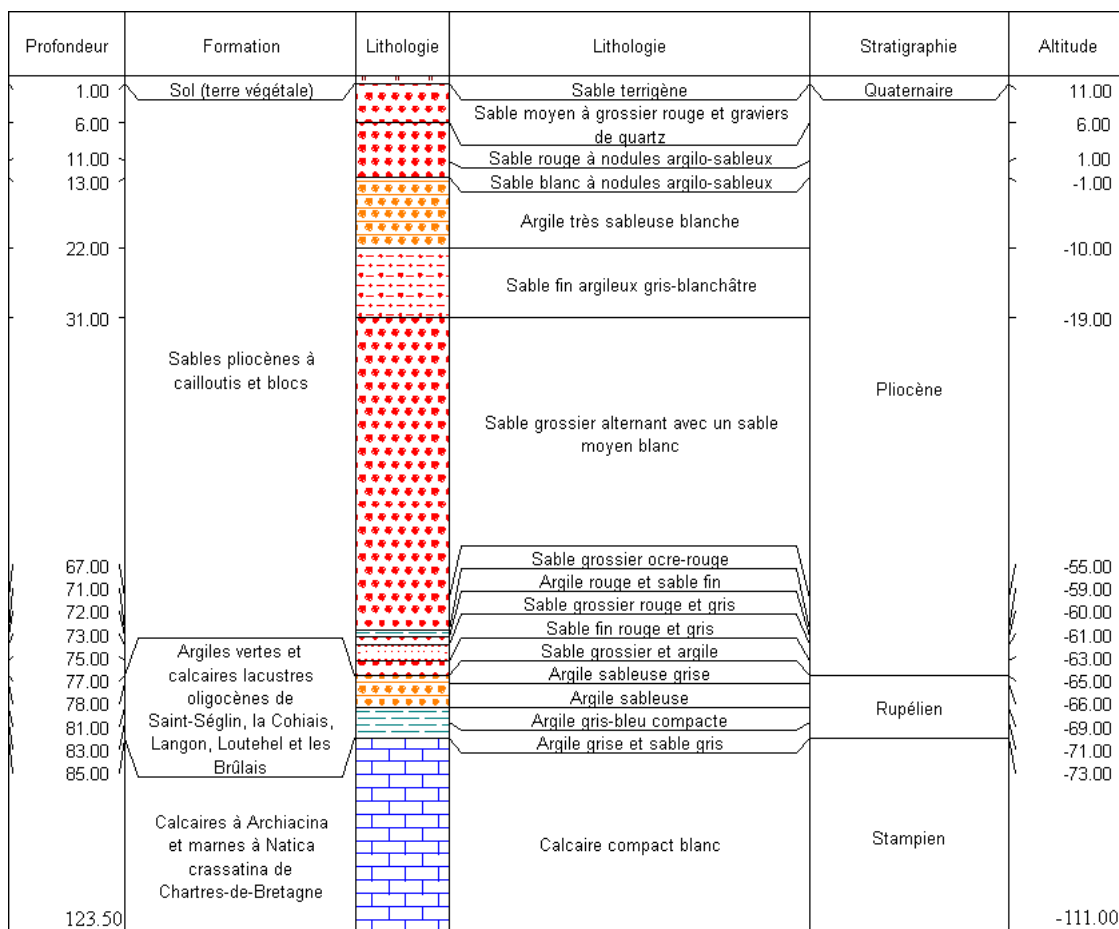


Illustration 27 : log géologique validé du forage 04514X0013

Forage 04514X0016/PB11, désigné F4

Il a été réalisé en 1992 et atteint une profondeur de 134,40 m. Sa coupe technique figure en Annexe 4. Il est crépiné de 69,35 m à 113,55 m soit 44,20 m. L'illustration 28 décrit les formations géologiques qu'il traverse.

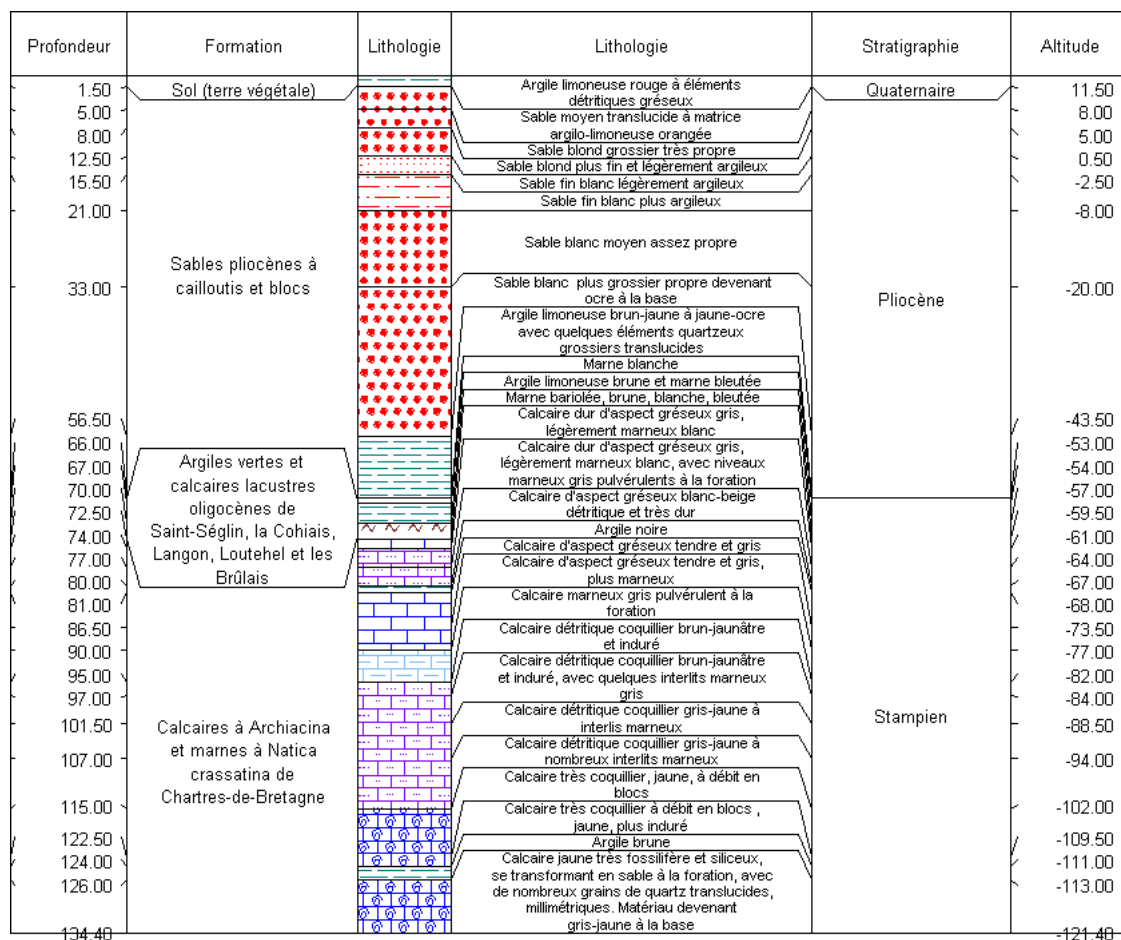


Illustration 28 : log géologique validé du forage 04514X0016/PB11

4.3.3. Conditions d'exploitation

Les forages F1 et F2 sont exploités à des débits voisins de $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. F3 et F4 sont exploités à un débit voisin de $150 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. L'usine de production d'eau potable de Nort-sur-Erdre produit environ 2 Mm^3 d'eau par an, en diminution du fait de la dégradation de la qualité de l'eau du bassin. L'usine de production d'eau potable de Saffré assure le complément.

4.4. DÉLIMITATION DES BASSINS D'ALIMENTATION DES CAPTAGES

Compte-tenu de la proximité des cinq ouvrages, il est pertinent de ne délimiter qu'un seul BAC, valable pour le champ captant du Plessis-Pas-Brunet.

4.4.1. Limites occidentale et septentrionale du BAC sur les formations géologiques du Massif armoricain

À l'ouest et au nord du Plessis-Pas-Brunet, les formations géologiques du socle sont constituées de roches peu perméables (essentiellement des schistes et des orthogneiss) : le ruissellement y est prépondérant par rapport à l'infiltration. S'il se fait en direction des sables pliocènes du bassin tertiaire, les eaux de ruissellement s'infiltreront dans les sables (en particulier au niveau des contre-fossés qui bordent la rive occidentale du canal de Nantes à Brest) et contribueront à l'alimentation des captages du Plessis-Pas-Brunet, le canal ne constituant pas une barrière hydraulique puisque des échanges canal → nappe sont possibles (cf. 4.2.3).

Les zones du bassin versant où affleurent les roches peu perméables du socle contribuent donc indirectement à l'alimentation des captages AEP et sont intégrées au BAC de Nort-sur-Erdre ; aussi la crête topographique constitue-t-elle les limites occidentale et septentrionale du BAC, du lieu-dit « les Chaffauts » à la Redallière.

Il convient de signaler ici que ces considérations conduisent à étendre le BAC dans le secteur Languin – le Pré de la Haie – les Chaffauts par rapport à la version validée par le groupe de travail en novembre 2010.

4.4.2. Limite méridionale du BAC dans les sables pliocènes

Sur les sables pliocènes, l'infiltration est prépondérante par rapport au ruissellement ; la crête piézométrique méridionale constitue la limite sud du BAC. Cette crête étant mouvante selon la situation piézométrique de la nappe superficielle (cf. § 4.2.3), on prend pour limite du BAC la position de la crête la plus méridionale connue (au niveau de la Blanche Noë), de façon à délimiter ainsi le BAC le plus vaste possible.

La limite méridionale du BAC va de la Redallière à la Noë Guy en passant par Landebroc.

4.4.3. Limite orientale du BAC

De la Noë Guy au quartier « la Close » de Nort-sur-Erdre, la limite du BAC est définie par une crête piézométrique.

Au-delà vers le nord et jusqu'au quartier « le Prutot », elle épouse les contours du périmètre de protection rapprochée qui intègre la zone d'appel maximale des pompes AEP (d'après le dossier de synthèse d'enquête publique préalable à la mise en place des périmètres de protection des captages).

Du Prutot à Pécot, la limite du BAC est définie d'abord par une crête piézométrique puis par une crête topographique qui partage le ruissellement sur les formations géologiques peu perméables du socle entre les écoulements se dirigeant vers l'extérieur du BAC et ceux se dirigeant vers les sables pliocènes, éventuellement via la rigole alimentaire (dont le bassin est ainsi inclus dans le BAC compte-tenu des

échanges possibles entre elle et la nappe – cf. § 4.2.3). La route départementale D69, bordée de fossés, constitue la limite nord-orientale du BAC, de Pécot à la Ménantière.

De la Ménantière aux Chaffauts, la limite du BAC correspond à la limite de présence de l'aquifère superficiel des sables pliocènes.

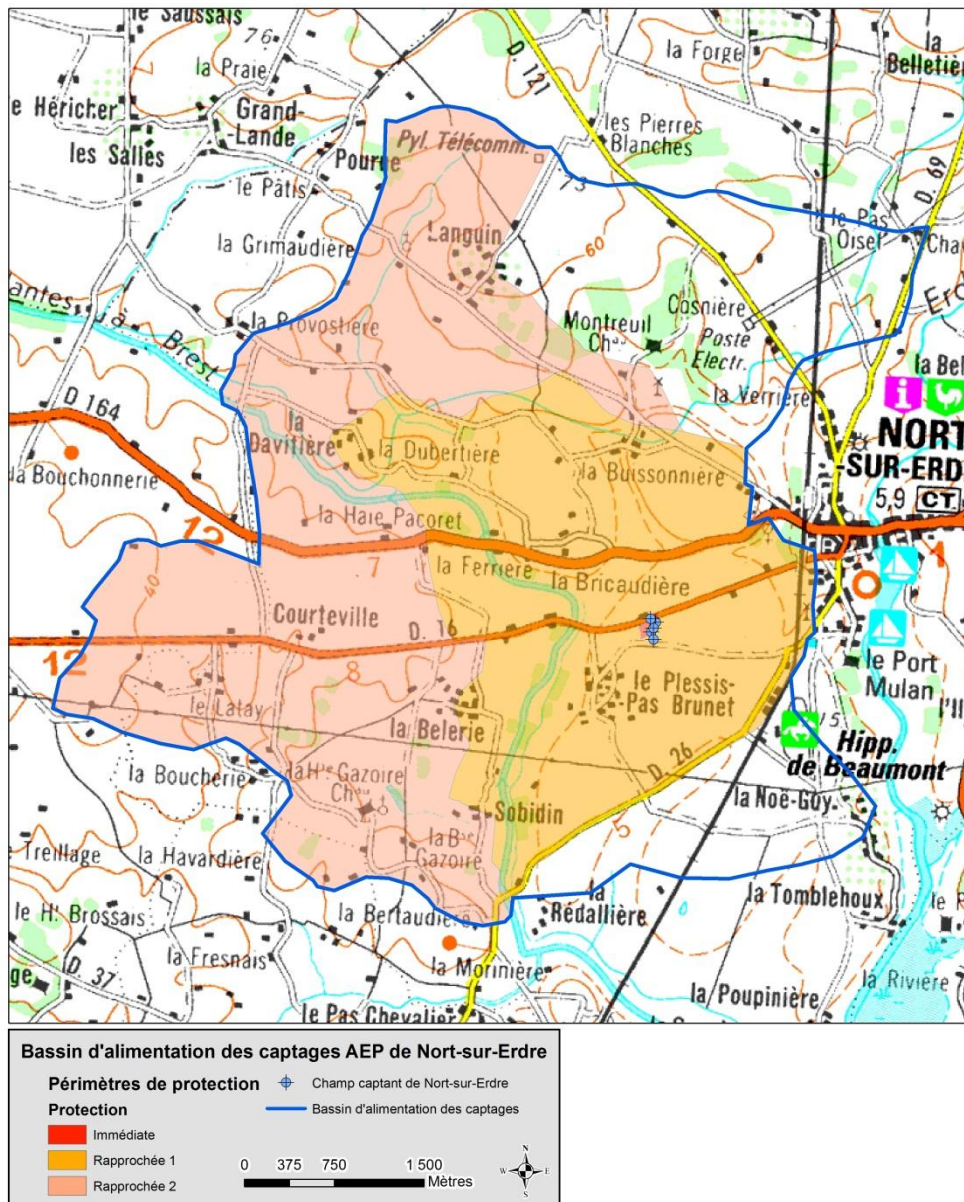


Illustration 29 : bassin d'alimentation des captages du Plessis-Pas-Brunet (Nort-sur-Erdre)

La superficie du BAC de Nort-sur-Erdre atteint 29,68 km² (2 968 ha).

4.4.4. Cohérence avec les périmètres de protection des captages

Le BAC englobe les périmètres de protection rapprochée 1 et 2 des captages AEP de Nort-sur-Erdre, comme l'illustre la carte ci-dessus. La différence entre PPC et BAC provient du fait que le bassin versant amont de la rigole alimentaire a été exclu des PPC car des travaux d'étanchéité du cours d'eau devaient avoir lieu, interdisant tout échange entre la rigole et la nappe superficielle, et en particulier une éventuelle réalimentation de la nappe par le cours d'eau ; constatant qu'ils ne sont pas encore réalisés, nous avons inclus dans le BAC le bassin versant amont de la rigole alimentaire (jusqu'au tunnel des Noës Bodiers).

4.5. CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA VULNÉRABILITÉ

En chaque point du BAC, on calcule la vulnérabilité de l'aquifère le plus vulnérable aux pollutions diffuses. Dans le bassin de Nort-sur-Erdre, il s'agit partout de l'aquifère libre superficiel (qu'il soit celui des sables pliocènes ou celui des calcaires oligocènes libres).

4.5.1. Type d'aquifère

« Forçage » de la note de vulnérabilité des roches peu aquifères du socle

La méthodologie classique détaillée dans le guide national répond mal à l'existence dans le BAC de zones du socle peu aquifères prises en compte pour leur capacité à contribuer indirectement à l'alimentation de l'aquifère *via* des phénomènes de ruissellement. La note finale de vulnérabilité a été « forcée » dans ces zones par rapport au résultat qui aurait été obtenu par la résolution de l'analyse multicritères.

La note de vulnérabilité 1,5 (classe de vulnérabilité faible) a été attribuée aux mailles concernées.

Roches du bassin sédimentaire

- La perméabilité des sables pliocènes est essentiellement assurée par l'interconnexion des pores de la matrice (porosité d'interstices) ; aucune discontinuité principale favorisant les écoulements dans un secteur plutôt qu'un autre n'est mentionnée dans la bibliographie ou ne peut être mise en évidence au moyen des données recueillies. On considère donc que le milieu est « continu homogène » ;
- La perméabilité des calcaires oligocènes est en revanche assurée à la fois par l'existence de fissures dans la roche (porosité de fractures) et, peut-être dans une moindre mesure, par l'interconnexion des pores ;
- La superficie où affleurent les calcaires oligocènes est négligeable devant la superficie où sont présents les sables pliocènes (*a fortiori* devant la superficie totale du BAC) ;

- Aucune connaissance de phénomènes karstiques sur la zone (pertes, dolines...);
- La surface piézométrique est relativement plane.

Ces éléments nous conduisent à considérer la nappe libre superficielle du bassin de Nort-sur-Erdre comme un **système aquifère continu**.

4.5.2. Paramètres pris en compte

Les paramètres pris en compte pour un système aquifère continu figurent dans le Tableau 2 (cf. § 3.5.2).

4.6. CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES HORS ZONE DE SOCLE

La classification des paramètres est présentée dans le Tableau 3 et le Tableau 4 (cf. § 3.6). Seule la partie sédimentaire du BAC de Nort-sur-Erdre est concernée par cette classification. La discrétisation du bassin d'alimentation des captages est obtenue au moyen d'un maillage carré de pas d'espace 100 m.

4.6.1. Pluies efficaces

Compte-tenu de la taille des BAC, les pluies efficaces sont réputées homogènes : ce paramètre n'est pas discrétisé. La bibliographie indique une valeur moyenne de 180 mm pour les pluies efficaces. Le Tableau 3 (cf. § 3.6) donne la clef de répartition des notes pour ce paramètre. **La note 2 est attribuée à toutes les mailles du BAC.**

4.6.2. Couverture pédologique protectrice

La carte des sols transmise par le SDAEP de Loire-Atlantique couvre pratiquement tout le bassin d'alimentation des captages de Nort-sur-Erdre ; seules les extrémités nord-est et sud-est du BAC n'ont pas été traitées, et la zone couverte est lacunaire (pas de données dans les zones urbanisées et le long du canal).

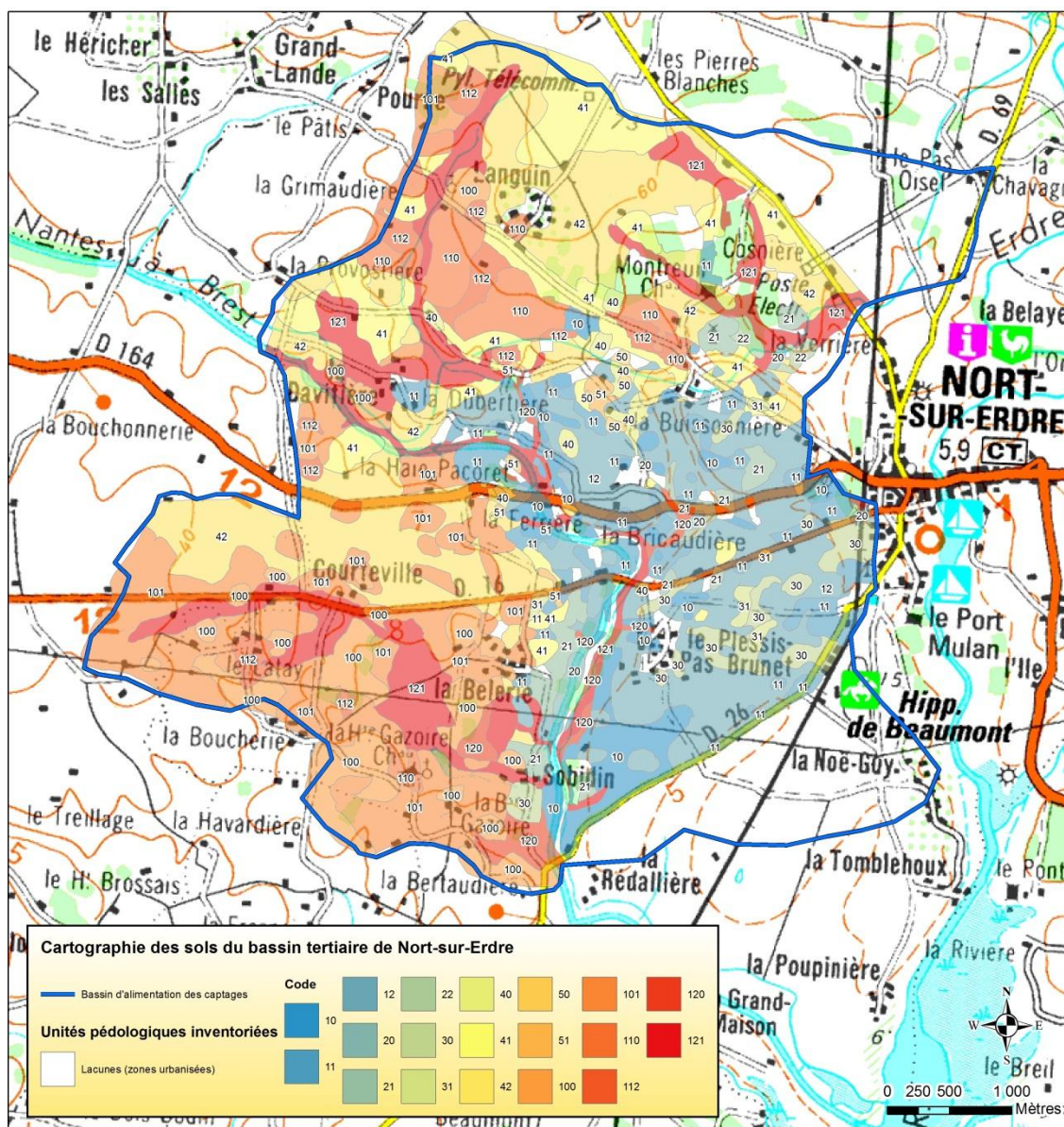


Illustration 30 : carte des sols du bassin tertiaire de Nort-sur-Erdre

CODE	SUBSTRAT	DESCRIPTION	TEXTURE	TAUX CAILLOUX	NATURE	EPAISSEUR	CODE SOL
40	Substrat divers, souvent peu perméable, non calcaire "Pa"	Sols profonds à moyennement profonds sains à faiblement hydromorphe	1	2	1	1	1
42	Substrat divers, souvent peu perméable, non calcaire "Pa"	Sols moyennement profonds à profonds, hydromorphes sur altérée argileuse	1	2	1	1	1
30	Dépôts limoneux éoliens "L"	Sols très profonds sains à dominante limoneuse	2	2	2	1	2
31	Dépôts limoneux éoliens "L"	Sols profonds faiblement hydromorphes à dominante limoneuse	2	2	2	1	2
41	Substrat divers, souvent peu perméable, non calcaire "Pa"	Sols moyennement hydromorphes	1	2	1	2	2
101	Sols sur gneiss et micaschistes "G, Ga"	Sols moyennement profonds à profonds, généralement hydromorphes sur substrat altéré peu perméable	2	2	2	1	2
121	Sol d'apport alluvial et colluvial "A, C"	Sols alluviaux-colluviaux hydromorphes à dominante généralement argileuse	1	2	1	2	2
12	Substrat principalement graveleux "P"	Sols profonds sains à dominante limono-sableuse	3	2	3	1	3
21	Substrat sableux "PS"	Sols profonds sains à dominante sableuse	3	2	3	1	3
50	Marnes oligocènes "Pm"	Sols sains, calcaires ou calciques, développés sur marnes	2	2	2	2	3
51	Marnes oligocènes "Pm"	Sols hydromorphes, calcaires ou calciques, développés sur marnes	2	2	2	2	3
112	Sol sur schistes et quartzites "S, Sa, SQ"	Sols hydromorphes de profondeur variable sur schiste ou quartzite	2	2	2	2	3
10	Substrat principalement graveleux "P"	Sols peu épais, graveleux sains	3	2	3	3	4
11	Substrat principalement graveleux "P"	Sols moyennement profonds sains	3	2	3	2	4
20	Substrat sableux "PS"	Sols peu profonds sains à dominante sableuse	3	2	3	3	4
22	Substrat sableux "PS"	Sols hydromorphes à dominante sableuse	3	2	3	2	4
100	Sols sur gneiss et micaschistes "G, Ga"	Sols peu épais, sains sur Gneiss peu altéré	2	2	2	3	4
110	Sol sur schistes et quartzites "S, Sa, SQ"	Sols peu profonds, sains souvent chargés en éléments grossiers	2	2	2	3	4
120	Sol d'apport alluvial et colluvial "A, C"	Sols colluviaux sains ou peu hydromorphes à dominante généralement sableuse	3	2	3	2	4

Tableau 5 : 19 types de sols ont été inventoriés sur le bassin de Nort-sur-Erdre

La méthodologie pour déterminer ailleurs la note de sol en fonction des caractéristiques pédologiques rencontrées est présentée dans le § 3.6 et le Tableau 4 (p. 34). La description des sols et de leur substrat a permis de caractériser la texture, la nature et l'épaisseur des sols (en l'absence d'informations quant à la teneur en cailloux, la note 2 a été attribuée systématiquement pour ce paramètre), et enfin la note de sol résultante (cf. Tableau 5), pour chaque unité pédologique identifiée et cartographiée (cf. Illustration 30).

Dans les secteurs où les sols ne sont pas décrits, la nature des formations géologiques affleurantes a déterminé la note de sol :

- Sables pliocènes → note 4 (sauf dans le secteur septentrional où, parce que la nappe qu'ils contiennent ne contribue qu'indirectement à la portion de nappe alimentant les captages *via* la rigole alimentaire, la note 2 a été attribuée)
- Cailloutis, sables et argiles remaniés du Plio-quaternaire en placage sur les sables pliocènes → note 1
- Revêtements d'interfluves du Pléistocène inférieur en placage sur les sables pliocènes → note 1

La cartographie de ce paramètre figure en Annexe 5.

4.6.3. Infiltration

L'IDPR, disponible sous forme de grille sur le bassin Loire-Bretagne (l'échelle de validité est le 1/50 000), est utilisé sous forme polygonale. À cet effet, une valeur moyenne de l'IDPR est calculée pour chaque polygone de chaque formation géologique de la carte géologique harmonisée de la Sarthe.

Le Tableau 3 (cf. § 3.6) donne la clef de répartition des notes pour ce paramètre. La cartographie qui en résulte est présentée en Annexe 5.

4.6.4. Épaisseur de la zone non saturée (ZNS)

En l'absence de carte piézométrique couvrant l'intégralité du bassin pliocène, il n'a pas été possible de calculer la ZNS en chaque point du BAC. La méthode suivante a été appliquée :

- note 3 partout (la moyenne de l'épaisseur de la ZNS est comprise entre 2 et 5 m),
- sauf dans trois zones où la campagne piézométrique menée par le bureau Calligée lors des hautes eaux de 2001 montre que l'épaisseur de la ZNS est inférieure à 2 m.

La cartographie du paramètre « ZNS » qui résulte de ces calculs figure en Annexe 5.

4.6.5. Perméabilité

L'objectif consiste avant tout à mettre en évidence les zones plus perméables que d'autres : on a donc appliqué une approche relative.

- **note 3** là où les sables pliocènes sont présents (à l'affleurement ou sous couverture)
- **note 2** là où affleurent les calcaires oligocènes

La cartographie qui en résulte figure en Annexe 5.

4.7. ANALYSE MULTICRITÈRES – NOTE DE VULNÉRABILITÉ

La note de vulnérabilité dans chaque maille du BAC (hors socle, où la vulnérabilité est réputée faible, cf. § 4.5.1) est obtenue par la formule suivante :

$$\text{Vulnérabilité} = 0,1 P + 0,25 S + 0,3 I + 0,2 H + 0,15 K$$

(les lettres renvoient aux paramètres figurant dans le Tableau 2)

L'illustration 31 présente la cartographie de la vulnérabilité du bassin d'alimentation des forages de Nort-sur-Erdre. La classe de vulnérabilité « très faible » n'est pas rencontrée.

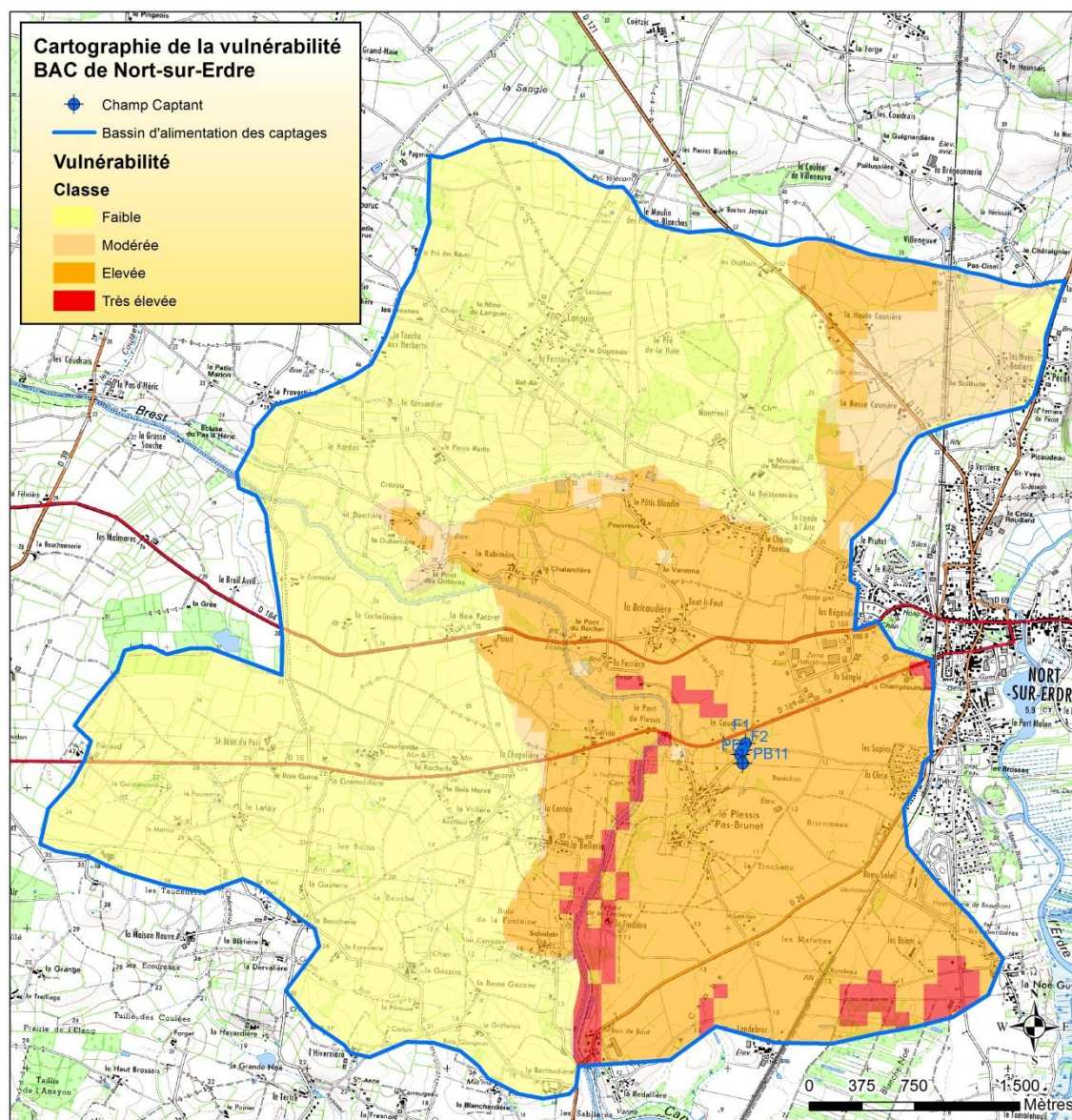


Illustration 31 : cartographie de la vulnérabilité du BAC de Nort-sur-Erdre (discrétisation maillée du BAC)

Conformément aux souhaits du groupe de travail, un traitement ultérieur a permis de préciser les contours des zones d'égale vulnérabilité, au moyen des contours des formations géologiques et des zones de sol (Illustration 32).

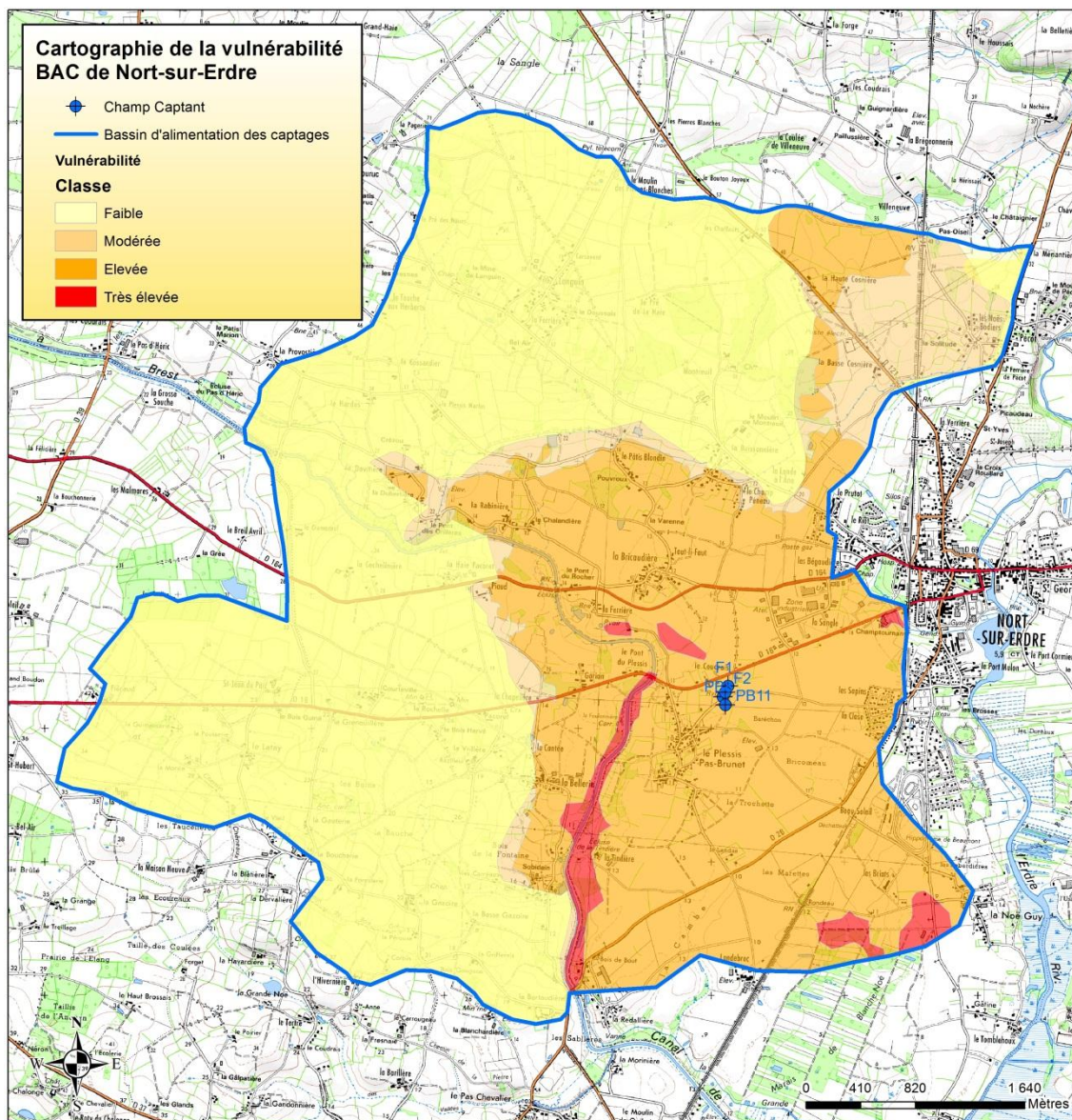


Illustration 32 : cartographie de la vulnérabilité du BAC de Nort-sur-Erdre

5. Captages de Saffré

5.1. DOCUMENTS CONSULTÉS

Les documents consultés pour établir la délimitation du bassin d'alimentation des captages de Saffré et cartographier sa vulnérabilité sont les suivants :

- Cartes géologiques au 1/50 000 (et notices associées) de Nort-sur-Erdre et Nozay
- Carte géologique harmonisée du département de la Loire-Atlantique
- Cartes topographiques au 1 /25 000 (© IGN)
- Données de la Banque du Sous-Sol (BSS)
- Guide méthodologique national pour la délimitation des bassins d'alimentation des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses (rapport BRGM/RP-55874-FR, sept. 2007)
- Résultats des essais de pompage des captages de Saffré (DDAF de Loire-Atlantique, 1991)
- Mise en place d'un réseau piézométrique complémentaire (S.15 à S.21). Compte-rendu géologique et technique. Bassin tertiaire de Saffré (Lithologic, réf. R/YG/92.005, février 1992)
- Traçage à la fluorescéine. Résultats et conséquences. Bassin de Saffré (Lithologic, réf. R/YG/93.021, avril 1993)
- Synthèse géologique et hydrogéologique du bassin tertiaire de Saffré (Lithologic, réf. R/YG/94.018, mars 1994)
- Conseil général de Loire-Atlantique. Suivi piézométrique du bassin sédimentaire de Saffré (Calligée, réf.00-40100 version 1, novembre 2000)
- Recherches de cavités karstiques. Commune de Saffré. Diagnostic géotechnique (CEBTP, Dossier n°D712.5.033, juin 2005)
- Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable de la région de Nort-sur-Erdre. Captages de la Chutenaie à Saffré. Études préalables à l'instauration des périmètres de protection (Géoarmor, janvier 2004)
- Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable de la région de Nort-sur-Erdre. Avis de l'hydrogéologue agréé en vue de l'instauration des périmètres de protection des captages de la Chutenaie à Saffré (David OUARY, septembre 2007)
- Annuaire 2008 des nappes d'eau souterraine de Loire-Atlantique, Conseil général de Loire-Atlantique.
- Toutain J. (2010) – Synthèse sur les aléas liés aux cavités souterraines sur le territoire de la commune de Saffré (44) – Rapport BRGM/RP-58502-FR, 27 p., 9 ill.
- Carte des unités pédologiques du bassin de Saffré (SDAEP 44)
- Carte des fossés du bassin de Saffré (SDAEP 44).

5.2. CONTEXTES

5.2.1. Hydrographie

Le bassin tertiaire de Saffré est limitrophe au BAC de Nort-sur-Erdre (Illustration 1). Il est traversé par l'Isac et ses affluents : le ruisseau de Puceul, le ruisseau du Pas Sicard et le ruisseau de l'Apsiguais. Leur bassin versant en amont de la confluence entre l'Isac et le Pas Sicard capte une superficie de 83,6 km² (8360 ha).

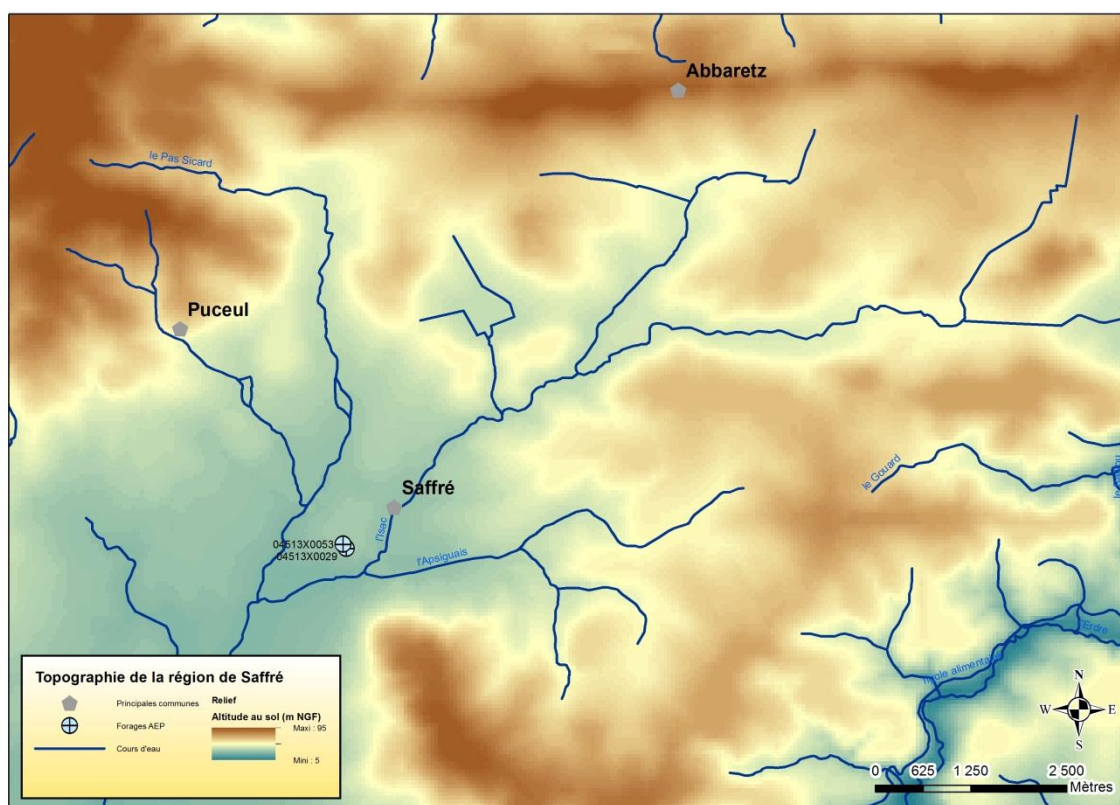


Illustration 33 : hydrographie et relief de la région de Saffré

La karstification des calcaires oligocènes (cf. 5.2.3) provoque l'infiltration totale ou partielle des cours d'eau. Des mesures de débit effectuées en 1992 sur le Pas-Sicard ont permis de montrer que le débit de perte était de l'ordre d'une centaine de m³.h⁻¹. Des travaux de colmatage, peu efficaces, n'ont pas permis de résorber le phénomène.

5.2.2. Géologie

Dans la région étudiée, le socle est constitué par des schistes et grès paléozoïques appartenant d'une part au synclinorium de Nozay et d'autre part au complexe de Saint-Georges-sur-Loire, qui est chevauchant sur le précédent.

Dans le bassin versant de l'Isac affleurent successivement, en bandes plus ou moins larges orientées grossièrement est-ouest, des roches appartenant au socle armoricain. Du nord au sud :

- les grès d'Abbaretz, qui forment la crête limitant le bassin versant au nord,
- les schistes de Nozay et argilites de Saint-Perreux,
- les grès de l'Eclys,
- la formation de Fégréac, à dominante schisteuse.

C'est au sein de cette dernière que s'est développé le bassin tertiaire de Safré, ellipse allongée est-ouest, constituée de formations sédimentaires datées de l'Éocène au Plio-Quaternaire. À l'affleurement, ces formations se présentent en auréoles concentriques avec, de la périphérie vers le centre:

- les formations sableuses du Pliocène :
 - d'abord en recouvrement sur les argiles du Lutétien supérieur,
 - puis sur les marnes et argiles du Bartonien supérieur - Rupélien³ inférieur,
 - enfin sur les marnes et calcaires du Rupélien supérieur ;
- les calcaires du Rupélien supérieur constituant l'aquifère exploité par les forages de la Chutenaie (cf. § 5.3) :
 - calcaires marins à Archiacine au sud-ouest,
 - calcaires lacustres, marnes et argiles au nord-est.

Le bassin est profondément effondré (plus de 330 m) dans sa partie centrale au droit des calcaires rupéliens, et présente une importante dissymétrie. Il est affecté par un réseau de failles dont plusieurs sont orientées nord-nord-ouest/sud-sud-est. Les importants dépôts plio-quaternaires ou pliocènes (sables et/ou graviers plus ou moins argileux ou limoneux) recouvrent en partie le bassin tertiaire et masquent les limites des différentes formations.

De nombreux sondages ont été exécutés successivement depuis une cinquantaine d'années lors de différentes études. Ils ont permis d'affiner la connaissance du bassin tertiaire.

³ Aussi appelé Stampien

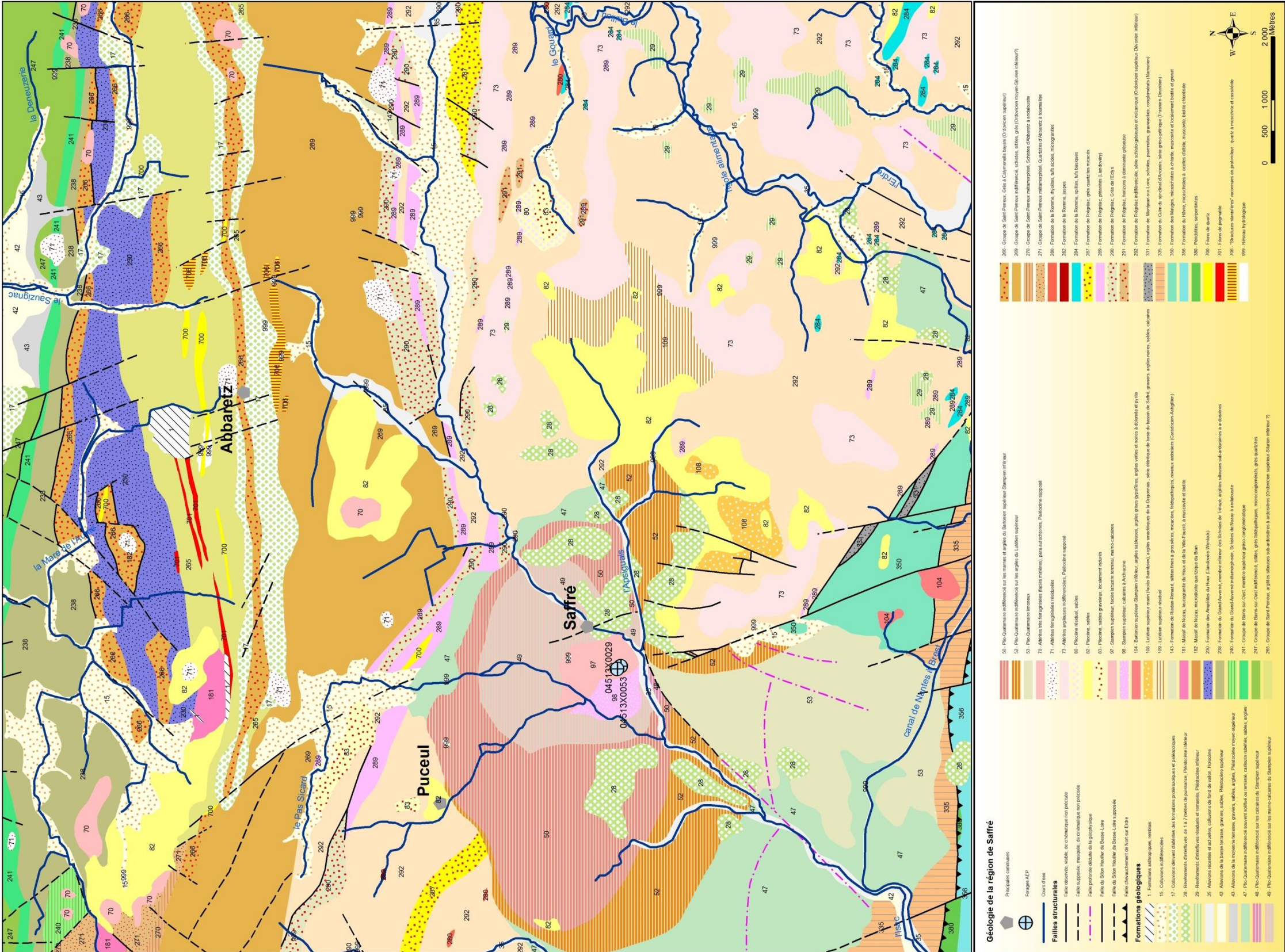


Illustration 34 : carte géologique de la région de Saffré

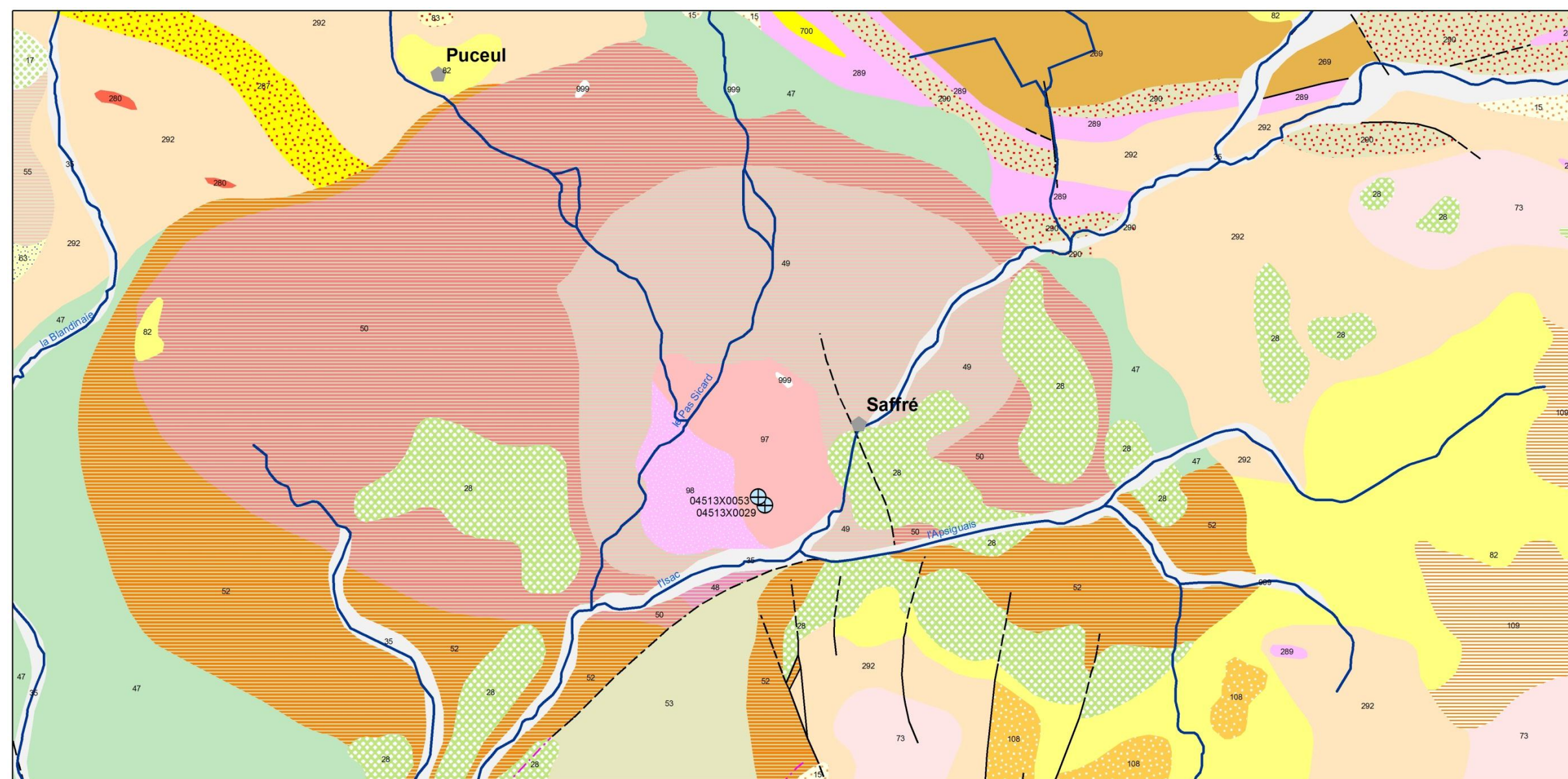


Illustration 35 : carte géologique du bassin tertiaire de Saffré

5.2.3. Hydrogéologie

Formation peu aquifère des roches du Massif armoricain

Le massif encaissant du socle armoricain est constitué de roches généralement peu perméables ; la ressource en eau souterraine exploitable est faible et l'obtention de débits intéressants se limite aux zones de failles et de fissures.

Aquifère superficiel des sables pliocènes

Aquifère libre, il est alimenté directement par les précipitations du bassin, ou indirectement via le ruissellement sur les roches peu perméables du socle. Contrairement à l'aquifère des sables pliocènes du bassin sédimentaire de Nort-sur-Erdre voisin, sa faible épaisseur dans le bassin de Saffré réduit ses caractéristiques hydrodynamiques (transmissivité) et ne permet pas son exploitation à des débits suffisants pour faire de lui une ressource d'importance.

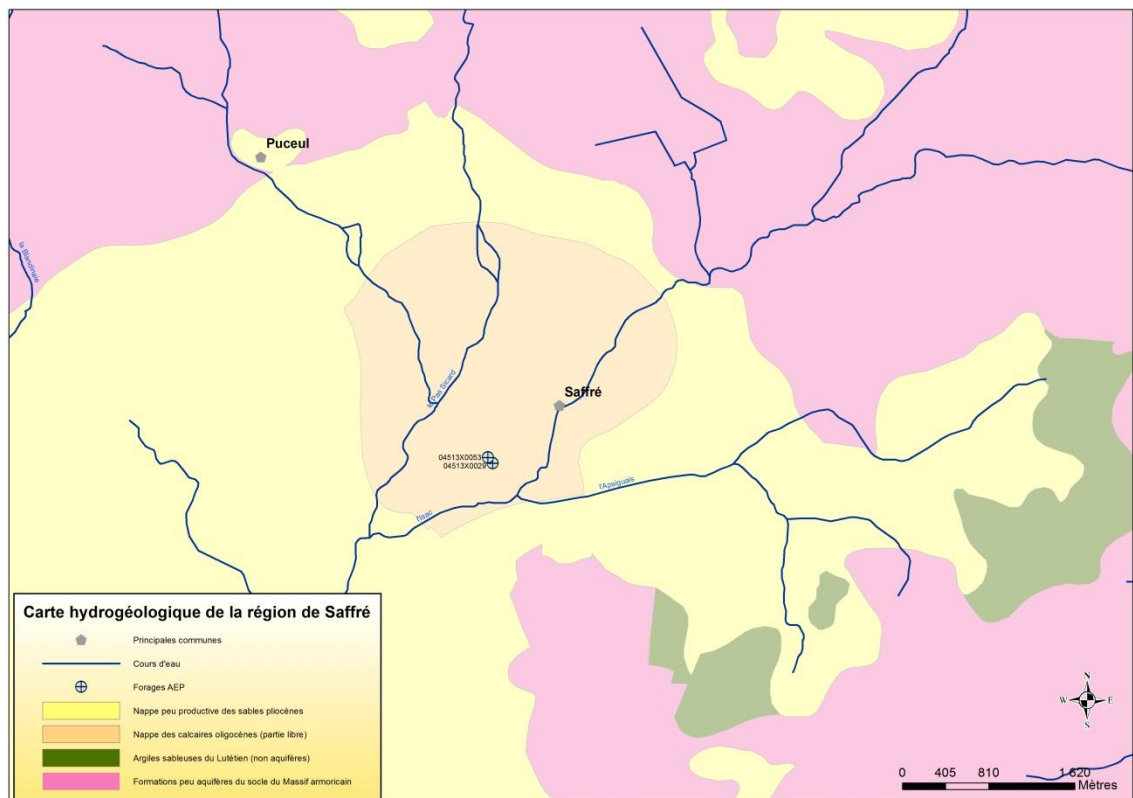


Illustration 36 : carte hydrogéologique de la région de Saffré (source BDLISA)

Aquifère des calcaires oligocènes

Les calcaires oligocènes constituent l'aquifère le plus intéressant. Il est exploité par les forages de la Chutenaie et comprend:

- en position supérieure : des calcaires marneux, lacustres, fissurés et karstifiés, à l'affleurement ou localement recouverts d'importants niveaux argileux,
- en position inférieure le plus souvent (à l'affleurement au sud-ouest seulement) : des calcaires marins à Archiacine, poreux. Ils constituent l'essentiel du réservoir aquifère.

Karstification du réservoir oligocène

Observés depuis longtemps (1853 !⁴) sur le bassin de Saffré, des effondrements de surface se créent soit dans le lit des ruisseaux, soit en plein champ ou en zone habitée, le plus souvent à la reprise des pluies en automne. Ils sont concentrés en quelques zones où le toit de calcaire est peu profond (cf. Illustration 37).

Ils s'expliquent par la présence de cavités ou de conduits développés dans le calcaire à faible profondeur. Les terrains meubles de surface les surmontant s'effondrent en générant une cavité à ciel ouvert, de forme cylindrique ou conique.

L'effondrement est provoqué:

- par la reprise des pluies: l'eau s'infiltre dans les terrains qui se sont ressuyés en été et dont la cohésion et donc la stabilité devient plus faibles lorsqu'ils sont saturés d'eau (effet "lubrifiant de l'eau"),
- par une érosion régressive se produisant depuis la cavité calcaire et remontant progressivement vers la surface.

⁴Jean-Baptiste Ogée, Dictionnaire historique et géographique de la province de Bretagne. Nouvelle édition revue et augmentée par A. Marteville et P. Varin (1853). Rennes, Deniel éd., p. 692-693

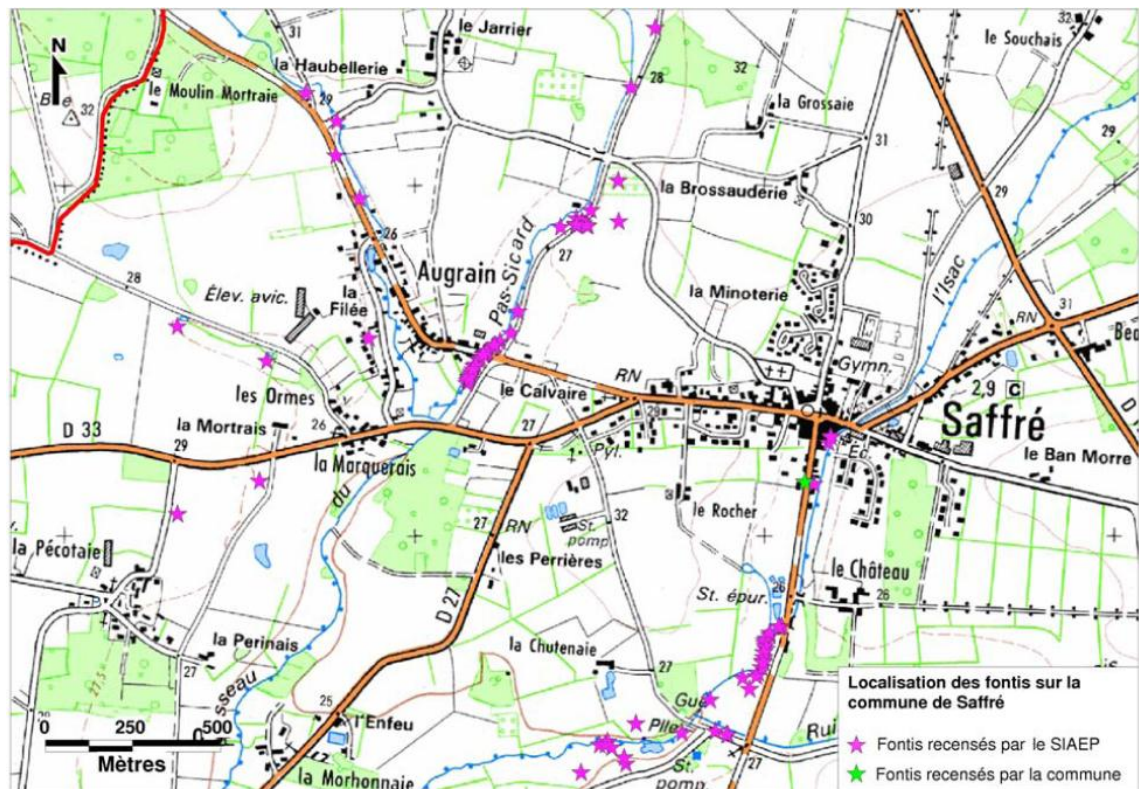


Illustration 37 : carte de répartition des fontis sur la commune de Saffré (in BRGM/RP-58502-FR, source SIAEP de la région de Nort-sur-Erdre et mairie de Saffré)

La plupart des effondrements se produisent dans le lit des ruisseaux où la couverture est moins épaisse (lit souvent creusé de 1 m par rapport au sol) et où les terrains sont rapidement saturés par les écoulements. De plus, la localisation des ruisseaux est souvent guidée par la présence de failles le long desquelles peut se développer l'érosion karstique.

Le karst favorise le drainage du réservoir et de très bons débits peuvent être obtenus, comme c'est le cas pour les forages AEP de la Chutenaie. Du fait de la réalimentation de la nappe par les cours d'eau (prouvée par traçage et mesures de débits), l'aquifère est très vulnérable aux pollutions ponctuelles et diffuses.

5.3. DESCRIPTION DES OUVRAGES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE

Deux forages exploitent les calcaires oligocènes du bassin tertiaire de Saffré pour la production d'eau potable. Ils sont implantés à 750 m au sud-ouest du bourg, près du lieu-dit « la Chutenaie » (Illustration 38).

Les coupes techniques des deux ouvrages sont présentées dans l'Annexe 6. Le Tableau 6 fait la synthèse de leurs caractéristiques techniques.

Forage		F1	F2
N° de classification BSS (B.R.G.M.)		0451-3X-0029 / F2	0451-3X-0053 / F3
IMPLANTATION - LOCALISATION			
Commune		Saffré	Saffré
Coordonnées (Lambert II étendu)	X	304,62 km	2284,77 km
	Y	304,57 km	2284,84 km
Section et parcelle cadastrale		XP 51	XP 51
Cote N.G.F. de la tête du forage		29,44	29,41
Cote sol		31,25	31,75
Géologie		calcaires oligocènes karstifiés	calcaires oligocènes karstifiés
HISTORIQUE			
Date de réalisation		février 1977	juin-juillet 1990
Date de mise en service		/	juillet 1992
Nettoyage-réhabilitation		2002	1992
COUPE TECHNIQUE			
Profondeur de foration		341 m	121 m
Profondeur équipée		120 m	121 m
Profondeur actuelle		107 m	121 m
Cimentation		0 - 30 m	0 - 32 m
Diamètre foration tête		609 mm	530 mm
Diamètre foration corps		445 mm	460 mm
Tubage de tête		acier Ø 475 mm	acier Ø 273 x 283 mm
Tubage du corps		acier Ø 350 mm	inox Ø 313 x 323 mm
Crépines		à fentes oblongues	à nervures repoussées
Position des crépines		entre 30 et 118 m	entre 60,5 et 110,5 m
Massif filtrant		/	32 à 121 m : sable de Loire 3 x 8 mm
POMPAGE			
Position de la pompe/sol		32 m	30 m
Débit de la pompe		220 m³/h	250 m³/h
Débit moyen pompé (2001-2002)		= 3800 m³/j	= 4000 m³/j
Amplitude journalière de variation du niveau d'eau		8 à 12 m	0,8 à 1,5 m
CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES			
Débit spécifique (m³/h/m)		= 20	= 370
Débit critique		= 180 m³/h	non atteint
Transmissivité		T = 7.10 ⁻³ m²/s	3,6.10 ⁻² à 1,15.10 ⁻¹ m²/s

Tableau 6 : caractéristiques des forages F1 et F2 (Géoarmor, 2004)

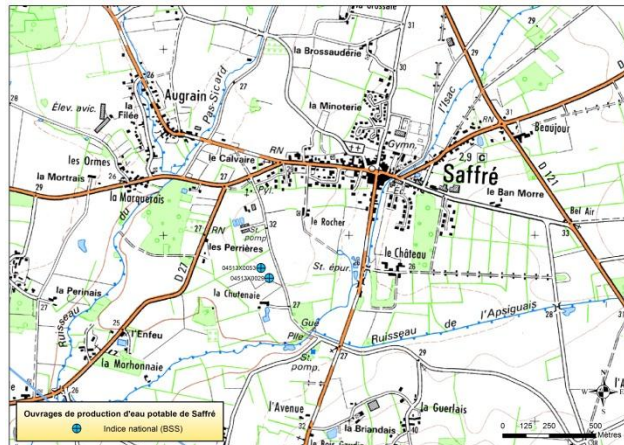


Illustration 38 : implantation des forages de la Chutenaie, Saffré

5.4. BASSINS D'ALIMENTATION DES CAPTAGES

Compte-tenu de la réalimentation avérée de l'aquifère des calcaires oligocènes par les différents ruisseaux traversant le bassin de Saffré (pertes karstiques), l'intégralité du bassin versant en amont de la confluence Isac / Pas Sicard est retenu comme bassin d'alimentation des captages. Il s'agit d'un BAC mixte – endogène et exogène, puisque constitué de terrains carbonatés karstifiés et de terrains non karstifiables, sur lesquels les eaux peuvent ruisseler et s'infiltrer en plusieurs points (pertes).

Le BAC de Saffré figure sur l'illustration 39. Sa superficie atteint 84,60 km² (8 460 ha). Il est conforme au périmètre de protection éloigné des captages.

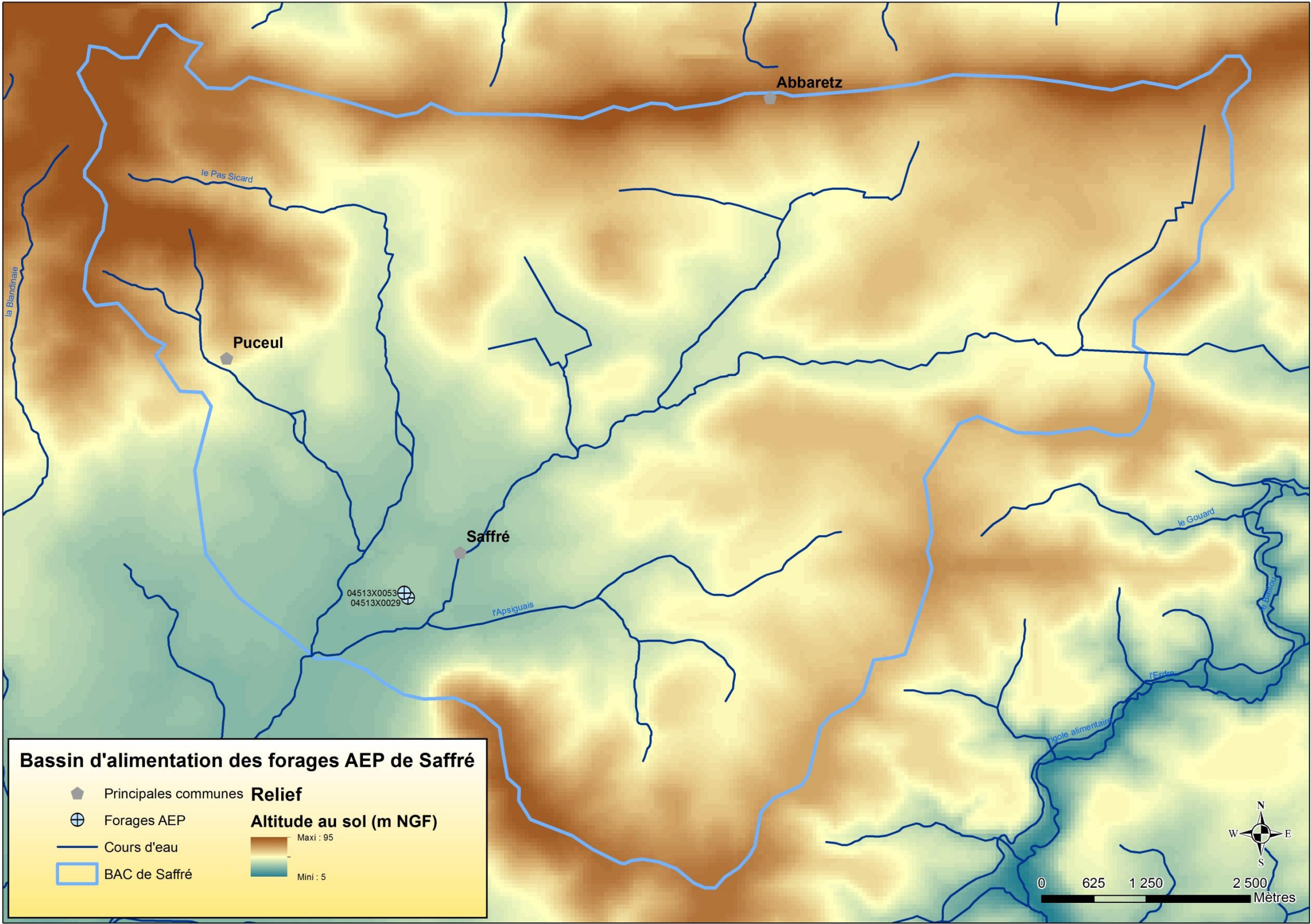


Illustration 39 : bassin d'alimentation des captages de Saffré

5.5. CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA VULNÉRABILITÉ

5.5.1. Type d'aquifère

L'aquifère des calcaires oligocènes du bassin tertiaire de Saffré est un système aquifère **discontinu karstique**, dont le bassin d'alimentation est mixte (exogène et endogène). Les zones exogènes prises en compte dans le BAC pour leur capacité à ruisseler vers des points d'infiltrations (pertes karstiques) correspondent aux zones où affleurent les roches du socle. Dans ces zones, une méthodologie spécifique sera employée pour évaluer la vulnérabilité, tandis qu'ailleurs (bassin sédimentaire tertiaire) la méthodologie du guide national pour un aquifère karstique sera mise en œuvre.

5.5.2. Paramètres pris en compte dans le bassin sédimentaire

Les paramètres pris en compte pour un système aquifère discontinu karstique figurent dans le Tableau 7.

Paramètres		Coefficient de pondération
Roche - critère de caractérisation de la lithologie et de la fracturation	R	30%
Infiltration - déterminée en fonction de la pente des terrains carbonatés	I	50%
Nature de la couverture pédologique	S	10%
Karstification	K	10%
<i>IDPR : indice de développement et de persistance des réseaux</i>		

Tableau 7 : paramètres pris en compte dans le calcul de la note de vulnérabilité d'un système aquifère discontinu karstique

Le paramètre « roche » est déterminé en croisant le degré de fracturation de la roche avec sa teneur en minéraux argileux (plus cette teneur est faible, plus la circulation d'eau est favorisée, et donc la vulnérabilité augmente).

Pour le paramètre « karstification », il s'agit d'évaluer le niveau de développement du karst, au regard des indices de karstification identifiés (par ex. : pertes) et des vitesses de traçage artificiel.

Le paramètre « sol » est décrit dans le Tableau 4.

5.5.3. Paramètres pris en compte dans la zone où le socle affleure

Dans cette zone, c'est le caractère ruisselant des sols à proximité des cours d'eau qui est défavorable à la qualité de la ressource en eau souterraine exploitée à Saffré. La vulnérabilité est réputée très faible, sauf en bordure des cours d'eau : le groupe de travail s'accorde pour attribuer la classe de vulnérabilité « modérée » à toutes les zones situées à moins de 50 m de tout cours d'eau ou fossé (réseau complémentaire identifié par le SIAEP par une enquête de terrain – cf. Illustration 40).

5.6. CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES DU BASSIN TERTIAIRE

Pour plus de détails, le lecteur pourra se référer au § 7.3.2 du guide méthodologique national (rapport BRGM/RP-55874-FR).

5.6.1. Roche

Ce paramètre caractérise le type de formation géologique qui constitue la roche aquifère. En effet, la nature des formations géologiques contrôle en partie les circulations d'eau et donc le transfert des polluants potentiels dans la zone non saturée et dans la zone saturée. La fracturation est aussi prise en compte en même temps que la nature lithologique des terrains.

La cartographie du paramètre R s'appuie sur la carte géologique harmonisée de Loire-Atlantique.

- Là où affleurent les calcaires marins à Archiacine du Rupélien supérieur, la **note 3** est attribuée aux mailles ;
- Là où sont présents les calcaires marneux lacustres du Rupélien supérieur, à l'affleurement ou sous couverture des sables plio-quaternaires, la **note 2** est attribuée aux mailles ;
- Là où affleurent les sables pliocènes sans précision de la nature des roches sous-jacentes, la **note 1** est attribuée aux mailles ;
- Là où sont présentes des formations peu aquifères, à l'affleurement ou sous couverture des sables plio-quaternaires, la **note 0** est attribuée aux mailles.

La cartographie de ce paramètre figure en Annexe 7.

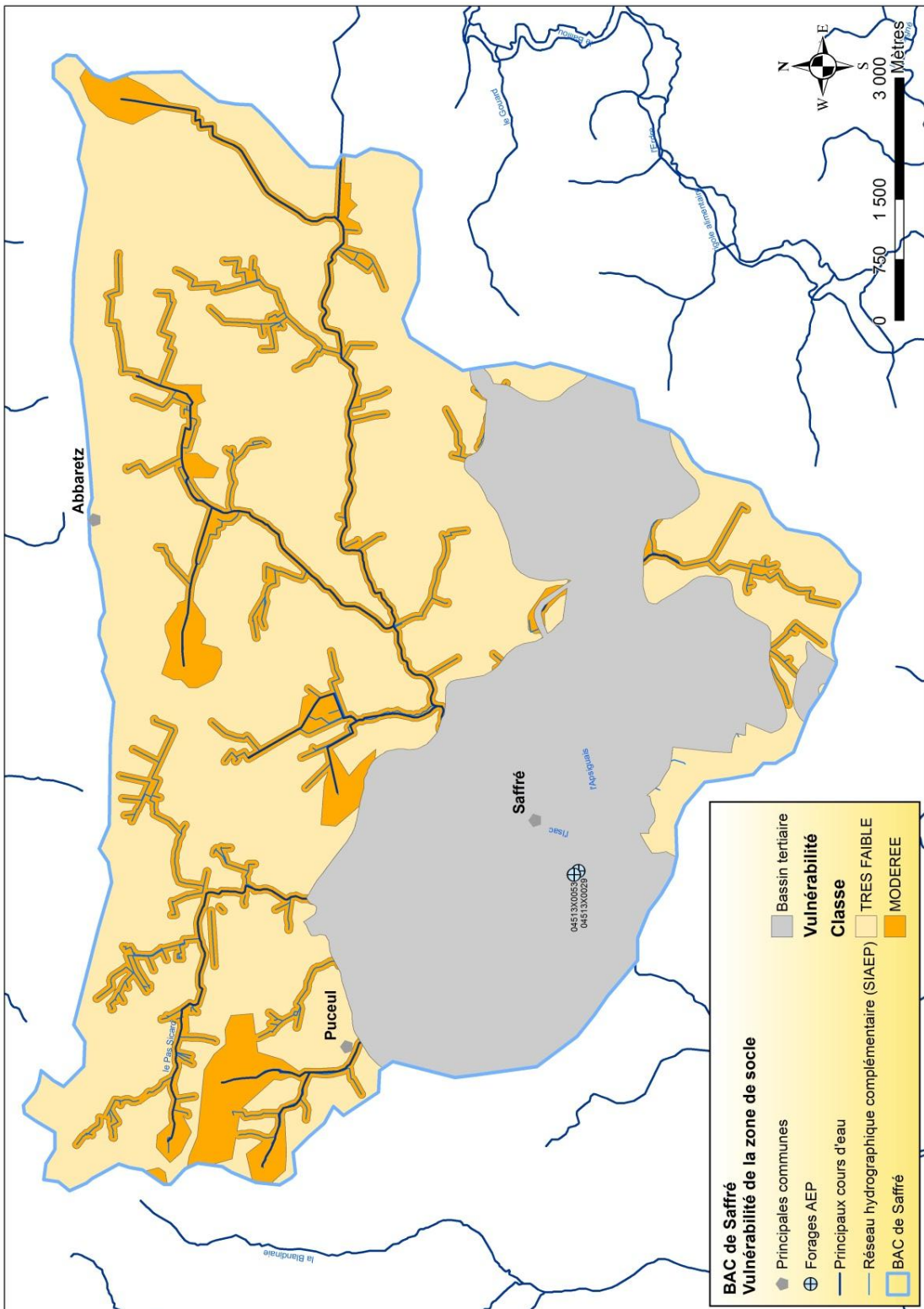


Illustration 40 : vulnérabilité de la zone de socle du BAC de Safran

5.6.2. Infiltration - pentes

Par la quantification des pentes du BAC, une distinction est faite entre infiltration diffuse et infiltration lente. Les paramètres primordiaux sont la pente qui favorise plus ou moins le ruissellement au détriment de l'infiltration, et les pertes qui permettent une infiltration très rapide jusqu'à l'aquifère. La carte des pentes est réalisée grâce au Modèle numérique de terrain au pas de 50 m. Les notes suivantes sont attribuées :

1. **Note 1** dans les mailles où les pentes sont fortes (>5%) ;
2. **Note 2** dans les mailles où les pentes sont moyennes (2-5%) ;
3. **Note 3** dans les mailles où les pentes sont faibles (0-2%) ;
4. **Note 4** dans les mailles des secteurs où des pertes karstiques sont avérées.

La cartographie de ce paramètre figure en Annexe 7.

5.6.3. Couverture pédologique

En l'absence de carte des sols couvrant l'intégralité du BAC de Saffré, La carte géologique harmonisée de Loire-Atlantique a été utilisée pour hiérarchiser le paramètre « sol ».

1. **Note 2** dans les mailles situées au droit des marnes ou argiles du Bartonien ou du Lutétien, éventuellement sous couverture plio-quadernaire ;
2. **Note 3** dans les mailles situées au droit des roches calcaires ou marno-calcaires, éventuellement sous couverture plio-quadernaire ;
3. **Note 3** dans les mailles situées au droit de terrains plio-quadernaires limoneux ;
4. **Note 4** dans les mailles situées au droit des sables pliocènes ou pléistocènes.

La cartographie qui en résulte figure en Annexe 7.

5.6.4. Karstification

La note de ce paramètre est directement calculée à partir des périmètres de protection rapprochée des captages AEP de Saffré, eux-mêmes définis sur la base des indices de karstification :

1. **Note 1** dans le périmètre de protection rapprochée 3 (PR3), zone complémentaire de protection du bassin calcaire ;
2. **Note 2** dans le périmètre de protection rapprochée 2 (PR2), zone de protection des cours d'eau dans le bassin calcaire ;
3. **Note 3** dans le périmètre de protection rapprochée 1 (PR1), zone de protection maximale correspondant aux zones d'effondrement et d'infiltration ;
4. **Note 0** partout ailleurs.

La cartographie qui en résulte figure en Annexe 7.

5.7. ANALYSE MULTICRITÈRES – NOTE DE VULNÉRABILITÉ DU BASSIN TERTIAIRE

La note de vulnérabilité dans chaque maille du bassin tertiaire est obtenue par la formule suivante :

$$\text{Vulnérabilité} = 0,3 R + 0,5 I + 0,1 S + 0,1 K$$

(les lettres renvoient aux paramètres figurant dans le Tableau 7).

L'illustration 41 présente la cartographie de la vulnérabilité du bassin d'alimentation des forages de Saffré.

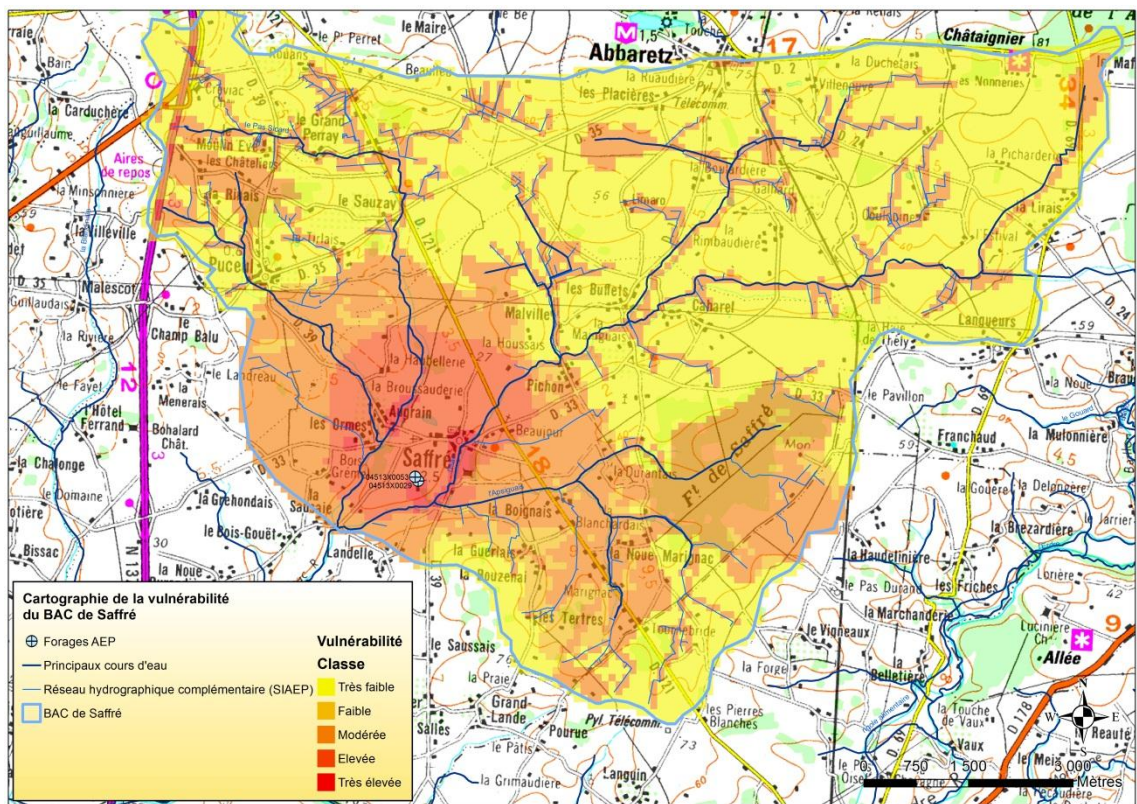
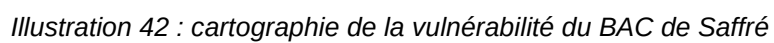


Illustration 41 : cartographie de la vulnérabilité discrétisée par mailles du BAC de Saffré

Conformément aux souhaits du groupe de travail, un traitement ultérieur a permis de préciser les contours des zones d'égale vulnérabilité (cf. Illustration 42).



6. Conclusion

Trois communes de Loire-Atlantique exploitant des captages prioritaires « Grenelle » ont fait l'objet d'une étude de bassin d'alimentation de captage (BAC) en 2010 par le BRGM : Machecoul, Nort-sur-Erdre, Saffré. La mission confiée au BRGM par la MISE 44 consistait à délimiter les bassins d'alimentation des captages puis à cartographier et hiérarchiser leur vulnérabilité intrinsèque, en suivant les préconisations du guide national. La publication du présent rapport, qui détaille la méthodologie employée pour parvenir aux résultats obtenus en 2010, a été commandée au BRGM en novembre 2011 par la DDTM 44.

- À Machecoul, les calcaires gréseux lutétiens sont exploités pour l'AEP par deux puits et deux forages. Le BAC proposé par le BRGM a une superficie de 7,19 km² (719 ha). 67,4 % du BAC ont une vulnérabilité élevée (485 ha), 17,3 % du BAC ont une vulnérabilité modérée (124 ha), 15,3 % du BAC ont une vulnérabilité faible (110 ha).
- À Nort-sur-Erdre, deux nappes distinctes produisent de l'eau potable. Deux forages exploitent les sables pliocènes superficiels, et deux forages exploitent les calcaires oligocènes plus profonds. Le BAC proposé par le BRGM a une superficie de 29,68 km² (2 968 ha). 2,2 % du BAC ont une vulnérabilité très élevée ; 35,9 % du BAC ont une vulnérabilité élevée ; 7,1 % du BAC ont une vulnérabilité modérée ; 54,8 % du BAC ont une vulnérabilité faible.
- À Saffré, les calcaires oligocènes karstiques sont exploités pour l'AEP. Le BAC proposé par le BRGM a une superficie de 84,60 km² (8 460 ha). 0,8 % du BAC ont une vulnérabilité très élevée ; 6,8 % du BAC ont une vulnérabilité élevée ; 32,2 % ont une vulnérabilité modérée ; 4,4 % ont une vulnérabilité faible ; 55,7 % ont une vulnérabilité très faible.

Une fois la cartographie de la vulnérabilité des BAC validée, le préfet pourra identifier, au sein du bassin d'alimentation du captage, la zone dans laquelle sera instauré le programme d'actions visant à protéger la ressource contre les pollutions diffuses. Ce programme d'actions est mis en œuvre sur une base volontaire par les agriculteurs et peut être financé pour partie les premières années. Le préfet peut ensuite le rendre obligatoire si les résultats attendus en termes de souscription par les agriculteurs ne sont pas obtenus.

7. Bibliographie

Bussard, T. (2005) – Méthodologie de dimensionnement des zones de protection des captages d'eaux souterraines contre les polluants chimiques persistants, thèse de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 162 p.

Pochon, A. & Zwahlen, F. (2003) – Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré – Guide pratique. L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne, 83 p.

Vernoux J.F., Buchet R. (2010) – Améliorer la protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine, éditions BRGM.

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Seguin J.J., Dörfliger N. (2007) – Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages et leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Rapport intermédiaire : synthèse bibliographique et analyse des études réalisées sur le bassin Seine-Normandie, BRGM/RP-55332-FR, 128 pages, 125 illustrations, 8 annexes.

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, BRGM/RP-55874-FR, 75 pages, 14 illustrations.

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Application du guide méthodologique sur des bassins test, BRGM/RP-55875-FR, 172 pages, 113 illustrations, 7 annexes.

Annexe 1

Lettre de mission de la MISE 44



PREFECTURE DE LA LOIRE-ATLANTIQUE



Secrétariat : DDEA de la Loire-Atlantique
10, bd Gaston Serpette
44036 NANTES CEDEX 1

Nantes le, 05 mai 2009

Affaire suivie par Paul FERRAND
☎ 02.40.67.24.92
☎ 02.40.67.24.39
paul.ferrand@agriculture.gouv.fr

objet : délimitation des aires d'alimentation de captage au titre
de la mise en œuvre de l'article 21 de la loi sur l'eau

Monsieur le Directeur,

Comme suite à nos échanges et à la rencontre du 29 avril dernier entre vos services, le Syndicat départemental d'alimentation en eau potable de la Loire-Atlantique et la DDEA 44, je vous confirme ma demande de pouvoir bénéficier d'une expertise du BRGM selon les termes ci dessous dans le cadre de vos missions d'appui à l'exercice de la police de l'eau.

La mission d'expertise portera sur les points suivants :

- 1) analyse de l'ensemble des études existantes concernant les nappes de Machecoul, Nort sur Erdre et Saffré. Les principales études sont disponibles soit au SDAEP44 soit au Conseil Général 44.
- 2) Proposition de délimitation des aires d'alimentation des captages de ces nappes. Cette proposition sera présentée pour validation en septembre 2009 à un groupe technique composé du BRGM, du SDAEP44, du Conseil Général, de la DDASS, l'AELB et de la DDEA.
- 3) A l'intérieur des aires d'alimentation de captage validées à l'étape 2, le BRGM étudiera (si les données disponibles sont suffisantes) la possibilité de hiérarchiser le territoire en fonction de sa vulnérabilité face aux pollutions agricoles. Les données de pression seront à élaborer en partenariat avec le SDAEP et la DDEA.

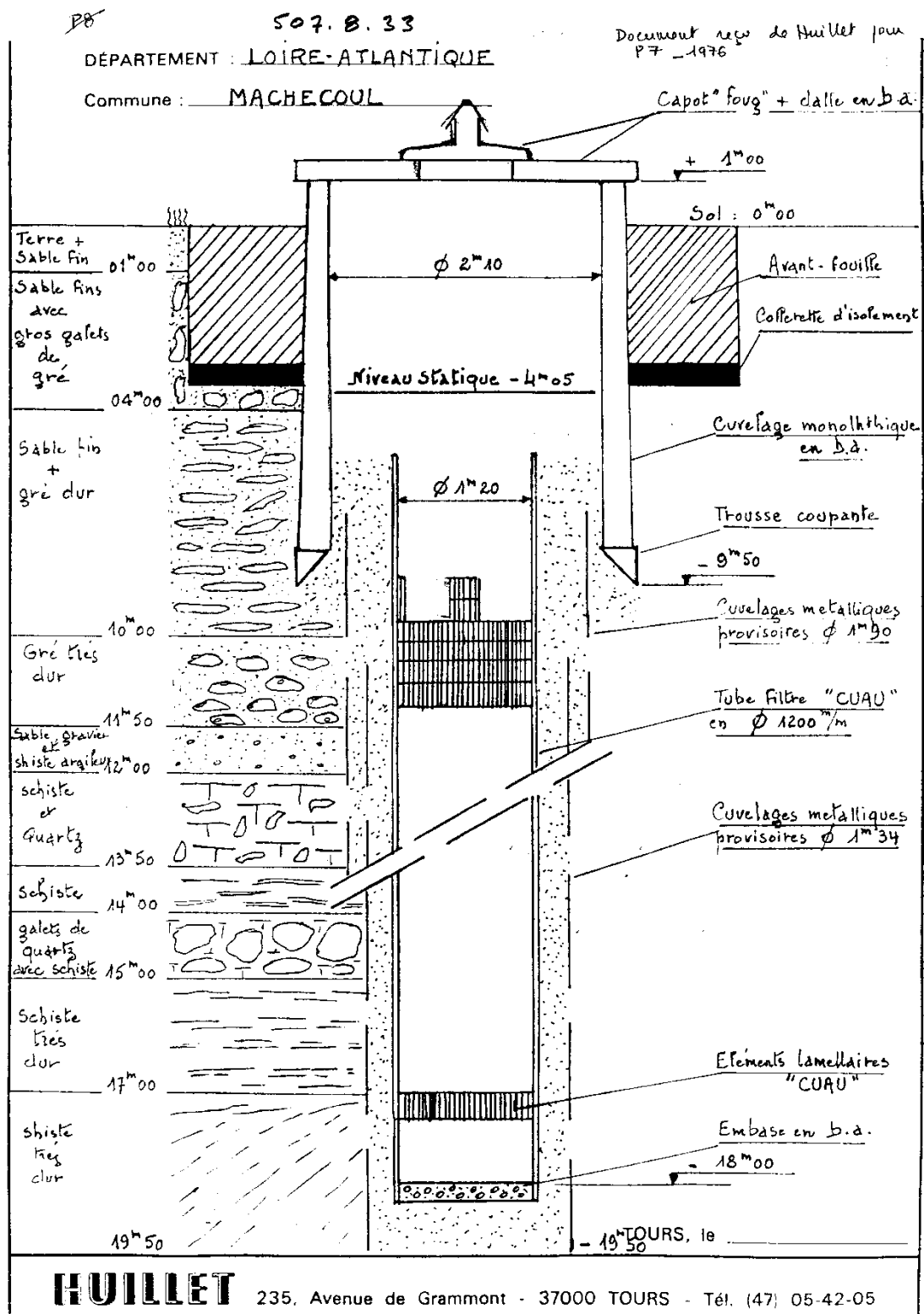
La mission du BRGM sera conclue par la remise d'un rapport sous format papier et numérique, présentant les principaux points de la démarche et la cartographie des aires d'alimentation des captages ainsi que le cas échéant des zones prioritaires d'intervention. Ce rapport sera rendu pour la fin novembre 2009.

Monsieur le Directeur Régional
du BRGM
1 rue des Saumonnières
BP 92342
44323 NANTES cedex 3

6, QUAI CENNERAY - BP 33515 - 44035 NANTES CEDEX 1
TELEPHONE : 02 40 41 20 20 - COURRIEL : courrier@loire-atlantique.pref.gouv.fr
SITE INTERNET : www.loire-atlantique.pref.gouv.fr

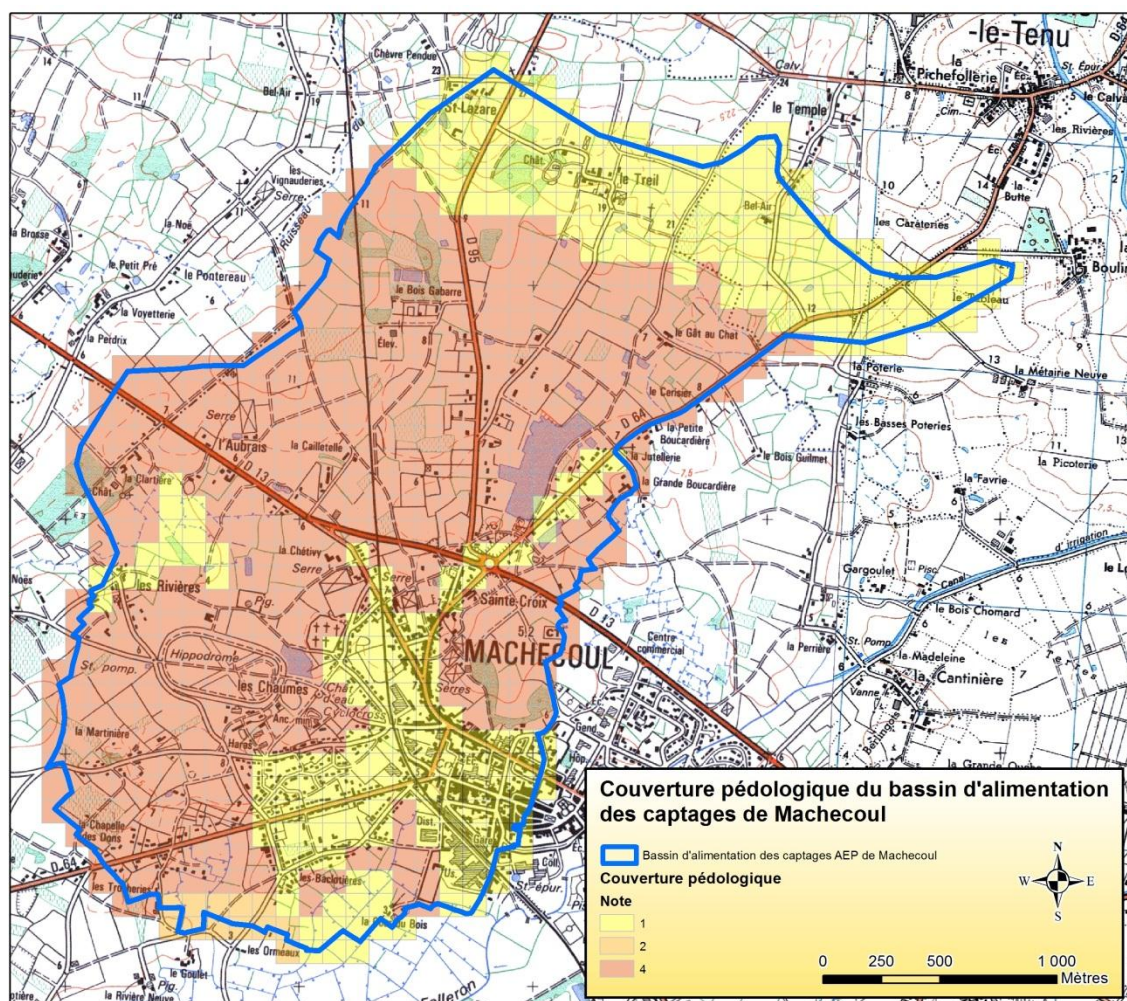
Annexe 2

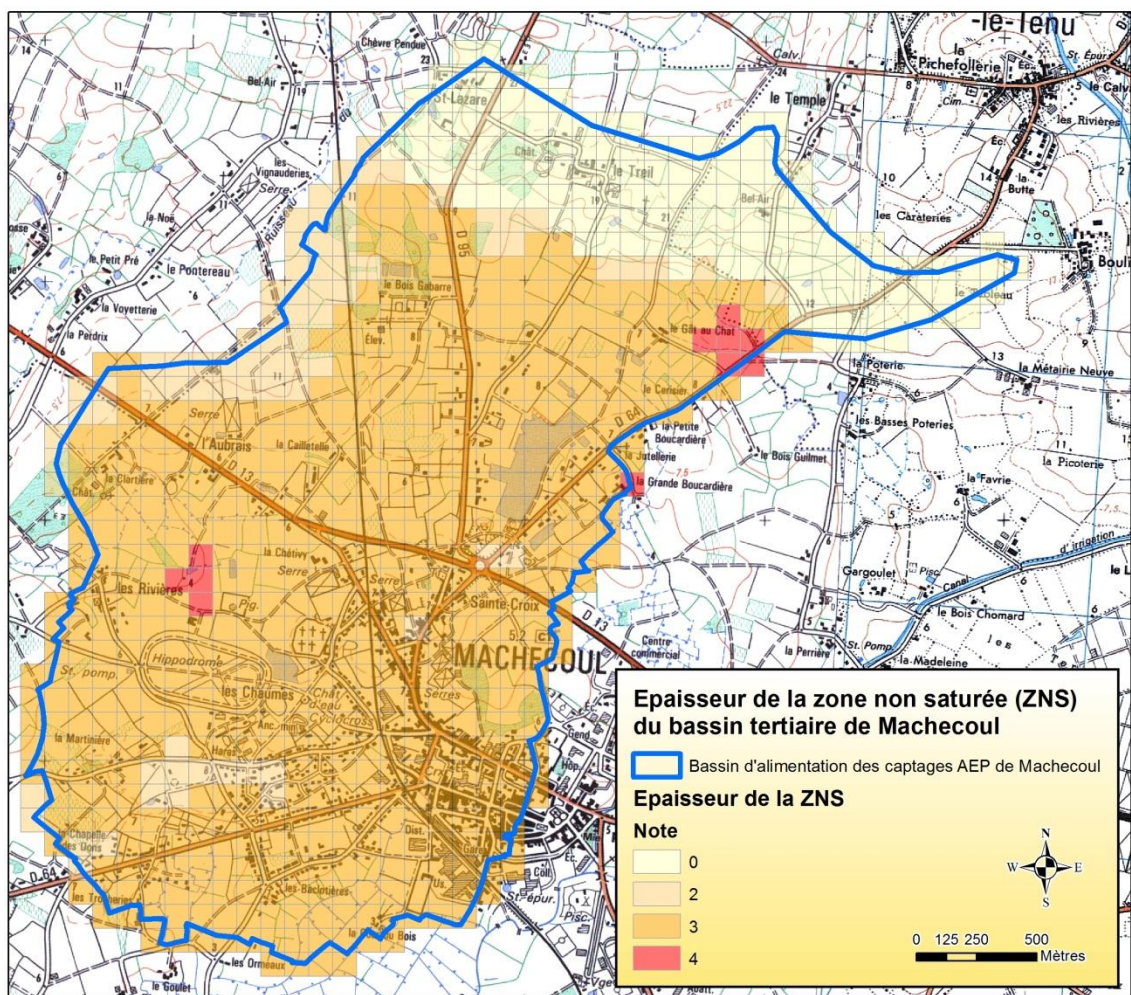
Coupe technique du forage 05087X0033/P7 (Machecoul)

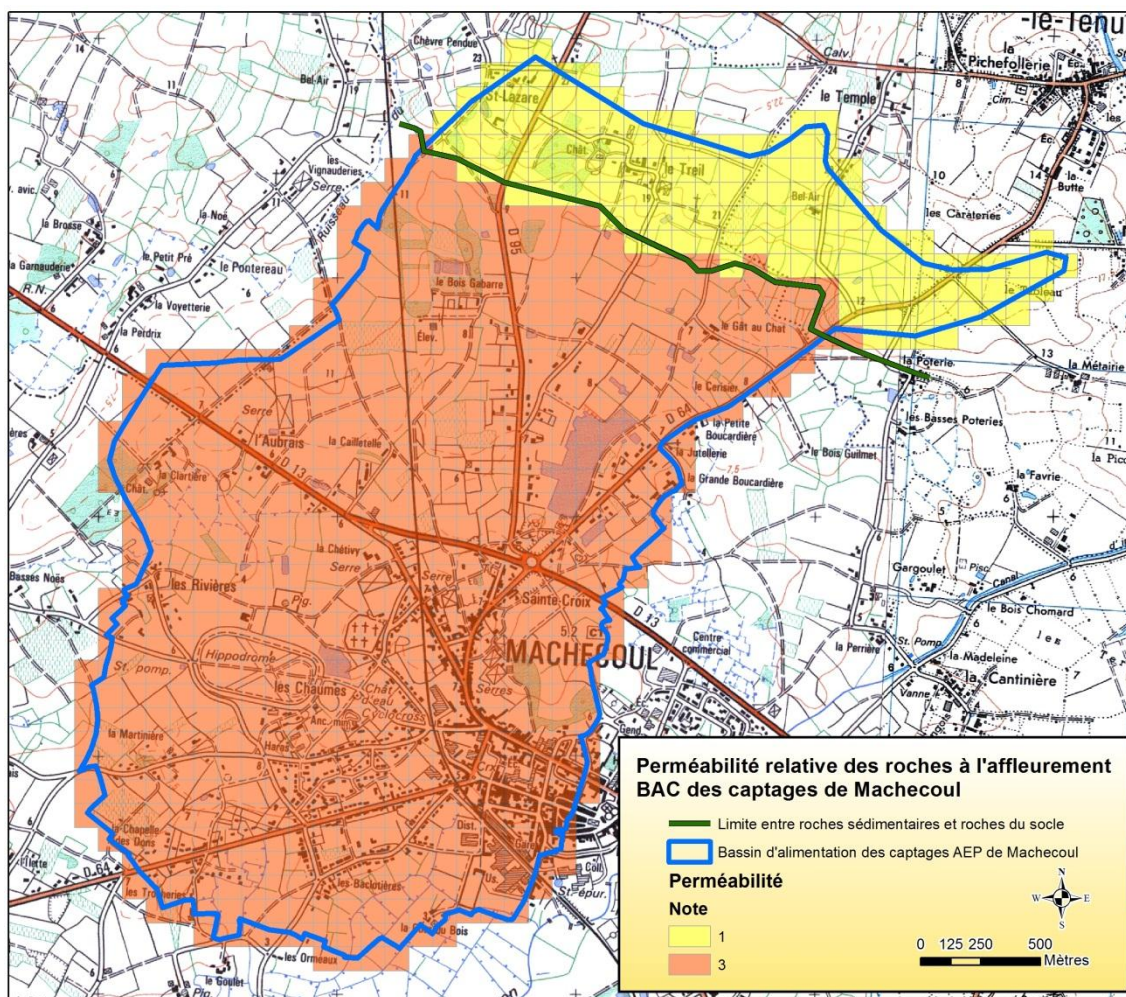


Annexe 3

Notation des paramètres pris en compte pour le calcul de la vulnérabilité du BAC de Machecoul

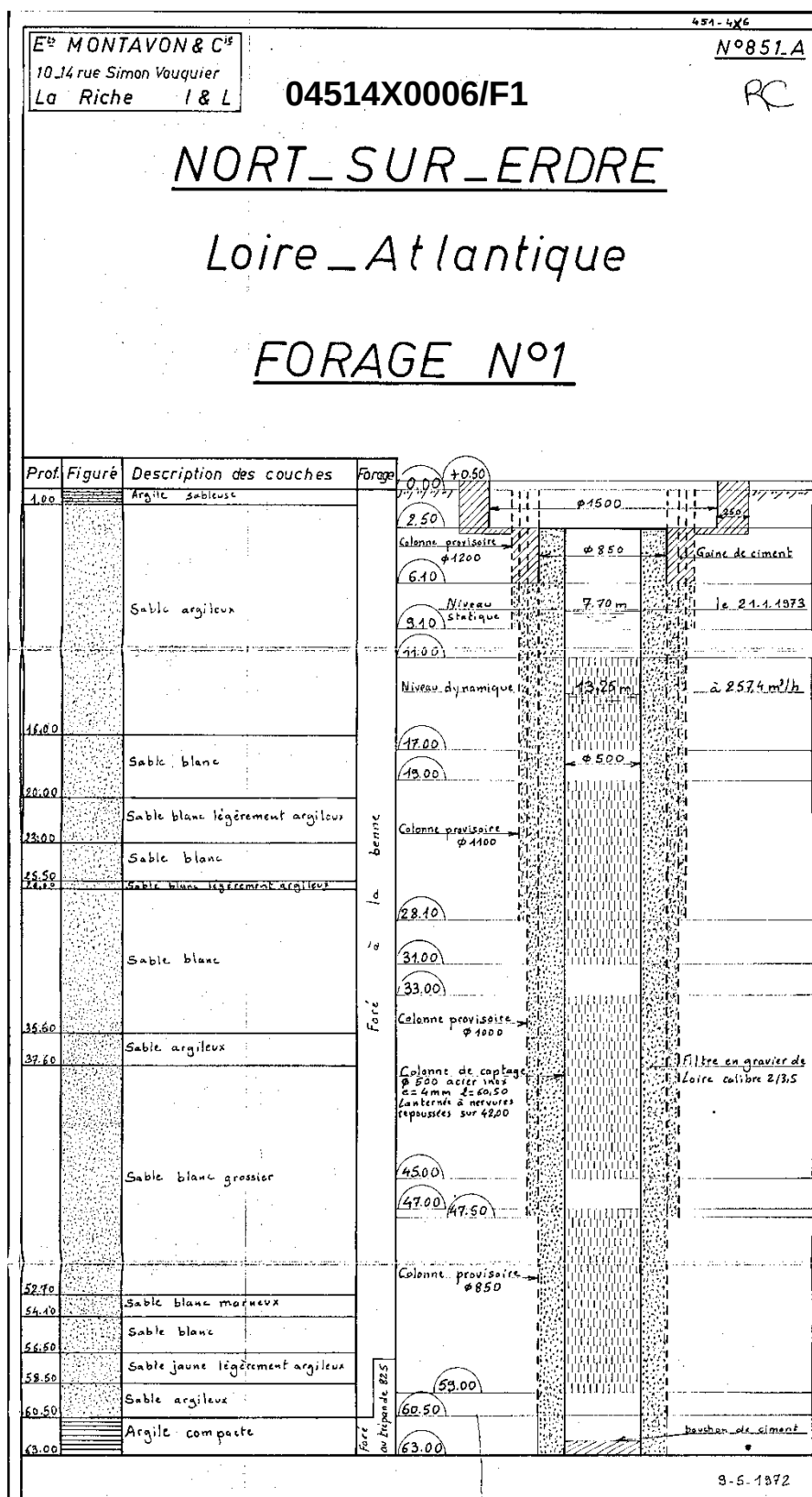






Annexe 4

Coupes techniques des ouvrages de Nort-sur-Erdre

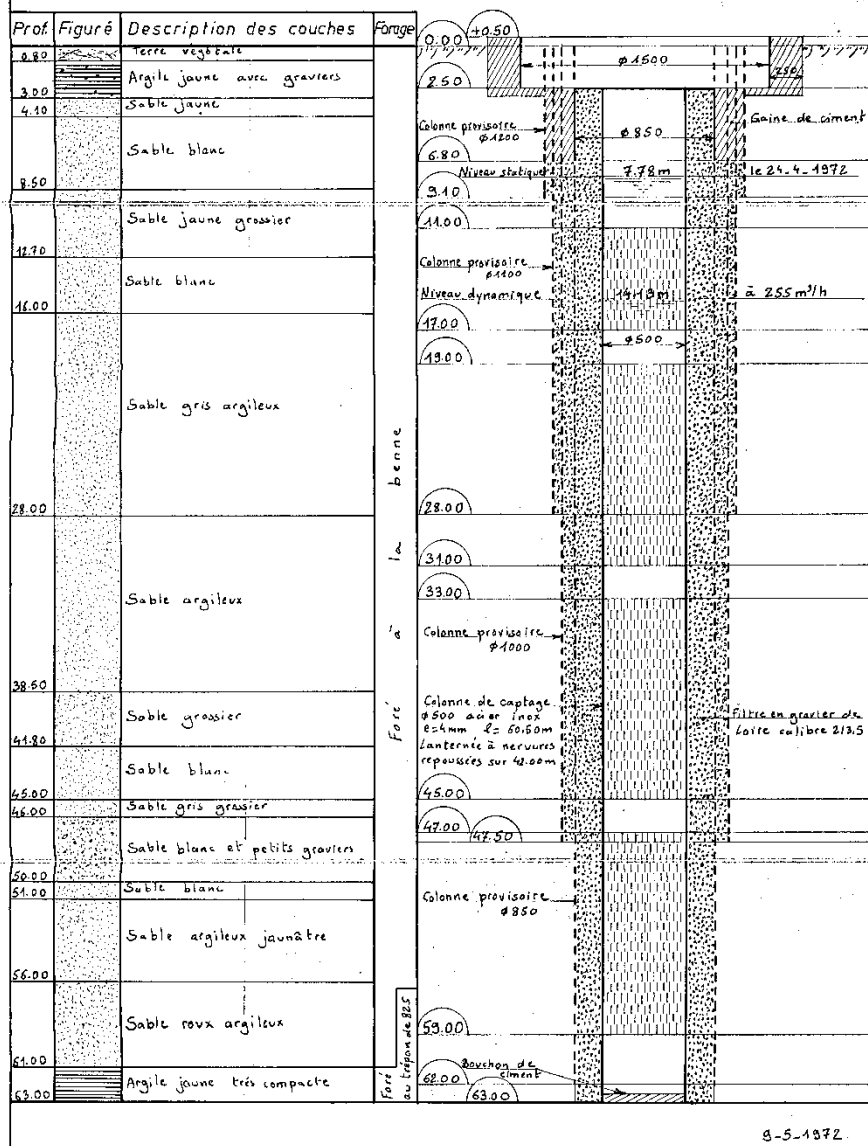


851-B
RC

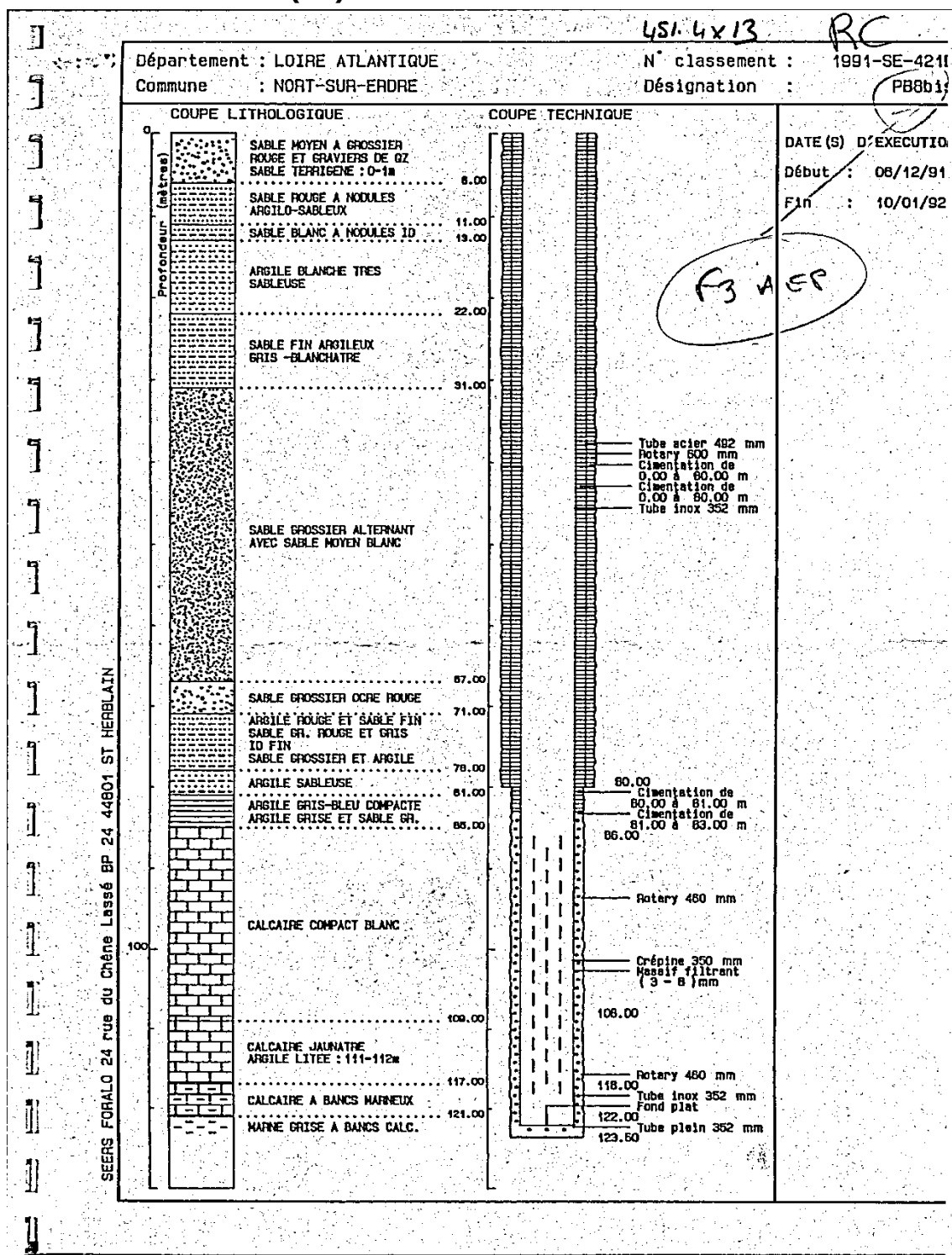
NORT_SUR_ERDRE

Loire - Atlantique

FORAGE N°2

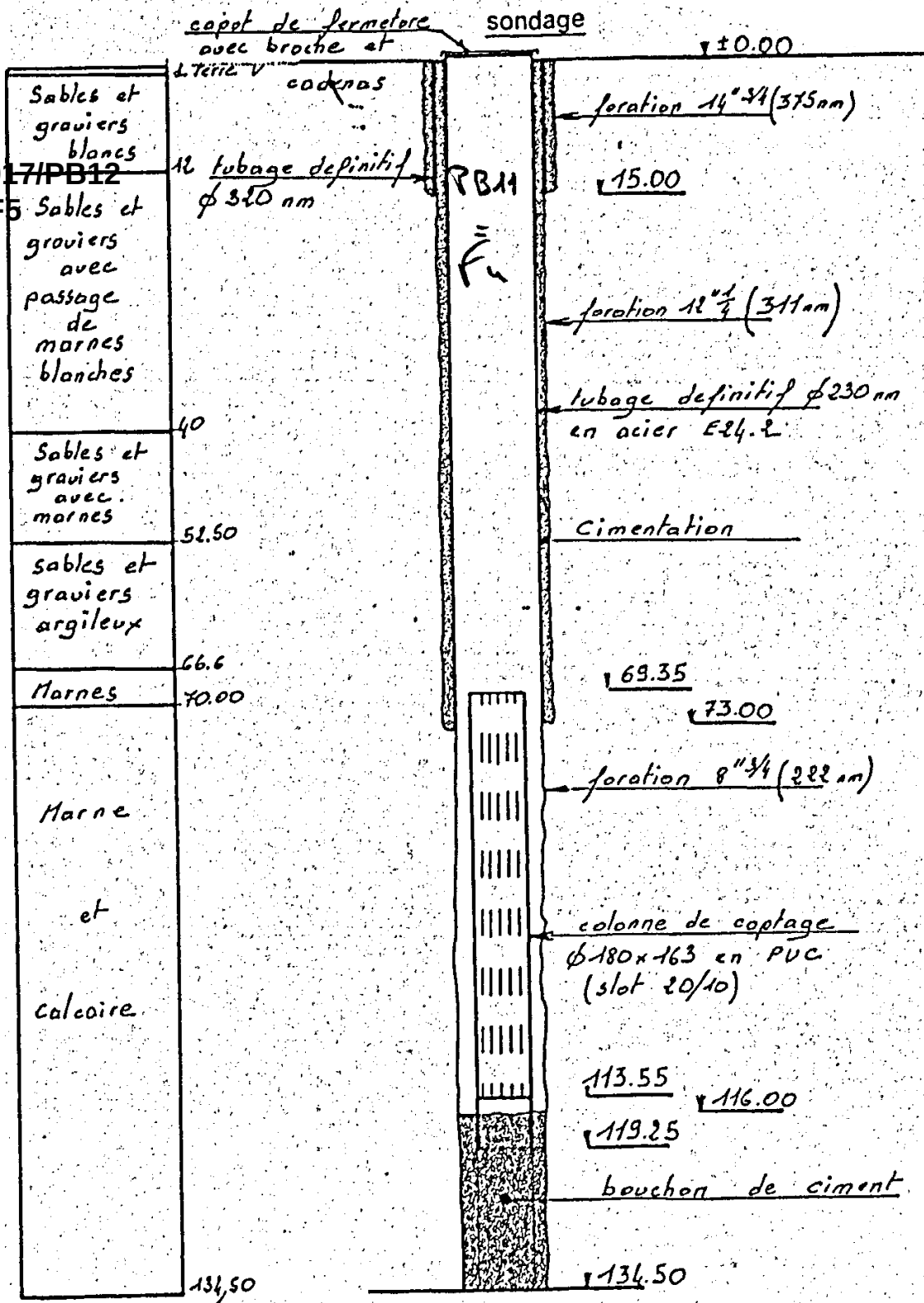


04514X0013/PB8 (F3)



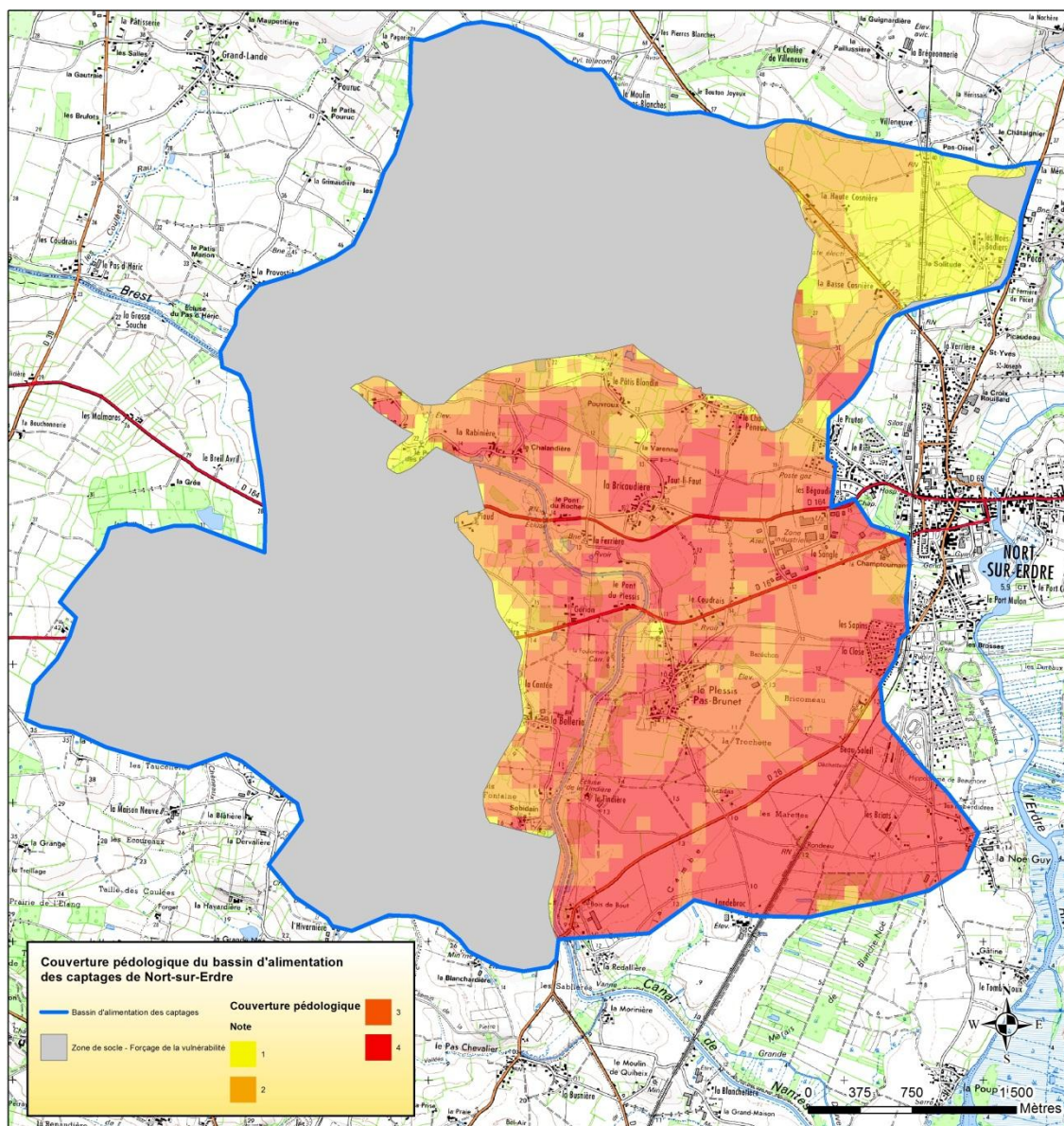
04514X0016/PB11 désigné F4

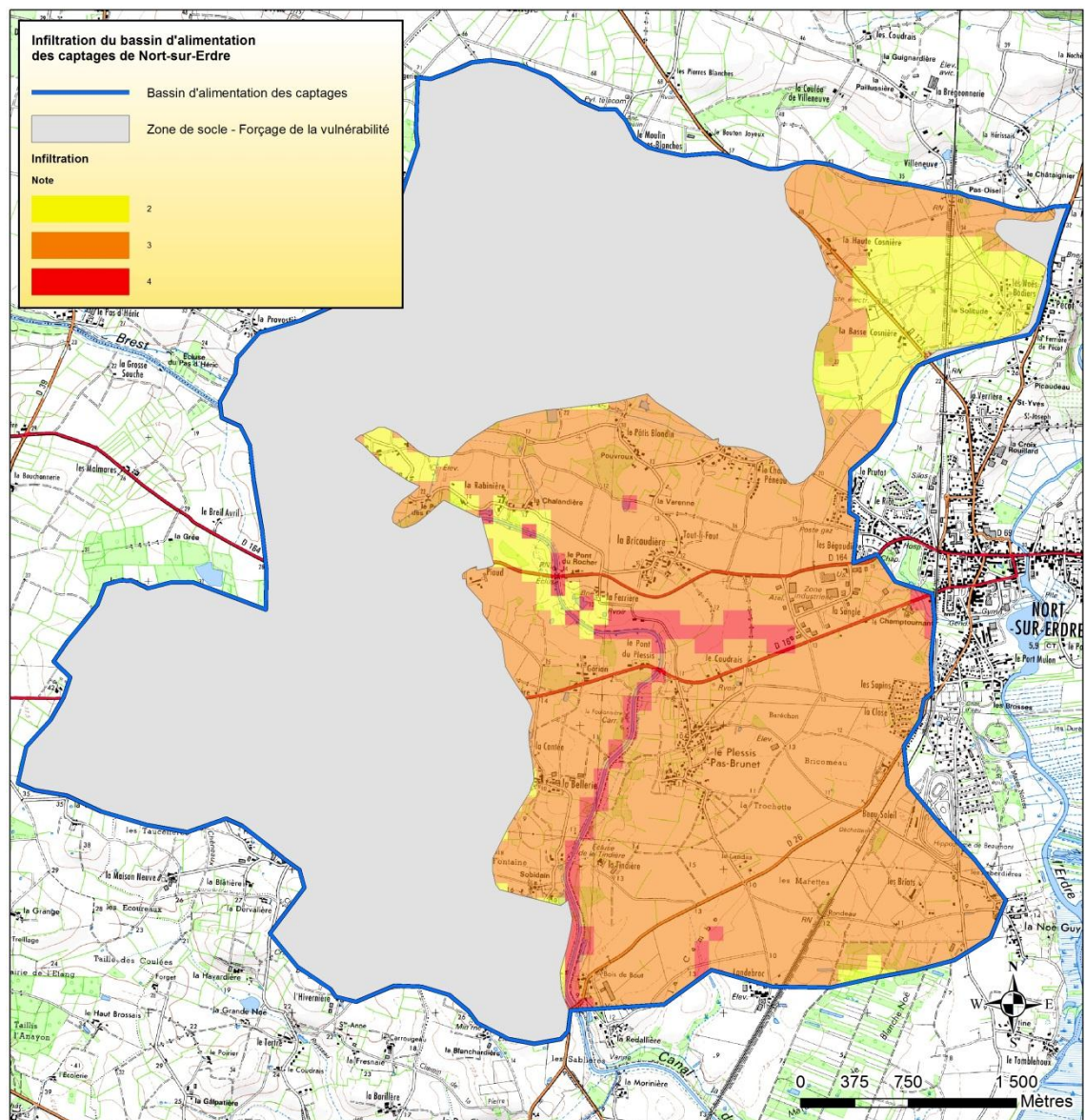
4514X0017/PB12
désigné F5

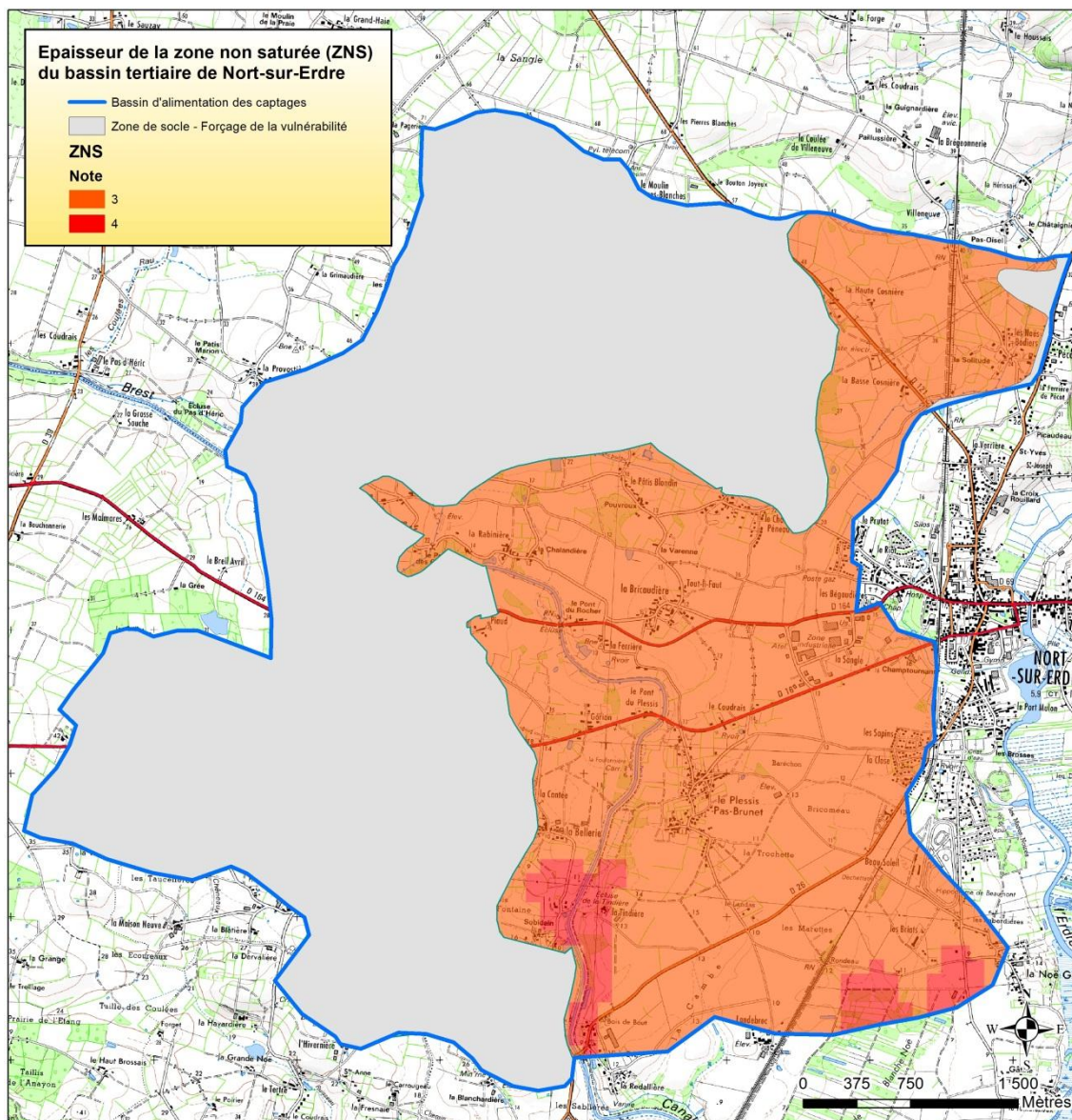


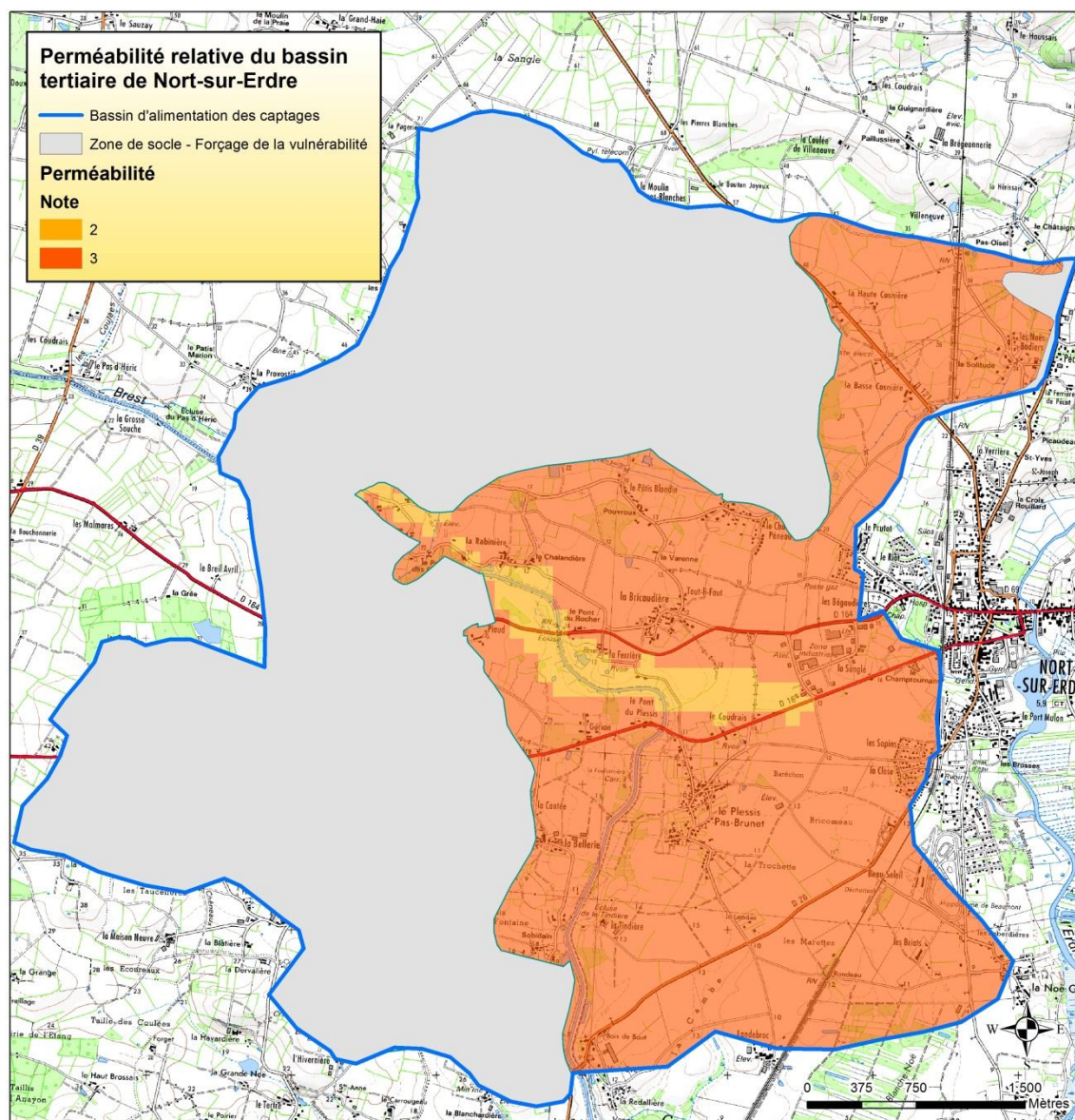
Annexe 5

Notation des paramètres pris en compte pour le calcul de la vulnérabilité du BAC de Nort-sur- Erdre



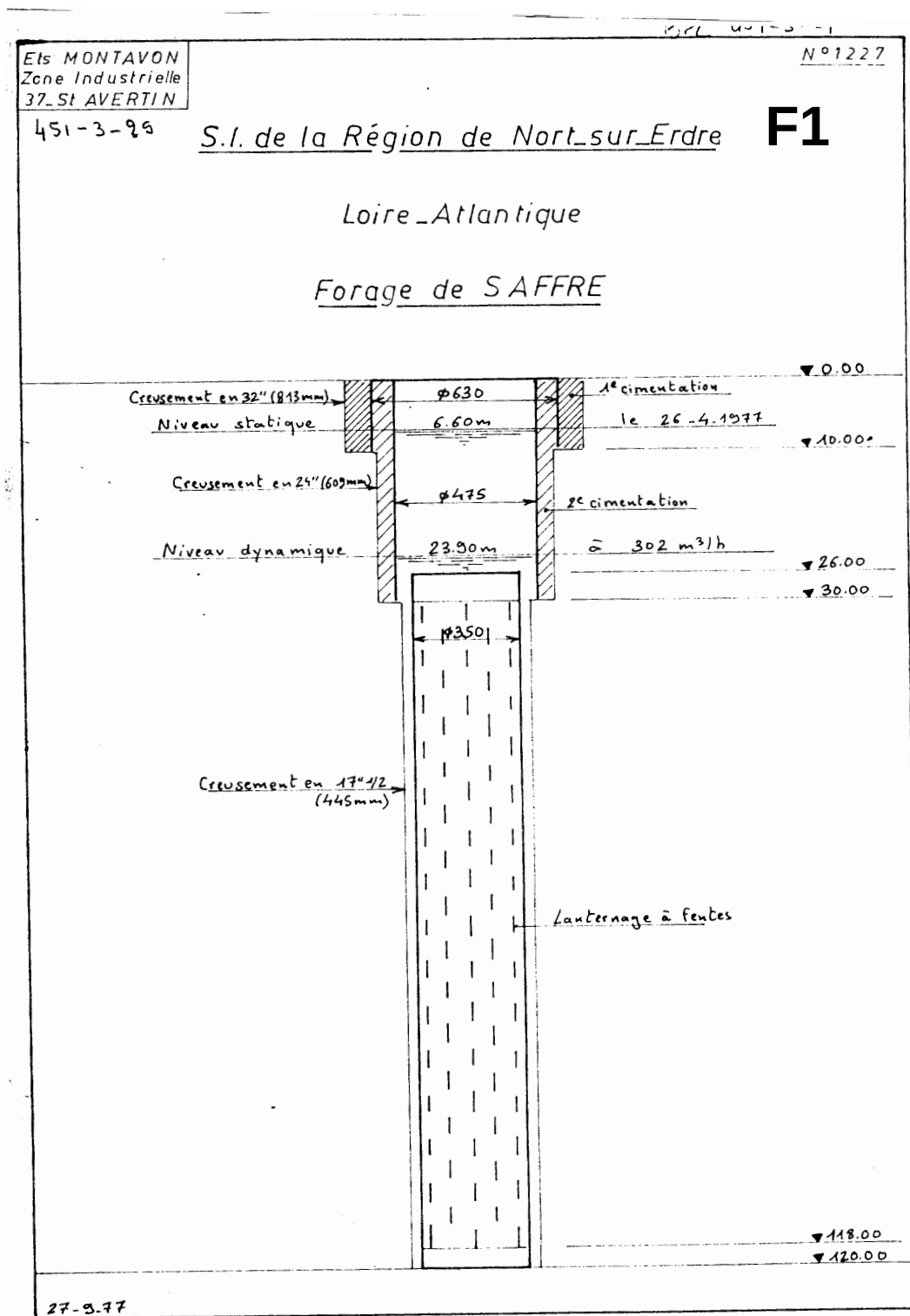






Annexe 6

Coupes techniques des ouvrages de Saffré



Lieu-dit : LA CHUTENAIE

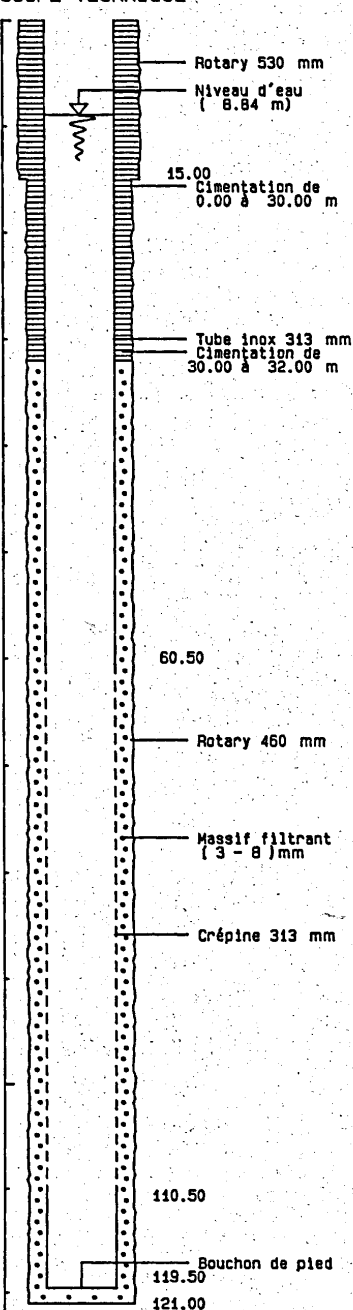
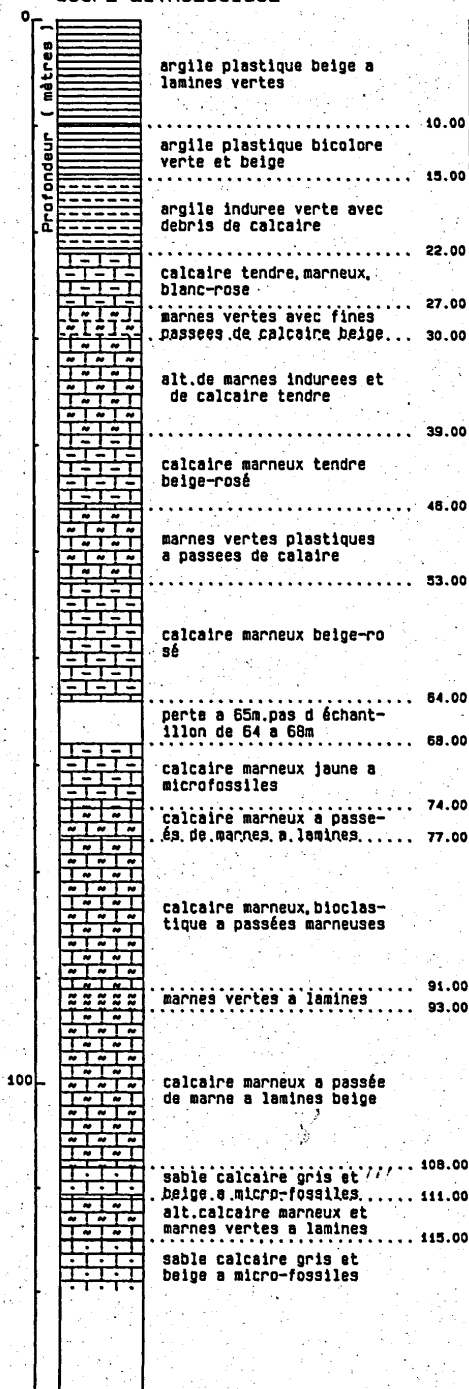
F2 RC

N° classement : 0451-3X-0053

Désignation : F3

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 20/06/90

Fin : 05/07/90

LOCALISATION

X : 304.525 km

Y : 2284.825 km

Z sol : 30.00 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 8.84 m

Rep/sol : 0.37 m

Z rep : 30.37 m

Cote : 21.15 m
piézo

POMPAGE D'ESSAI

Date : 12/07/90

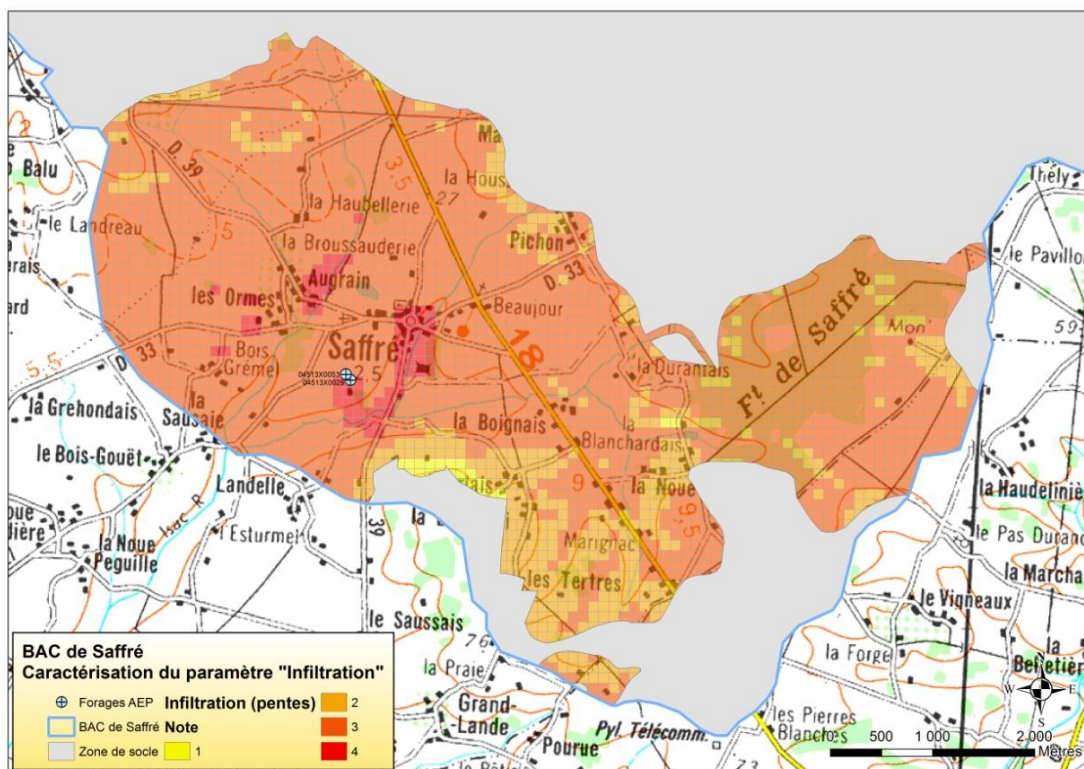
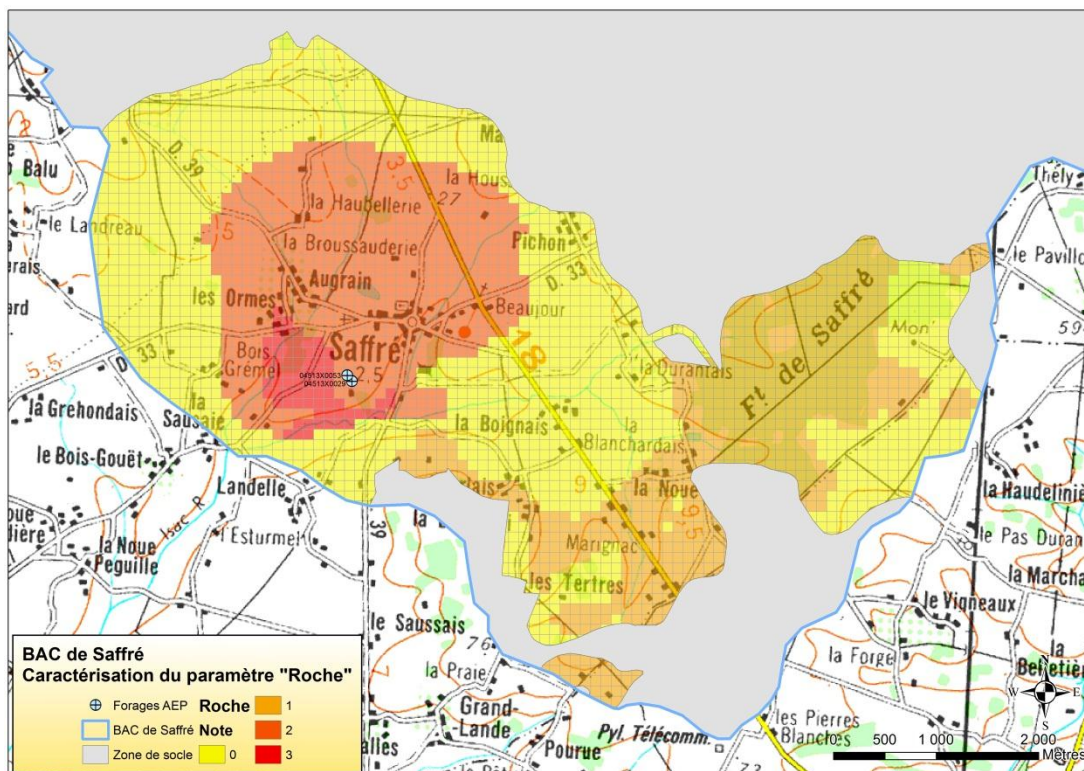
Durée : 2.0 h

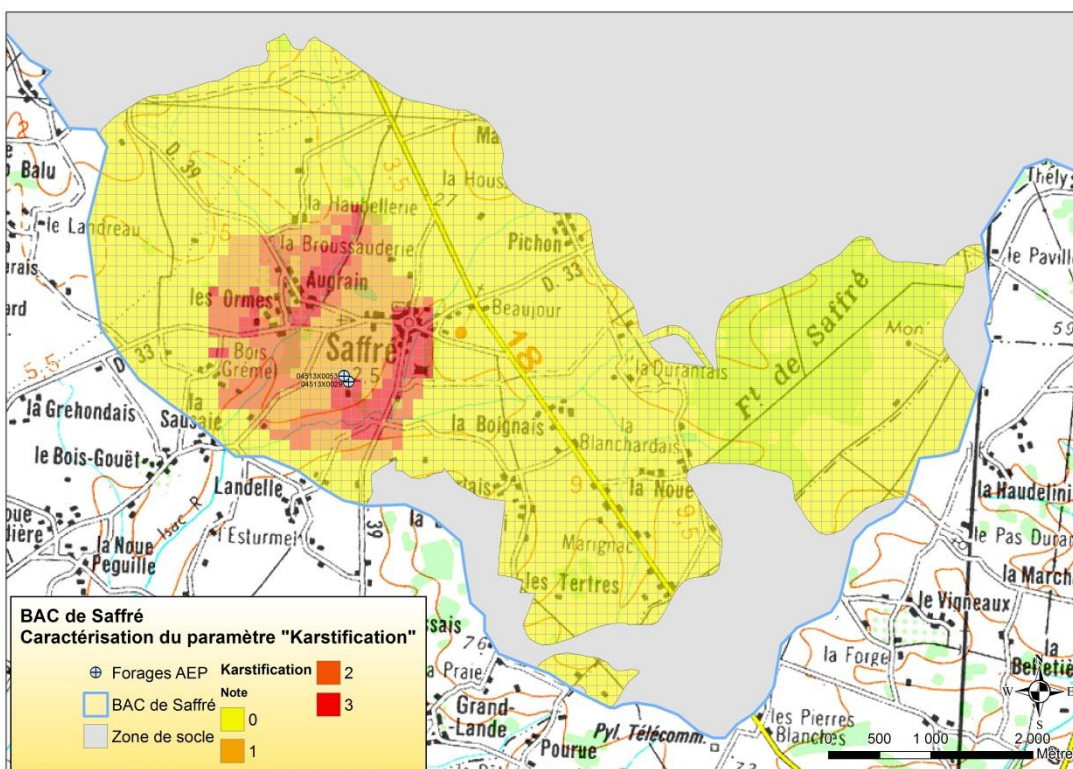
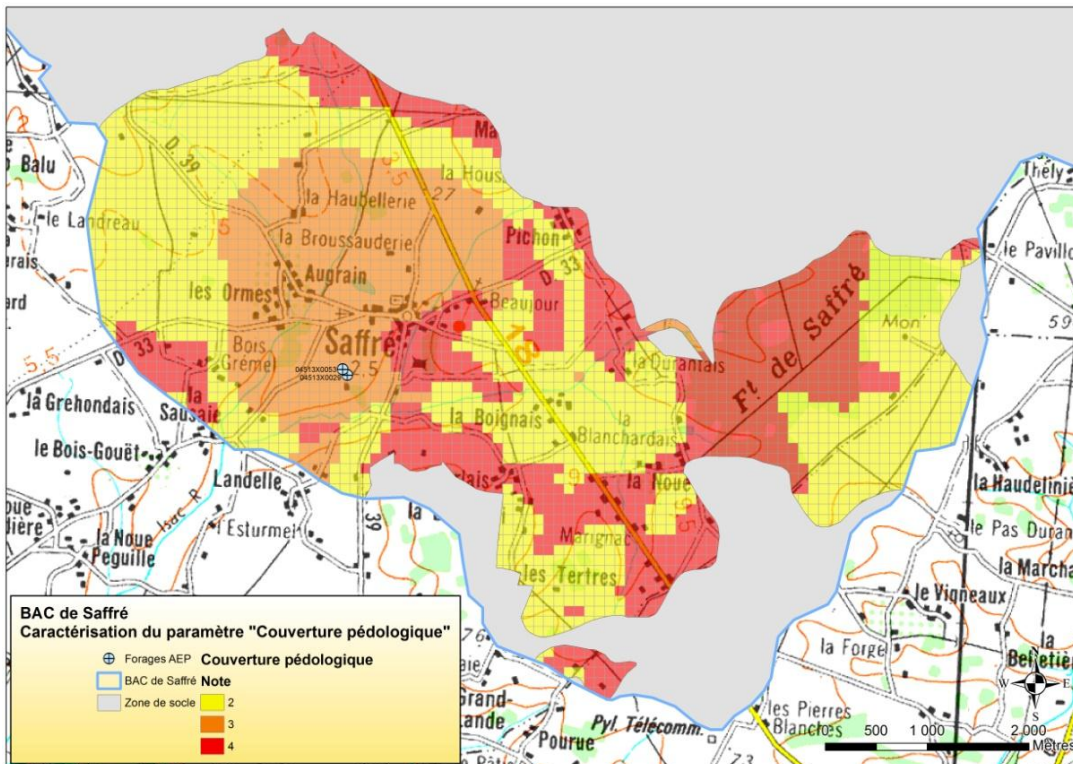
Débit : 234.1 m³/h

Rabat. : 2.41 m

Annexe 7

Notation des paramètres pris en compte pour le calcul de la vulnérabilité du BAC de Saffré







Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
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