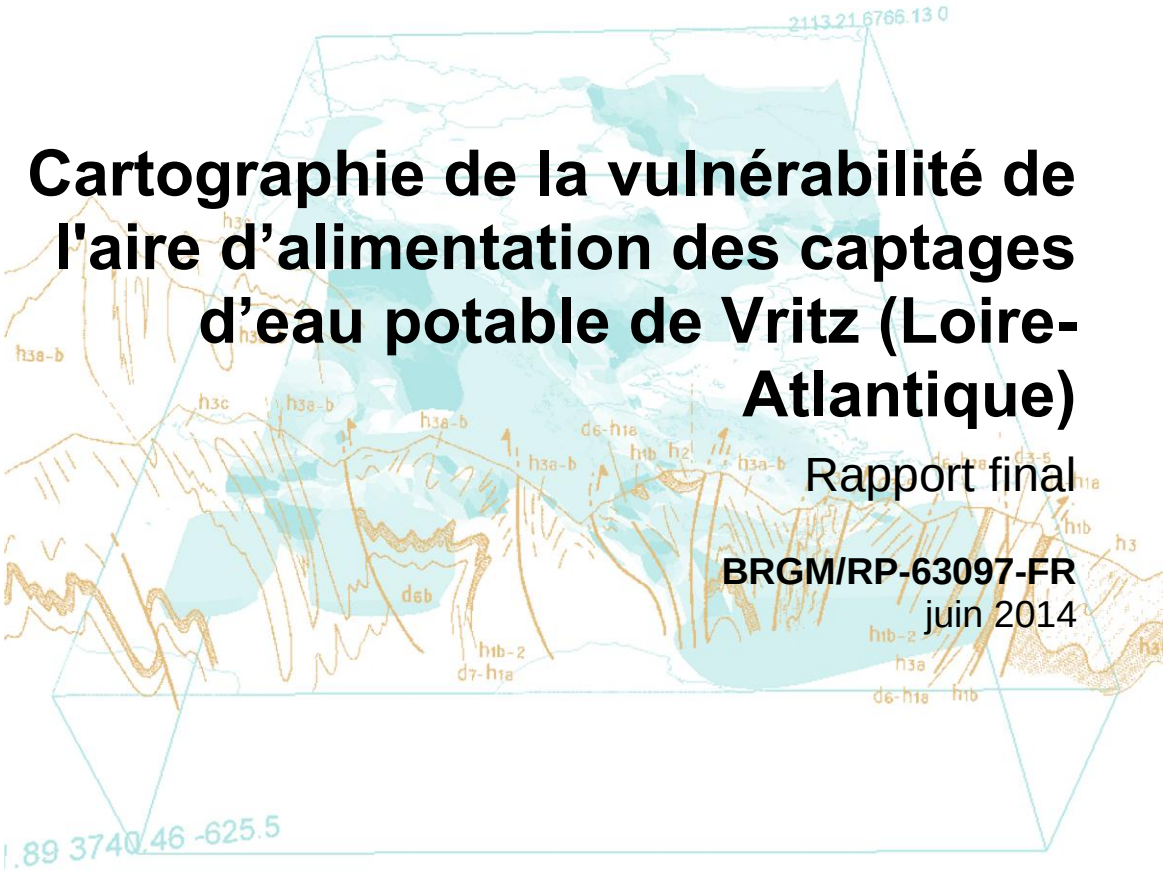
Document public



Cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation des captages d'eau potable de Vritz (Loire-Atlantique)

Rapport final

BRGM/RP-63097-FR
juin 2014

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation des captages d'eau potable de Vritz (Loire-Atlantique)

Rapport final

BRGM/RP-63097-FR
juin 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets)
de Service public (Recherche) du BRGM 2013-RSE-1340

P. Chrétien

Vérificateur :

Nom : E. Rouxel

Date : 19 juin 2014

Approbateur :

Nom : P. Conil

Directeur régional du BRGM Pays-de-la-Loire

Date : 27 juin 2014

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : pollution diffuse, nitrate, bassin alimentation, alimentation eau potable, captage eau, vulnérabilité nappe, carte vulnérabilité, Vritz, Loire-Atlantique, Pays-de-la-Loire.

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

Chrétien P. (2014) – Cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation des captages d'eau potable de Vritz (Loire-Atlantique). Rapport final. BRGM/RP-63097-FR, 56 p., 23 ill., 2 tabl., 3 ann. 1 CD.

© BRGM, 2014, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Vritz est une commune de Loire-Atlantique située à la limite du Maine-et-Loire. Elle possède trois forages d'eau potable, sur deux sites de production : les Thuyas et la Kiriaie. Bien qu'étant implantés en Loire-Atlantique, les captages d'alimentation en eau potable (AEP) de Vritz présentent la particularité de n'alimenter que des communes du Maine-et-Loire, réunies au sein du Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable (SIAEP) du Segréen.

Le BRGM avait dès 2008 délimité l'aire d'alimentation des captages (AAC) de Vritz ; en revanche la vulnérabilité de l'AAC restait à cartographier. C'est la raison pour laquelle la Direction départementale des territoires (DDT) du Maine-et-Loire a confié au BRGM en 2013 l'étude de la vulnérabilité de l'AAC.

À cette occasion, les contours de l'AAC ont été revus dans deux secteurs, grâce notamment à la carte piézométrique des hautes eaux de mars 2013 qui a permis de mieux localiser les lignes de partage des eaux souterraines. L'aire d'alimentation des captages a une superficie de 36,5 km^2 (3 653 ha).

La vulnérabilité de l'AAC vis-à-vis des pollutions diffuses a ensuite été cartographiée en appliquant les préconisations du guide national publié en 2007[1].

L'aquifère exploité à Vritz pour la production d'eau potable est celui des sables pliocènes. Cet aquifère est encaissé dans les schistes et grès du socle armoricain ; ces derniers constituent également un aquifère, bien que leurs propriétés hydrodynamiques soient moindres. Les deux formations (sables pliocènes et socle) sont en relation hydraulique, l'aquifère du socle se vidangeant dans les sables. On peut donc parler de <u>la nappe des sables et du socle</u> : une seule nappe dans deux réservoirs aux lithologies et aux propriétés hydrodynamiques très différentes.

Par ailleurs, les relations nappe-rivière sont avérées au sein de l'AAC. Sous l'effet du rabattement de la nappe provoqué par les pompages pour l'AEP, le ruisseau du Grand Gué réalimente les sables pliocènes. Sur les formations du socle à proximité des cours d'eau, le temps de transfert d'une éventuelle pollution diffuse vers les captages *via* le réseau hydrographique est considérablement plus élevé que *via* la nappe des sables et du socle. Or la méthodologie « classique » détaillée dans le guide national répond mal à l'existence dans l'AAC de Vritz de ces zones du socle avant tout contributives pour leur capacité à alimenter indirectement l'aquifère *via* des phénomènes de ruissellement ou par le réseau hydrographique.

On applique donc en définitive :

- partout dans l'AAC, la méthode relative aux aquifères continus homogènes détaillée dans le guide national ;
- à proximité des cours d'eau, là où le ruissellement sur les formations de socle est déterminant par rapport à l'infiltration, un « forçage » de la vulnérabilité.

[1] Vernoux *et al.*, 2007.

Ainsi, au sein de l'AAC de Vritz :

- 8,6 % de la superficie de l'AAC ont une vulnérabilité très élevée (315 ha),
- 29,6 % de la superficie de l'AAC ont une vulnérabilité élevée (1 081 ha),
- 61,3 % de la superficie de l'AAC ont une vulnérabilité modérée (2 238 ha),
- 0,5 % de la superficie de l'AAC ont une vulnérabilité faible (19 ha).

Une fois la cartographie de la vulnérabilité de l'AAC validée, le préfet pourra identifier la partie de l'AAC 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 quant à la souscription des agriculteurs ne sont pas obtenus.

Sommaire

1. Introduction 9

2. Élements de méthodologie 11

2.1. NOTION DE BASSIN D'ALIMENTATION DE CAPTAGE (BAC) 11

2.2. NOTION D'AIRE D'ALIMENTATION DE CAPTAGE (AAC).....14

2.3. COHÉRENCE AVEC LES PÉRIMÈTRES DE PROTECTION.....14

2.4. CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ.....14

3. Aire d'alimentation des captages de Vritz 17

3.1. CONTEXTES.....17
3.1.1. Hydrographie 17
3.1.2. Hydrogéologie.....18

3.2. DESCRIPTION DES OUVRAGES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE.....23
3.2.1. Forage F1 de la Kiriaie 04225X0010/F1.....23
3.2.2. Forage F2 de la Kiriaie 04225X0011/F2.....23
3.2.3. Forage des Thuyas 04225X0014/F.....23

3.3. CAMPAGNE PIÉZOMÉTRIQUE HAUTES EAUX (MARS 2013).....23
3.3.1. Lignes de courant et sens d'écoulement.....24
3.3.2. Gradient hydraulique.....24

3.4. DÉLIMITATION DE L'AIRE D'ALIMENTATION DES CAPTAGES 27

3.5. DIFFÉRENCES AVEC LES PÉRIMÈTRES DE PROTECTION DES CAPTAGES 27

4. Cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation des captages de Vritz29

4.1. CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA VULNÉRABILITÉ 29
4.1.1. Type d'aquifère 29
4.1.2. Paramètres pris en compte 29

4.2. CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES 30
4.2.1. Pluies efficaces.....32
4.2.2. Couverture pédologique protectrice 32
4.2.3. Infiltration 33
4.2.4. Épaisseur de la zone non saturée (ZNS) 34
4.2.5. Perméabilité.....36

4.3. ANALYSE MULTICRITÈRES – NOTE DE VULNÉRABILITÉ.....36

5. Conclusion **39**

6. Bibliographie **41**

Liste des illustrations

Illustration 1 : définition du bassin d'alimentation d'un captage(in Bussard, 2005) 12

Illustration 2 : bassin hydrogéologique et bassin d'alimentation dans un cas simple (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007) 13

Illustration 3 : cas où la surface entre crêtes topo et piézo est imperméable (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007) 13

Illustration 4 : cas d'une nappe captive (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007) 14

Illustration 5 : localisation de la commune de Vritz 17

Illustration 6 : carte topographique des sites de production d'eau potable à Vritz (© IGN) 18

Illustration 7 : carte géologique du secteur des captages de Vritz 19

Illustration 8 : contour du bassin sableux de la Kiriaie et carte piézométrique des sables pliocènes (Brunel & Talbo, 1981) 21

Illustration 9 : la carte géologique harmonisée au 1/50 000 du Maine-et-Loire et l'étude BRGM/81-SGN-586-PAL proposent une cartographie différente des deux bassins sableux 22

Illustration 10 : campagne piézométrique des hautes eaux - localisation des ouvrages mesurés en mars 2013 25

Illustration 11 : carte piézométrique des hautes eaux de la nappe des sables pliocènes et du socle dans le secteur de Vritz 26

Illustration 12 : différences entre l'AAC proposée en 2008 et celle délimitée en 2013 27

Illustration 13 : aire d'alimentation et périmètres de protection des captages de Vritz 28

Illustration 14 : zone non saturée d'un aquifère 30

Illustration 15 : discrétisation de l'AAC de Vritz 31

Illustration 16 : note correspondant au critère « couverture pédologique » dans l'AAC de Vritz 32

Illustration 17 : valeur moyenne de l'IDPR par entité géologique de l'AAC de Vritz. 33

Illustration 18 : note correspondant à la moyenne de l'IDPR par formation géologique dans l'AAC de Vritz 34

Illustration 19 : interpolation des isopièzes hautes eaux 34

Illustration 20 : épaisseur de la zone non saturée dans l'AAC de Vritz 35

Illustration 21 : note correspondant au critère ZNS de l'AAC de Vritz 35

Illustration 22 : note correspondant au critère « perméabilité » de l'AAC de Vritz 36

Illustration 23 : cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation des captages de Vritz .. 38

Liste des tableaux

Tableau 1 : paramètres pris en compte dans le calcul de la note de vulnérabilité d'un système aquifère continu 30

Tableau 2 : classification des paramètres pour le calcul de la vulnérabilité d'un système aquifère continu (in Guide méthodologique BRGM/RP-55874-FR) 31

Liste des annexes

Annexe 1 Coupe technique du forage Kiriaie F1 (04225X0010/F1) 43

Annexe 2 Coupe technique du forage Kiriaie F2 (04225X0011/F2) 47

Annexe 3 Coupe technique du forage des Thuyas (04225X0014/F) 51

1. Introduction

En 2010, à la demande de la Mission interservices de l'eau de Loire-Atlantique (MISE 44), le BRGM a délimité les bassins d'alimentation de trois captages prioritaires « Grenelle » (Machecoul, Nort-sur-Erdre, Saffré) et cartographié leur vulnérabilité.

Cette demande de la MISE 44 s'inscrivait 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 captages prioritaires de Vritz, qui présentent la particularité d'être implantés en Loire-Atlantique mais n'alimentent que des communes du Maine-et-Loire (Candé), et dont on connaît déjà le contour du bassin d'alimentation (rapport BRGM/RP-56819-FR), ne faisaient pas partie des captages traités en 2010 par le BRGM.

Les services de l'Etat, notamment la Direction départementale des territoires du Maine-et-Loire (DDT 49), s'orientaient alors vers la définition d'une vulnérabilité élevée homogène pour l'ensemble de l'AAC. Le programme d'action visant à protéger la ressource vis-à-vis des pollutions diffuses se serait donc appliqué à l'intégralité de l'AAC, sans nuances.

Face aux difficultés que pose la mise en œuvre d'un tel programme d'action, la Mission inter-services de l'eau du Maine-et-Loire (MISE 49) a souhaité que le BRGM cartographie la vulnérabilité de l'AAC de Vritz, de façon à pouvoir cibler les secteurs où l'application de mesures de reconquête de la qualité de l'eau souterraine est prioritaire.

2. Élements 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 DE CAPTAGE (BAC)

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 1).

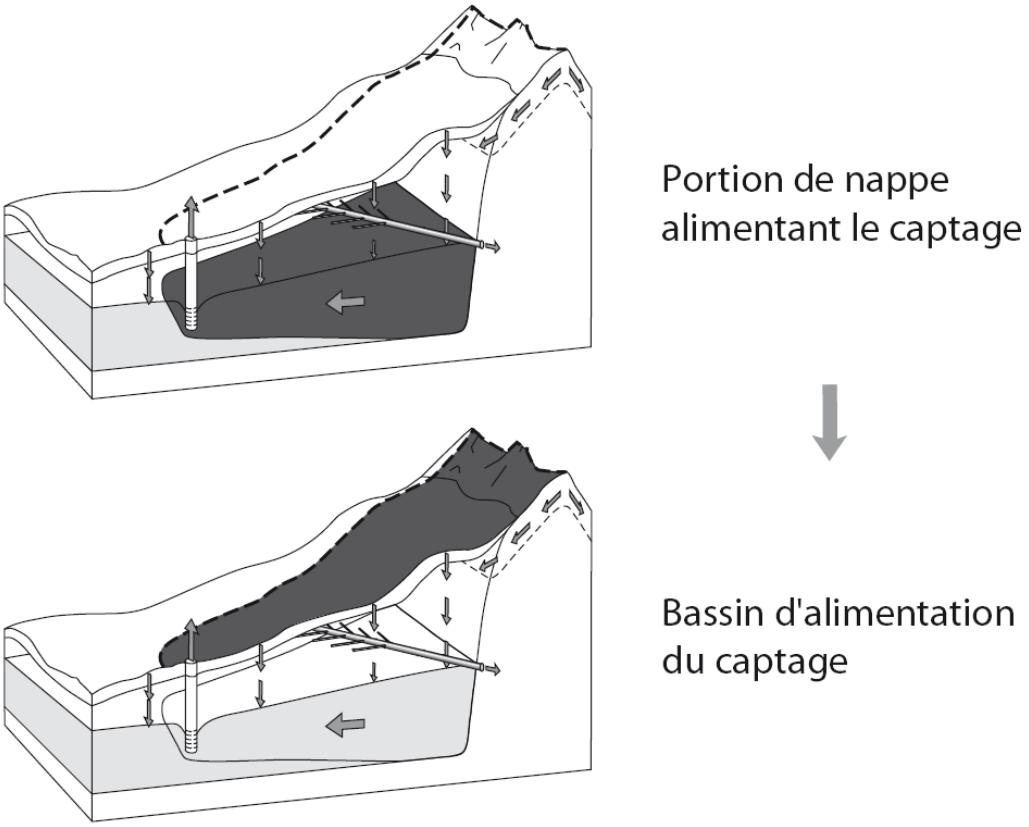


Illustration 1 : définition du bassin d'alimentation d'un captage(in Bussard, 2005)

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 1). 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 2, 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 3). 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.

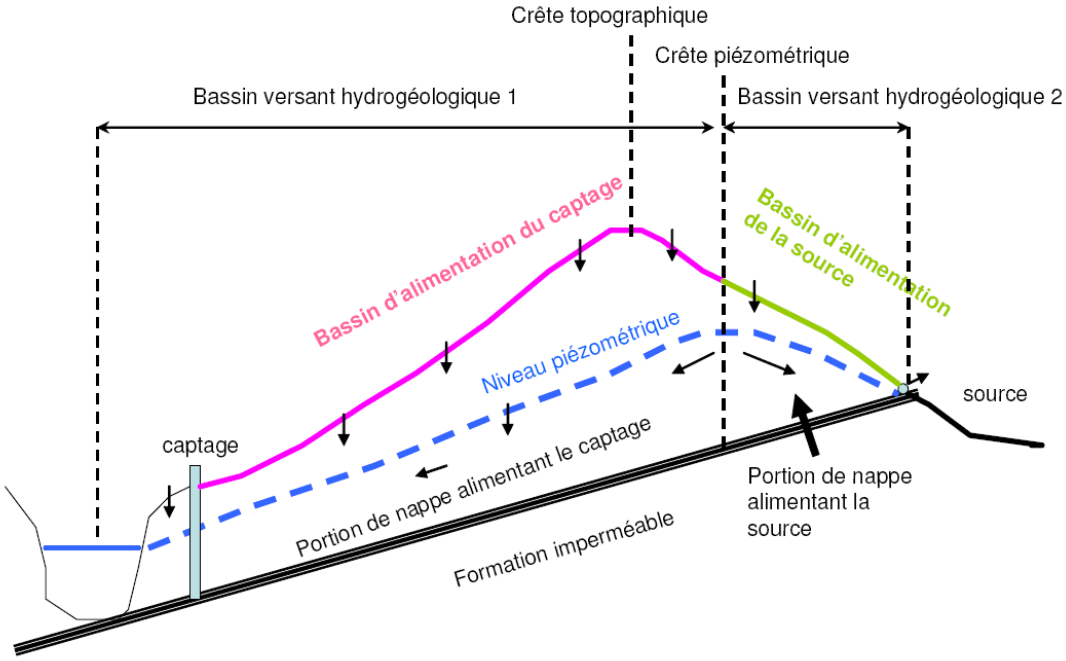


Illustration 2 : bassin hydrogéologique et bassin d'alimentation dans un cas simple (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007)

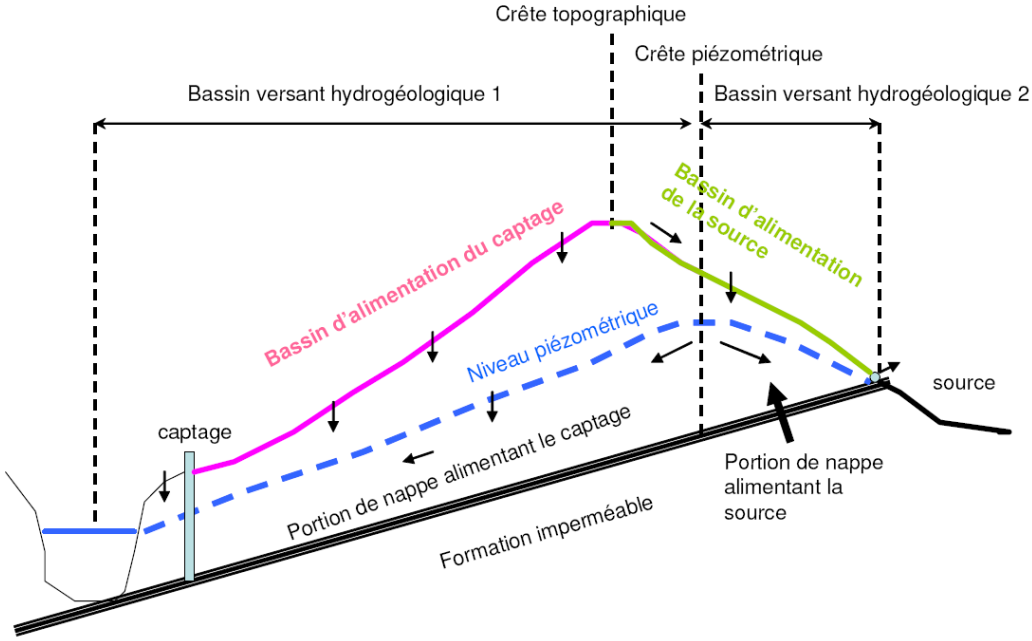


Illustration 3 : cas où la surface entre crêtes topo et piézo est imperméable (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007)

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 4). 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.

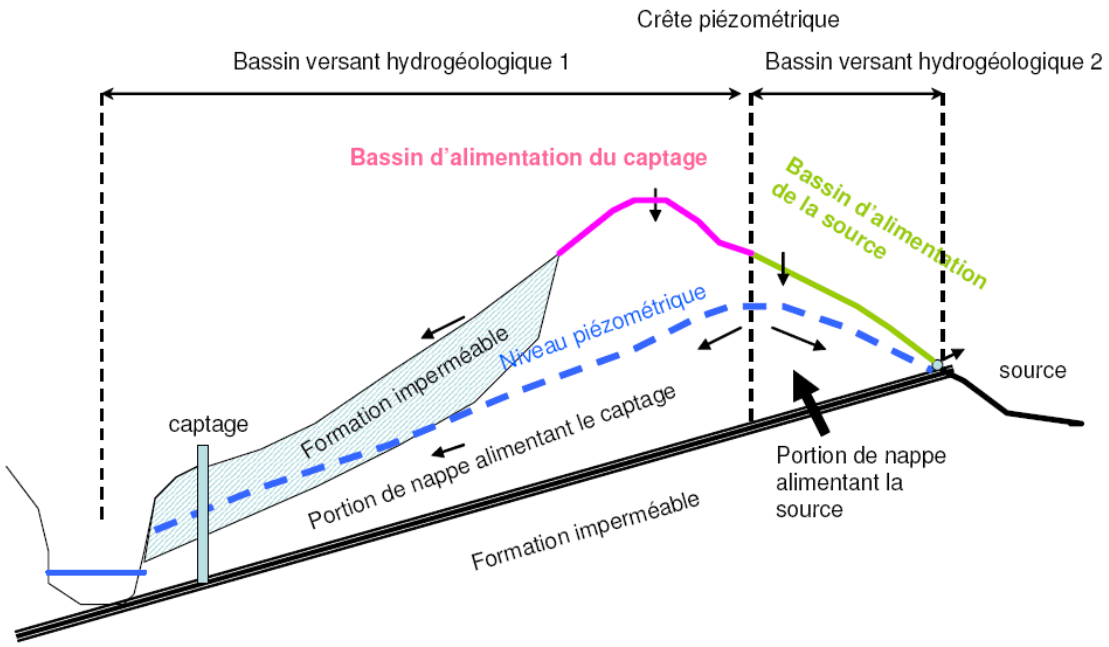


Illustration 4 : cas d'une nappe captive (in Vernoux et al., BRGM/RP-55332-FR, 2007)

2.2. NOTION D'AIRE D'ALIMENTATION DE CAPTAGE (AAC)

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 (AAC) sont équivalentes.

2.3. 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.

2.4. 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 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, au moyen d'un maillage (cf. § 4.2). 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 du Maine-et-Loire (DDT 49) comprenait la formation d'un groupe de travail constitué de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB), de la DREAL, du BRGM et de la DDT 49. Les principaux résultats du travail réalisé par le BRGM (méthodologie, délimitation de l'AAC, cartographie de la vulnérabilité) ont été présentés à ce groupe de travail à mesure que l'étude progressait, et ont fait l'objet de discussions avant d'aboutir à la validation des résultats en décembre 2013.

3. Aire d'alimentation des captages de Vritz

Vritz est une commune située au nord-est de la Loire-Atlantique (cf. Illustration 5).

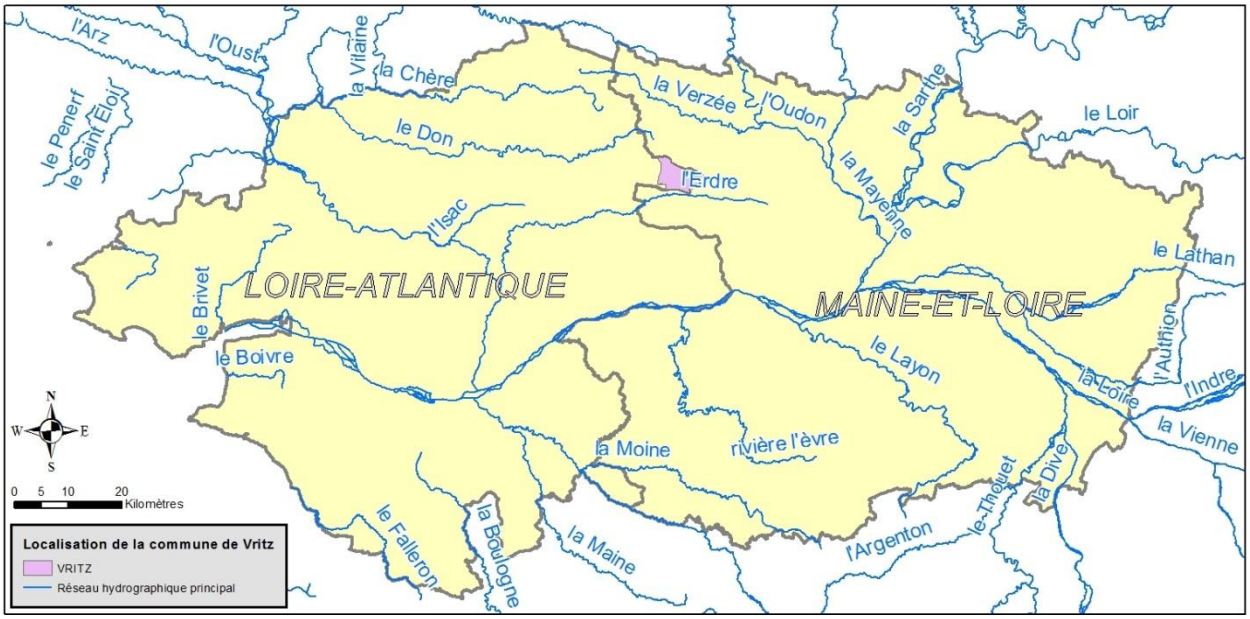


Illustration 5 : localisation de la commune de Vritz

3.1. CONTEXTES

L'eau potable produite à Vritz provient de deux unités de production : le site des Thuyas et le site de la Kiriaie, distants de 500 m l'un de l'autre.

3.1.1. Hydrographie

La commune de Vritz appartient au bassin versant de l'Erdre. Le ruisseau du Grand Gué coule à la Kiriaie (les deux forages de la Kiriaie sont situés à quelques mètres du ruisseau) et à 300 m au sud du site des Thuyas. Il se jette dans l'Erdre à Candé.

Les débits du ruisseau du Grand Gué ne sont pas enregistrés systématiquement par la DREAL. La station de jaugeage la plus proche est localisée à Candé, sur l'Erdre.

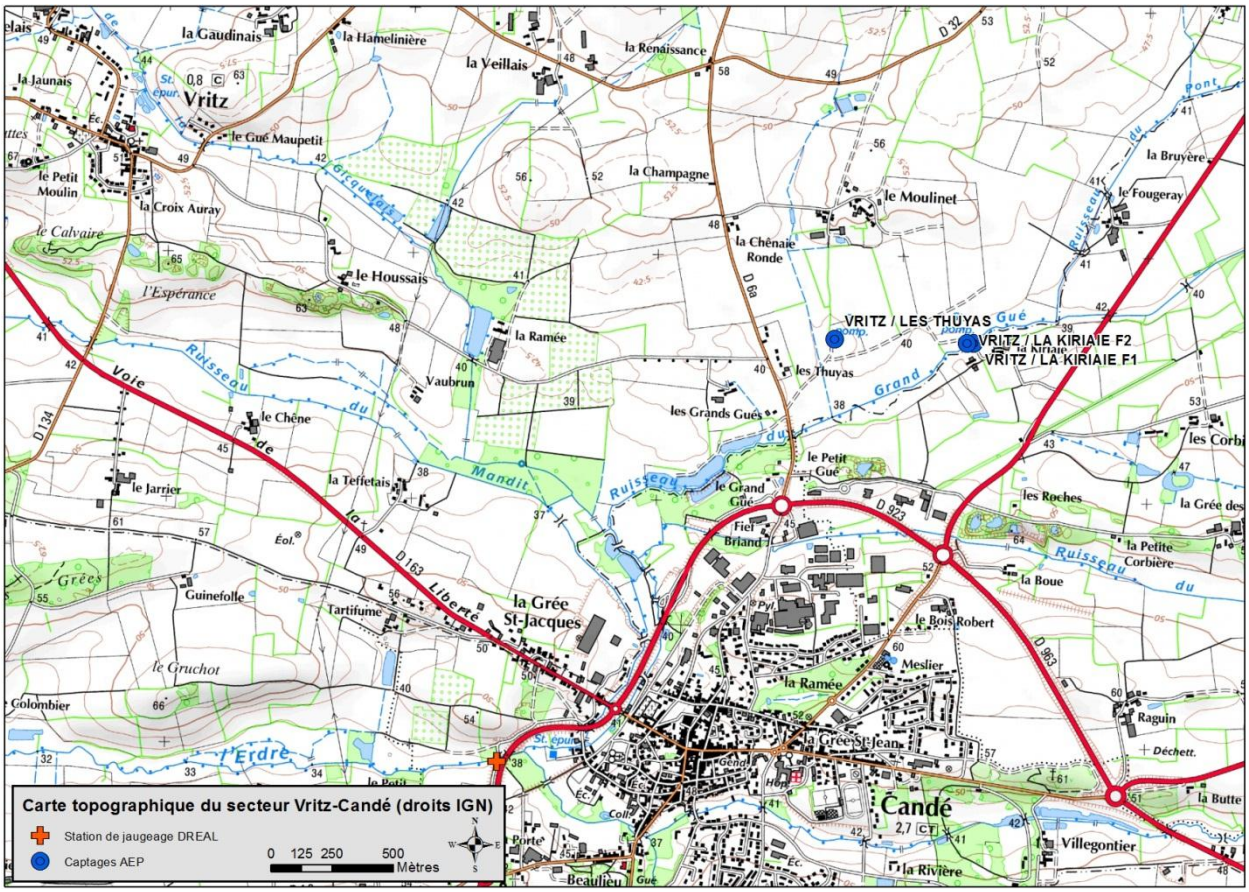


Illustration 6 : carte topographique des sites de production d'eau potable à Vritz (© IGN)

3.1.2. Hydrogéologie

L'aquifère exploité à Vritz pour la production d'eau potable est celui des sables pliocènes.

Les sables pliocènes sont disposés en placage sur les formations géologiques du socle (Massif Armoricain) représentés ici par des schistes et grès. Leur extension a été étudiée dans le détail par le BRGM en 1981, par des méthodes intrusives (sondages) et non-intrusives (géophysique par sondages électriques), ce qui a donné lieu à une cartographie des sables du bassin de la Kiriaie (cf. Illustration 8). Cette cartographie du bassin sableux diffère de celle de la carte géologique harmonisée au 1/50 000, qui propose un contour plus petit (cf. Illustration 9). Nous avons retenu dans la présente étude le contour issu de l'étude de 1981.

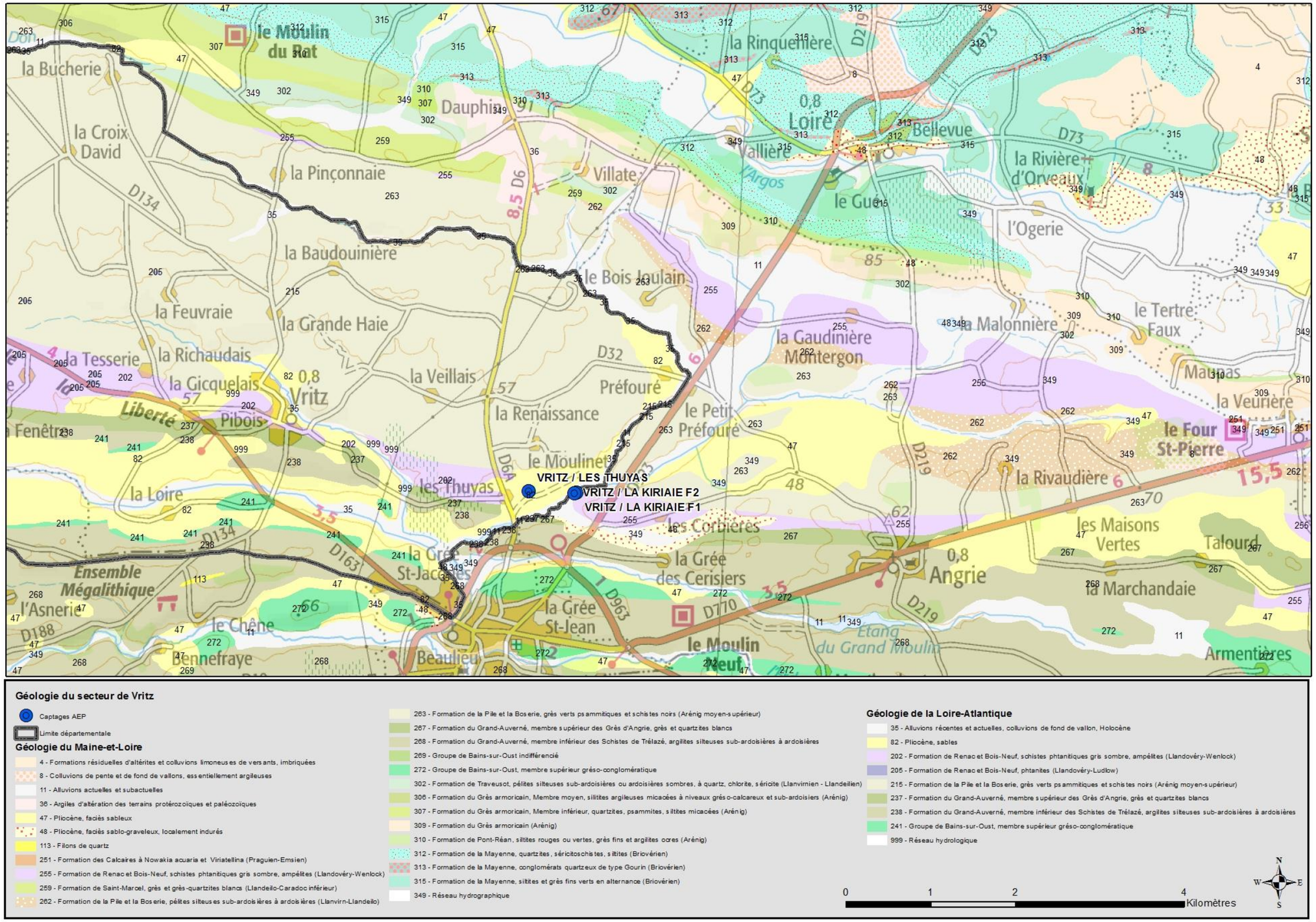


Illustration 7 : carte géologique du secteur des captages de Vritz

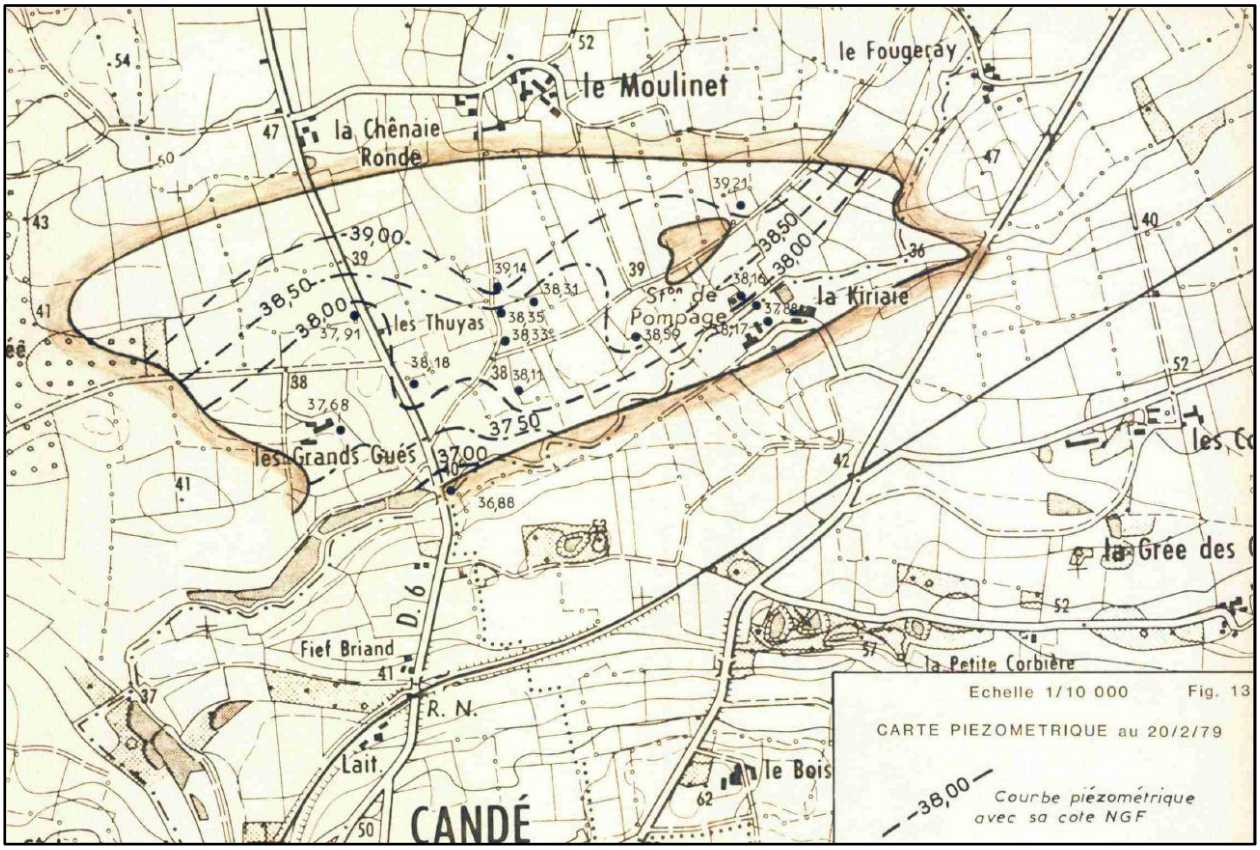


Illustration 8 : contour du bassin sableux de la Kiriaie et carte piézométrique des sables pliocènes (Brunel & Talbo, 1981)

L'aquifère des sables pliocènes est alimenté par les précipitations directes là où il affleure (estimées entre 130 000 et 150 000 m^3 pour une année moyenne) et par la vidange des eaux souterraines contenues dans le socle encaissant (évaluées entre 350 000 et 500 000 m^3 pour une année moyenne). En effet, la nappe des sables pliocènes et celle du socle encaissant sont en continuité hydraulique, à tel point qu'on peut parler de la nappe des sables et du socle : une seule nappe dans deux réservoirs aux lithologies et aux propriétés hydrodynamiques très différentes.

L'essai de pompage mené sur le forage Kiriaie F1 (lire § 3.2.1) a mis en évidence la relation hydraulique entre la nappe et le ruisseau. Sous l'influence des prélèvements, le ruisseau du Grand-Gué réalimente la nappe.

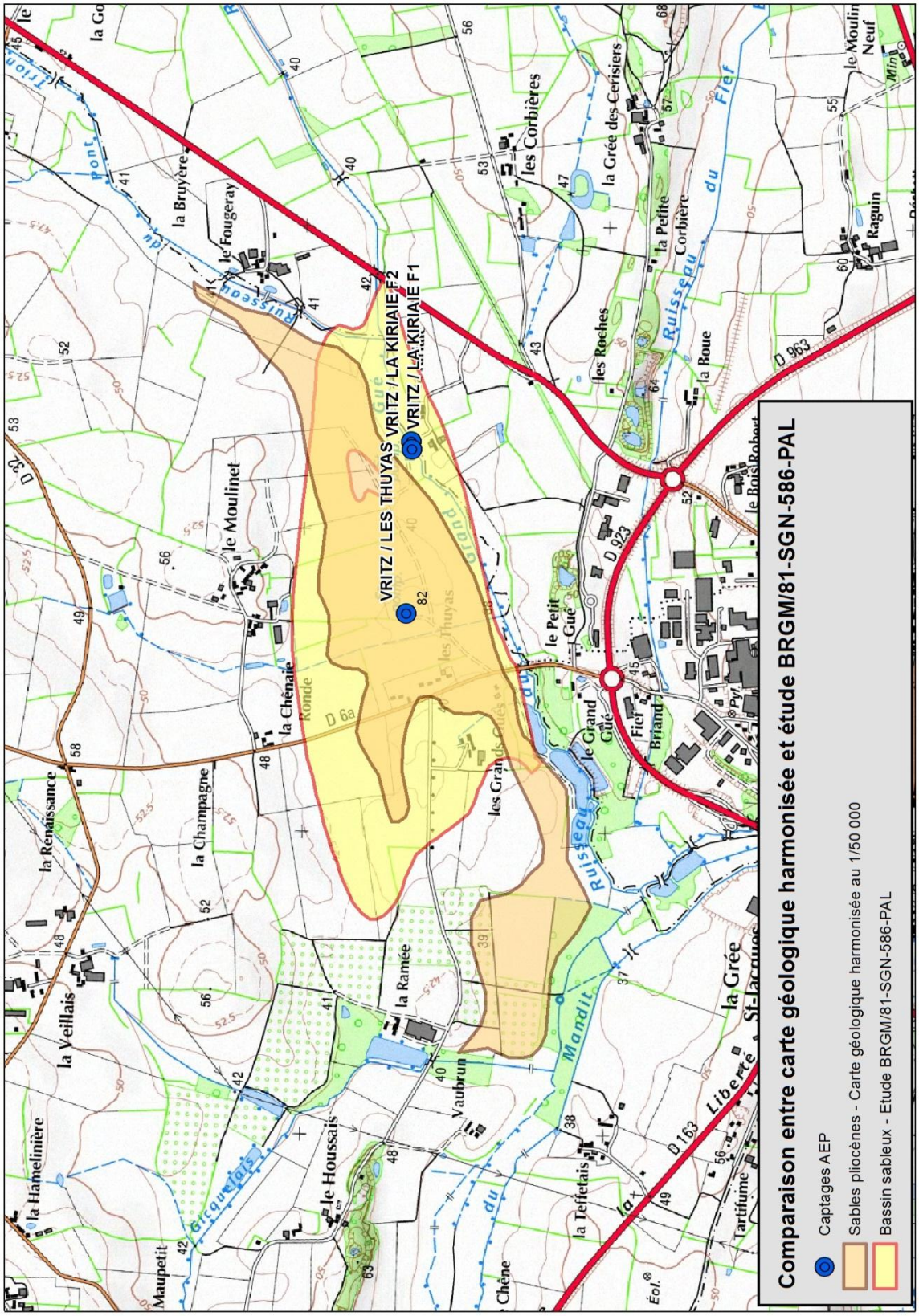


Illustration 9 : la carte géologique harmonisée au 1/50 000 du Maine-et-Loire et l'étude BRGM/81-SGN-586-PAL proposent une cartographie différente des deux bassins sableux

3.2. DESCRIPTION DES OUVRAGES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE

Les captages de Vritz ont fait l'objet d'une procédure de déclaration d'utilité publique (DUP) et instauration des périmètres de protection. L'arrêté de DUP date du 8 octobre 2007, révisé le 24 mai 2012 puis le 19 juillet 2013.

Au total, 600 000 m^3 sont autorisés à être prélevés annuellement pour l'AEP à Vritz au titre de la police de l'eau, mais la teneur en nitrates de l'eau souterraine oblige que soit opérée une dilution au moyen des eaux du syndicat d'Ancenis, de façon à abaisser cette teneur à un niveau inférieur à 50 $mg.L^{-1}$. D'après les informations transmises fin 2012 par le SIAEP du Segréen, depuis 2006 la production d'eau potable mobilise chaque année en moyenne 250 000 m^3, et c'est une volonté du syndicat d'augmenter la production à son niveau maximal autorisé, ce qui passera nécessairement par une amélioration de la qualité de la ressource.

3.2.1. Forage F1 de la Kiriaie 04225X0010/F1

Il s'agit d'un forage réalisé en 1972 dont la profondeur atteint 26,7 m. Il est équipé de crépines dans les sables pliocènes, entre 14 et 18 m de profondeur, puis entre 22 et 26 m de profondeur, en diamètre 235 mm (cf. Annexe 1). Le socle est atteint à 26,5 m.

Avant sa mise en service, un pompage d'essai a été réalisé pendant 66 h à 28 $m^3.h^{-1}$. La transmissivité de l'aquifère a été évaluée à $1,5.10^{-2}$ $m^2.s^{-1}$ et son coefficient d'emmagasinement à $3,4.10^{-2}$.

Le forage est exploité au débit de 60 $m^3.h^{-1}$.

3.2.2. Forage F2 de la Kiriaie 04225X0011/F2

Il s'agit d'un forage de 28 m mis en service en 1981. Il est crépiné dans les sables pliocènes de 15 m à 24 m de profondeur en diamètre 310 mm (cf. Annexe 2). Le socle est atteint à 27,2 m de profondeur.

L'ouvrage n'a pas fait l'objet de pompage d'essai. Il est exploité à 60 $m^3.h^{-1}$.

3.2.3. Forage des Thuyas 04225X0014/F

Il s'agit d'un forage de 30 m mis en service en 1983. Il est crépiné dans les sables pliocènes de 16,5 m à 25,5 m de profondeur, au diamètre 316 mm (cf. Annexe 3). Il n'atteint pas le socle.

Un pompage d'essai de courte durée (18 h, donc peu fiable) a établi que la transmissivité de l'aquifère était de $2,8.10^{-2}$ $m^2.s^{-1}$ et son coefficient d'emmagasinement de 5.10^{-3}. Le forage est exploité à 60 $m^3.h^{-1}$.

3.3. CAMPAGNE PIÉZOMÉTRIQUE HAUTES EAUX (MARS 2013)

Le BRGM a réalisé en mars 2013 une campagne piézométrique dans un large périmètre compris entre Challain-la-Potherie, Chazé-sur-Argos et Freigné et englobant *a priori* l'AAC de Vritz. Les forages de la Kiriaie et des Thuyas fonctionnaient pendant la campagne de terrain. La profondeur du niveau de la nappe des sables pliocènes et du socle a été mesurée dans 27

ouvrages (puits ou forages), et, connaissant la cote topographique du sol, on en a déduit l'altitude de la surface de la nappe (cf. Illustration 10).

Les altitudes de la nappe mesurées ponctuellement ont ensuite été interpolées pour déterminer l'altitude de la nappe en tous points de la zone étudiée. Cette interpolation s'est faite au préalable par traitement géostatistique automatique, puis le résultat obtenu a été corrigé à la main pour tenir compte de la topographie (là où l'altitude de la surface de la nappe était supérieure à la topographie, notamment dans les vallées et thalwegs) et corriger les artefacts d'interpolation (cf. Illustration 11).

Les cartes piézométriques confirment que la nappe contenue dans les sables pliocènes et celle contenue dans les roches du socle sont en connexion hydraulique.

3.3.1. Lignes de courant et sens d'écoulement

Les isopièzes sont des équipotentielles (la charge hydraulique est la même le long d'une isopièze). Les lignes de courant, qui définissent la direction et le sens des écoulements de la nappe, sont perpendiculaires aux isopièzes et vont dans le sens des potentiels décroissants (de la charge hydraulique la plus élevée vers la plus faible).

Au simple examen de la carte et de l'allure des isopièzes, on constate que la nappe est drainée par les cours d'eau et les vallées sèches (et donc les lignes de courant convergent vers les vallées).

3.3.2. Gradient hydraulique

Le gradient hydraulique entre deux points de la surface piézométrique est l'équivalent de la pente en topographie. Il épouse le modelé topographique en en atténuant la rugosité. Il est plus faible sous les plaines et les plateaux que sous les coteaux. On le détermine en calculant le rapport de la différence de potentiel entre deux points (donc ici une différence de charge hydraulique) par la distance séparant les deux points. Le gradient hydraulique et la transmissivité de la roche aquifère permettent de déterminer le débit de la nappe au travers de la section de passage considérée (loi de Darcy).

On observe un net contraste de gradient hydraulique entre la partie ouest et la partie est de la zone couverte par la campagne de terrain : le gradient est le plus fort dans les grès et schistes situés en rive droite (à l'ouest) du ruisseau du Grand Gué. Cela s'explique par la faible transmissivité de ces terrains, relativement à celle des sables pliocènes qui sont surtout localisés en rive gauche (à l'est).

Illustration 10 : campagne piézométrique des hautes eaux - localisation des ouvrages mesurés en mars 2013

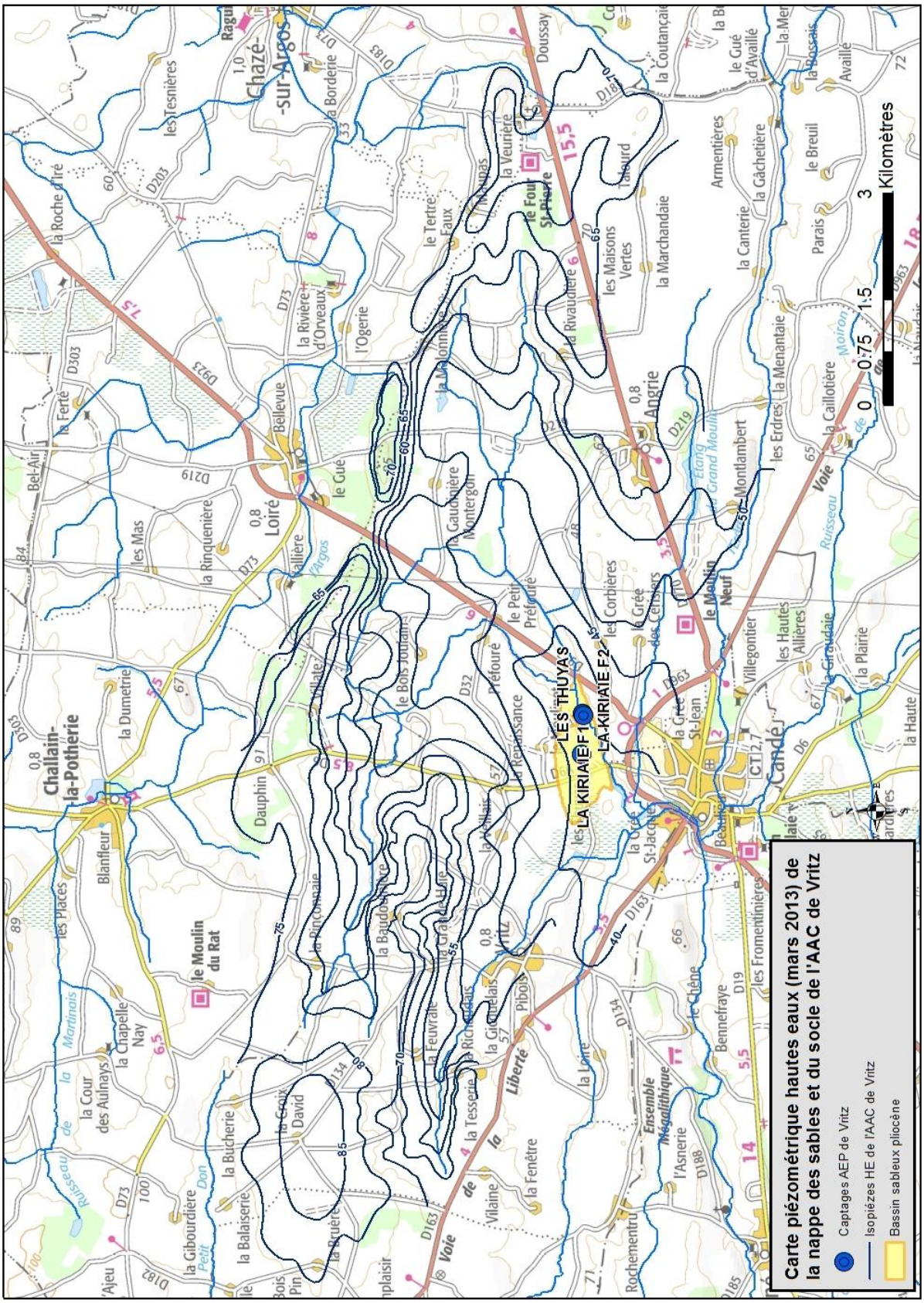


Illustration 11 : carte piézométrique des hautes eaux de la nappe des sables pliocènes et du socle dans le secteur de Vritz

3.4. DÉLIMITATION DE L'AIRE D'ALIMENTATION DES CAPTAGES

Sous l'effet des prélèvements AEP, le ruisseau des Grands Gués réalimente la nappe. L'aire d'alimentation des captages correspond donc à l'intégralité du bassin versant du ruisseau. Cela avait déjà était énoncé dans le rapport BRGM/RP-56819-FR (2008). Néanmoins, grâce à la carte piézométrique des hautes eaux, nous avons pu préciser le contour de 2008 au nord-ouest de l'AAC, au lieu-dit « la Croix-David ». À l'ouest des Thuyas et à Angrie, nous avons revu le contour de l'AAC sur la base de la topographie (cf. Illustration 12).

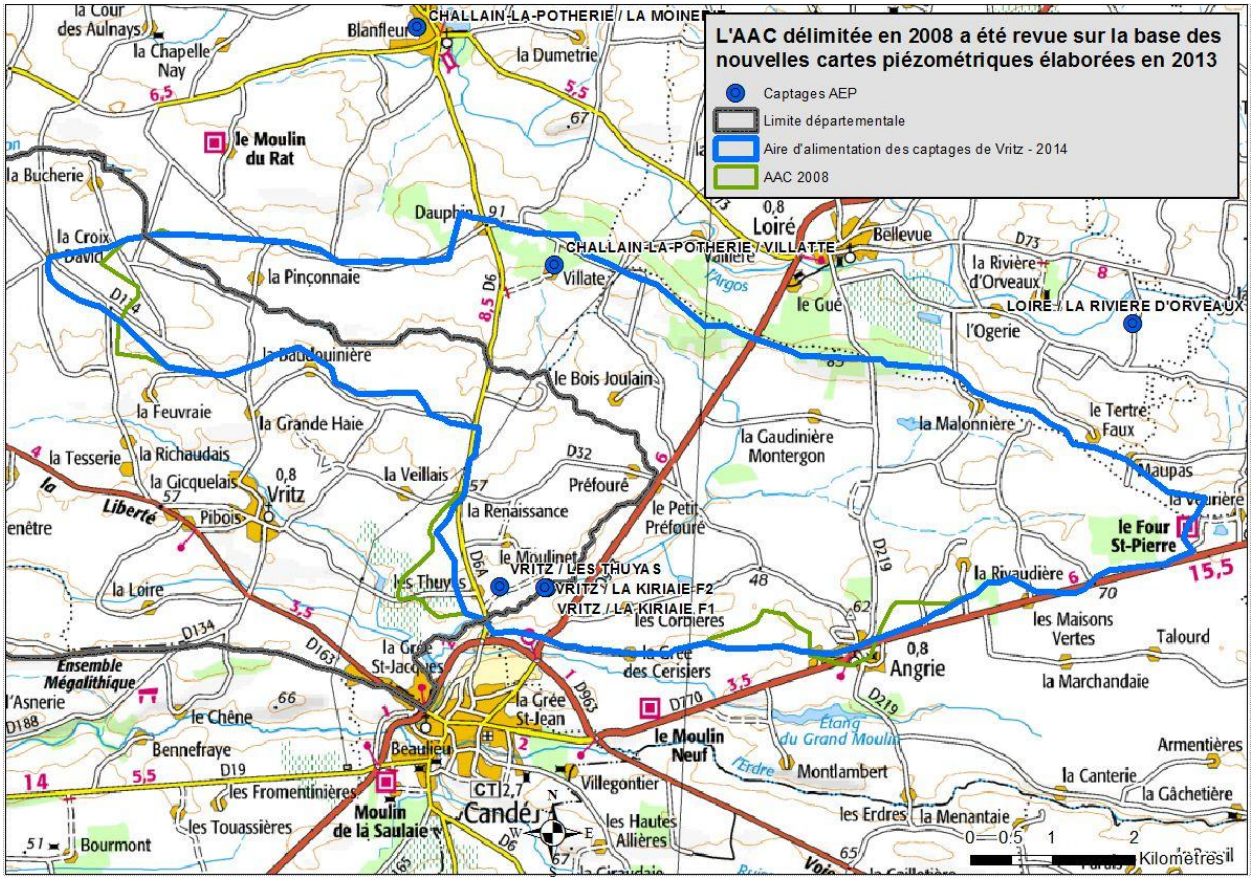


Illustration 12 : différences entre l'AAC proposée en 2008 et celle délimitée en 2013

L'AAC ainsi délimitée a une superficie de 36,5 km^2 (3 653 ha).

3.5. DIFFÉRENCES AVEC LES PÉRIMÈTRES DE PROTECTION DES CAPTAGES

Les périmètres de protection sont conformes aux contours de l'AAC telle qu'elle avait été définie en 2008. Ces contours ayant été reprécisés dans le cadre de la présente étude, les PPC débordent de l'AAC à l'ouest de la D6A (cf. Illustration 13).

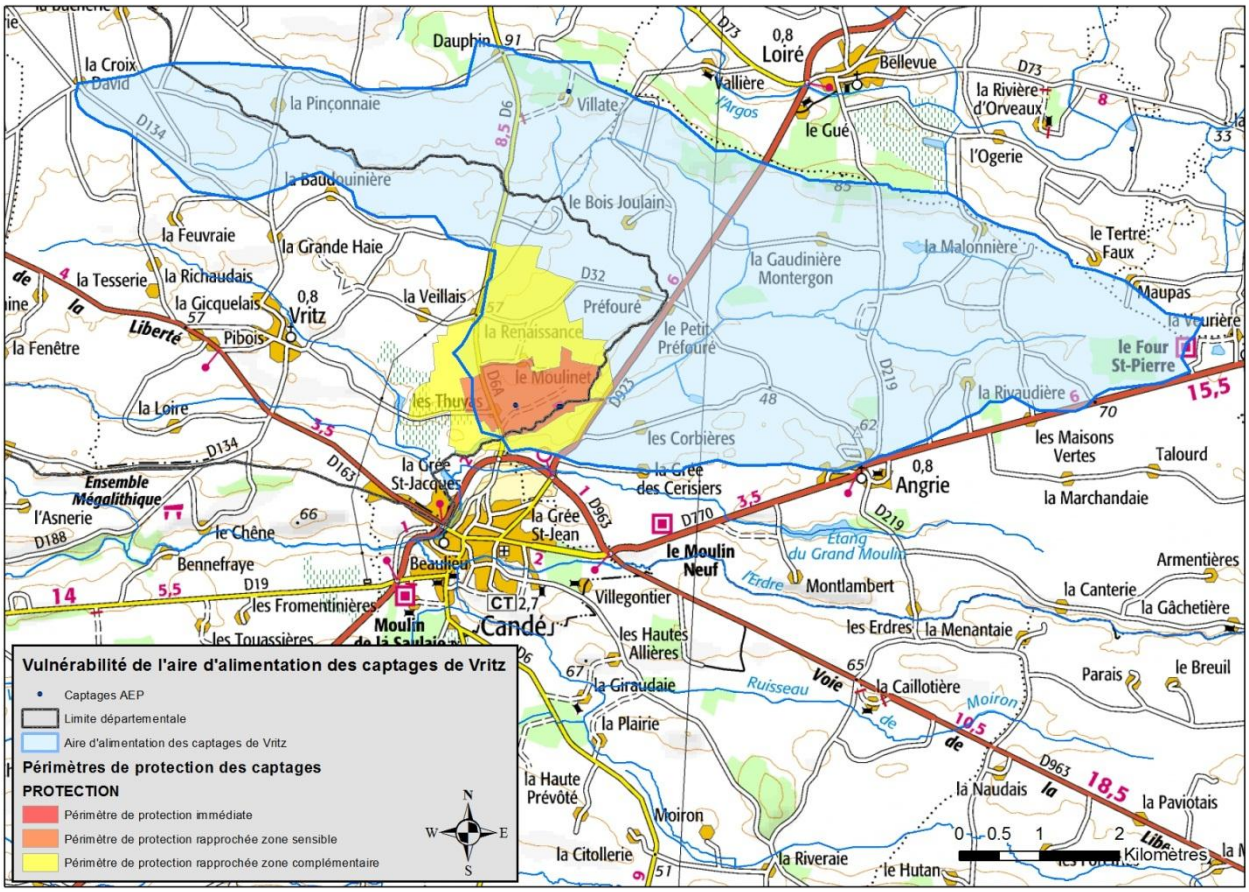


Illustration 13 : aire d'alimentation et périmètres de protection des captages de Vritz

4. Cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation des captages de Vritz

4.1. CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA VULNÉRABILITÉ

4.1.1. Type d'aquifère

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 »**.

En revanche les formations du socle de l'AAC, qui forment l'encaissant du bassin sableux, constituent un aquifère fissuré, mais sans que soient connus des zones fissurées ou des couloirs de fracturation. Aucun axe d'écoulement souterrain préférentiel n'a été mis en évidence dans la bibliographie. On considère donc ici que la fissuration est homogène partout dans le socle de l'AAC de Vritz.

Par ailleurs, la méthodologie classique détaillée dans le guide national répond mal à l'existence dans l'AAC de Vritz de zones du socle avant tout contributives pour leur capacité à alimenter indirectement l'aquifère *via* des phénomènes de ruissellement ou par le réseau hydrographique. Sur les formations du socle à proximité des cours d'eau, le temps de transfert d'une éventuelle pollution diffuse vers les captages *via* le réseau hydrographique est considérablement plus élevé que par infiltration *via* la nappe des sables et du socle. 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 méthodologie a donc été adaptée comme suit :

- partout dans l'AAC, la méthode relative aux aquifères continus homogènes détaillée dans le guide national a été appliquée ;
- à proximité des cours d'eau, là où le ruissellement sur les formations de socle est déterminant par rapport à l'infiltration, on a pratiqué un « forçage » de la vulnérabilité (cf. § 4.3).

4.1.2. Paramètres pris en compte

Les paramètres pris en compte pour un système aquifère continu homogène figurent dans le Tableau 1.

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

L'épaisseur de la zone non saturée correspond à l'épaisseur de terrain entre le sol et la surface de la nappe, c'est-à-dire à la profondeur de la nappe (cf. Illustration 14).

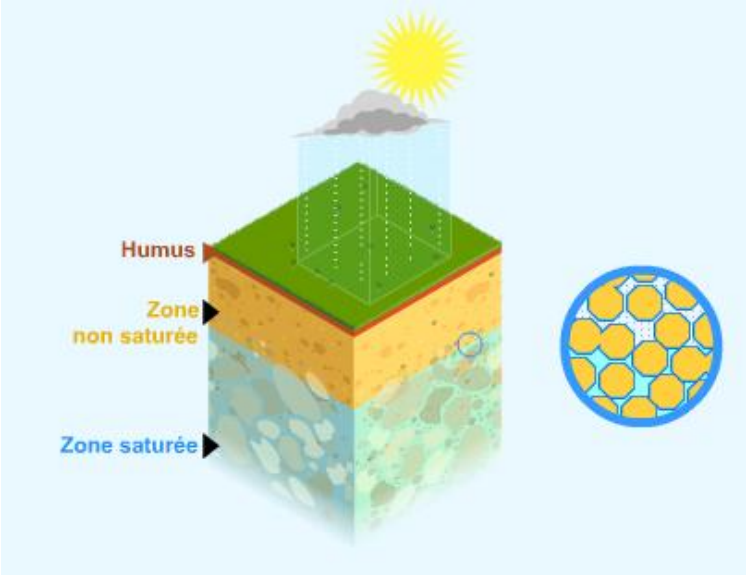


Illustration 14 : zone non saturée d'un aquifère

4.2. CLASSIFICATION DES PARAMÈTRES

La classification des paramètres est présentée dans le Tableau 2. 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 2 : 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. Dans l'AAC de Vritz, l'analyse du caractère protecteur des sols repose sur une étude pédologique et sur la nature des formations géologiques (cf. § 4.2.2).

La discrétisation de l'aire d'alimentation des captages est obtenu au moyen d'un maillage carré de pas d'espace 50 m (cf. Illustration 15).

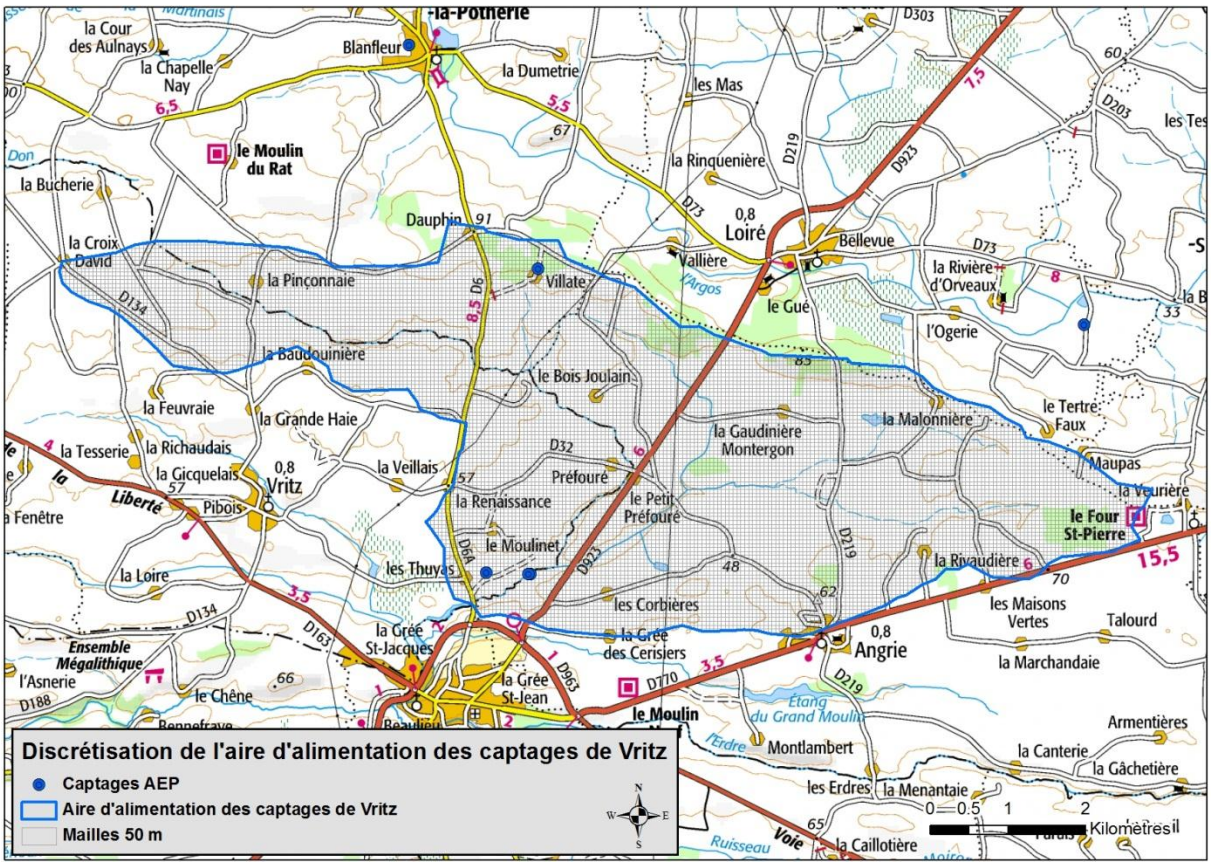


Illustration 15 : discrétisation de l'AAC de Vritz

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

4.2.1. Pluies efficaces

Compte-tenu de la taille de l'AAC, les pluies efficaces sont réputées homogènes : ce paramètre n'est pas discrétisé. La bibliographie indique une valeur moyenne annuelle de 240 mm pour les pluies efficaces. Le Tableau 2 donne la clef de répartition des notes pour ce paramètre. La note 3 est attribuée à toutes les mailles de l'AAC.

4.2.2. Couverture pédologique protectrice

L'étude pédologique commandée par le SIAEP du Segréen au bureau d'études Ouest'Am en 1997 ne couvre qu'une portion de l'AAC. Dans le secteur couvert par l'étude pédologique :

1. la note 4 a été attribuée aux sols très filtrants ;
2. la note 2 a été attribuée :
    a. aux sols présentant un risque de lessivage lié aux pratiques agricoles ;
    b. aux sols présentant un risque moins marqué.

Dans le reste de l'AAC, ces informations ont été complétées au moyen de la carte géologique harmonisée au 1/50 000, selon la méthode suivante :

1. aux sols couvrant les sables pliocènes (indurés ou non) a été attribuée la note 4 ;
2. ailleurs, la note 2 a été attribuée.

La cartographie qui en résulte figure sur l'Illustration 16.

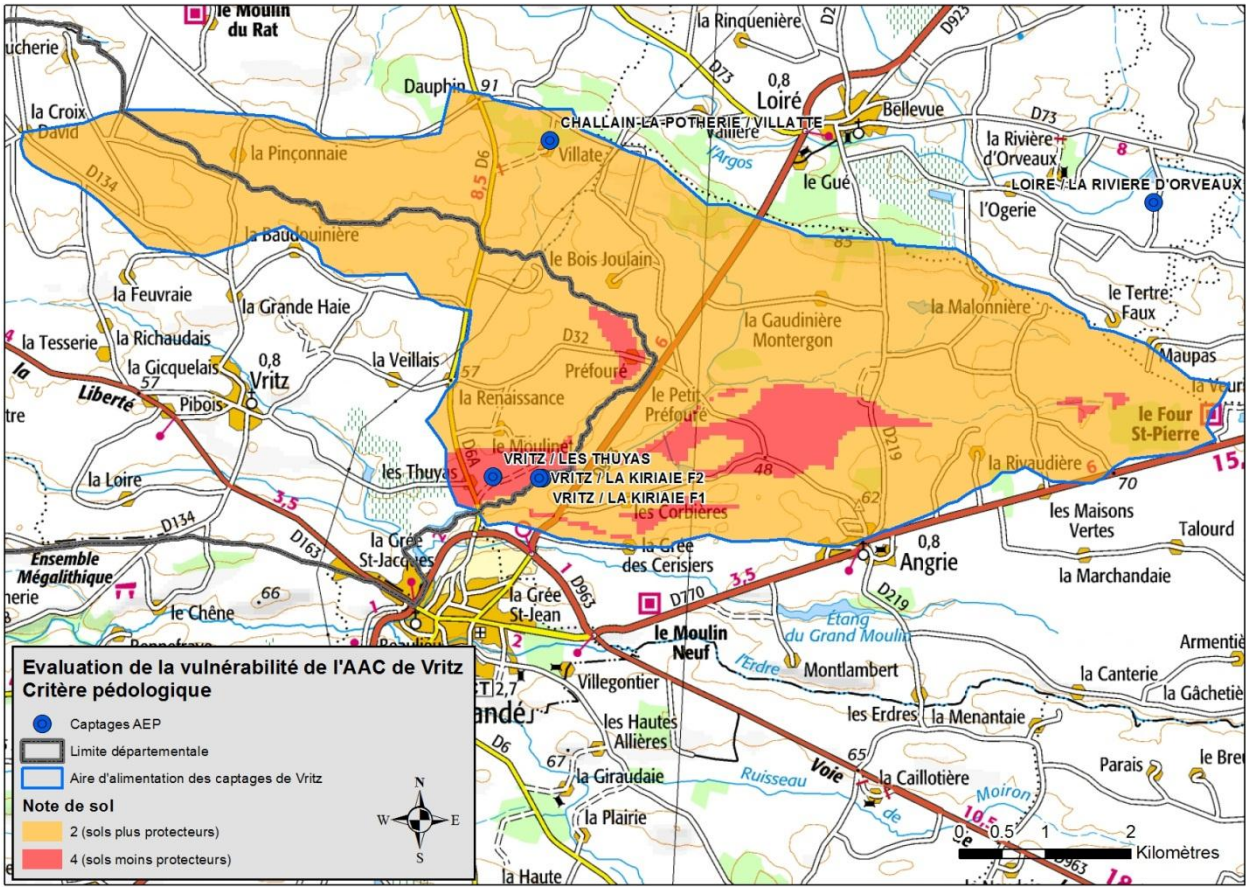


Illustration 16 : note correspondant au critère « couverture pédologique » dans l'AAC de Vritz

4.2.3. 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, nous avons calculé une valeur moyenne de l'IDPR pour chaque formation géologique présente dans l'AAC de Vritz (une unité géologique y étant représentée sous forme d'un polygone – cf. Illustration 17).

Le Tableau 2 donne la clef de répartition des notes pour ce paramètre. Il s'échelonne de 0 (très infiltrant, ce qui accroît la vulnérabilité de l'aquifère) à 2000 (très ruisselant, ce qui accroît la protection de l'aquifère). La cartographie qui en résulte figure sur l'Illustration 18.

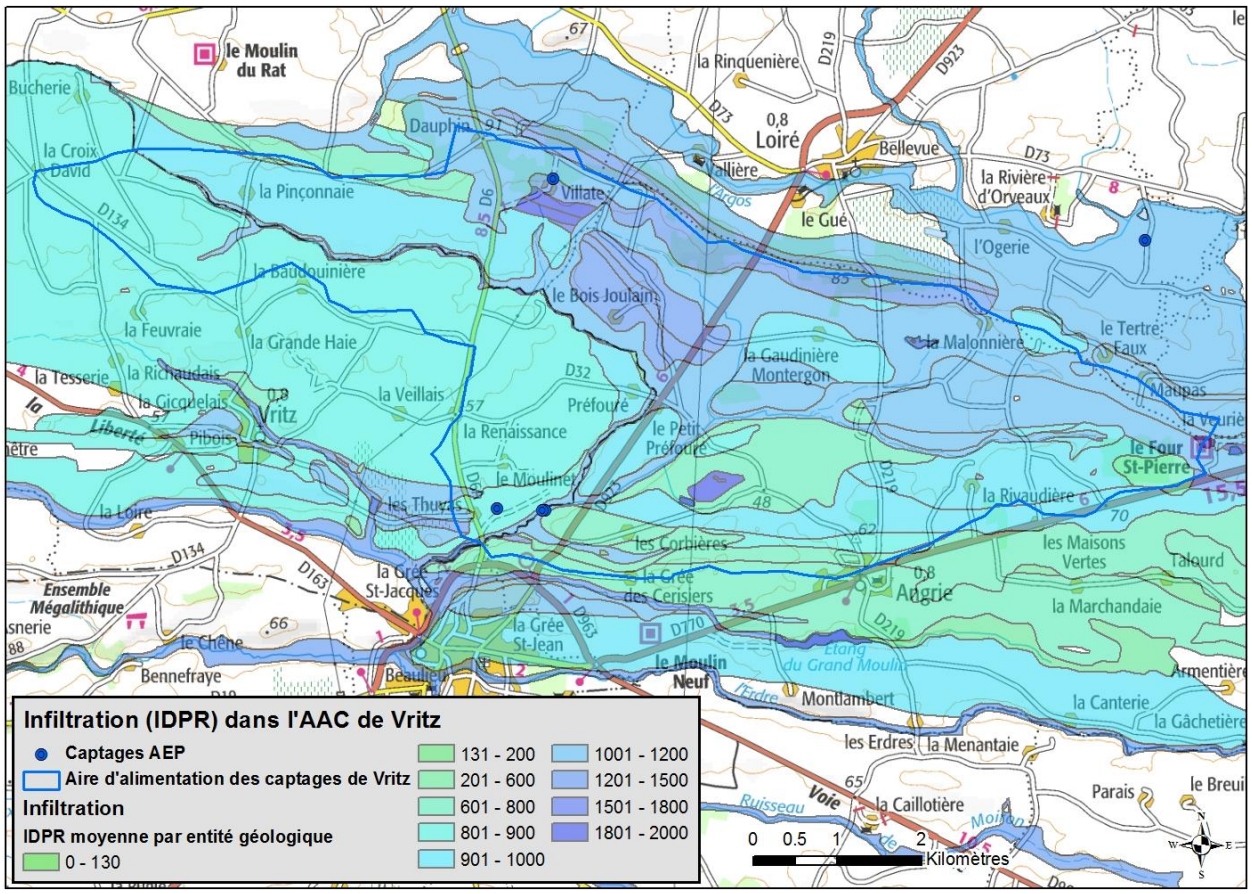


Illustration 17 : valeur moyenne de l'IDPR par entité géologique de l'AAC de Vritz.

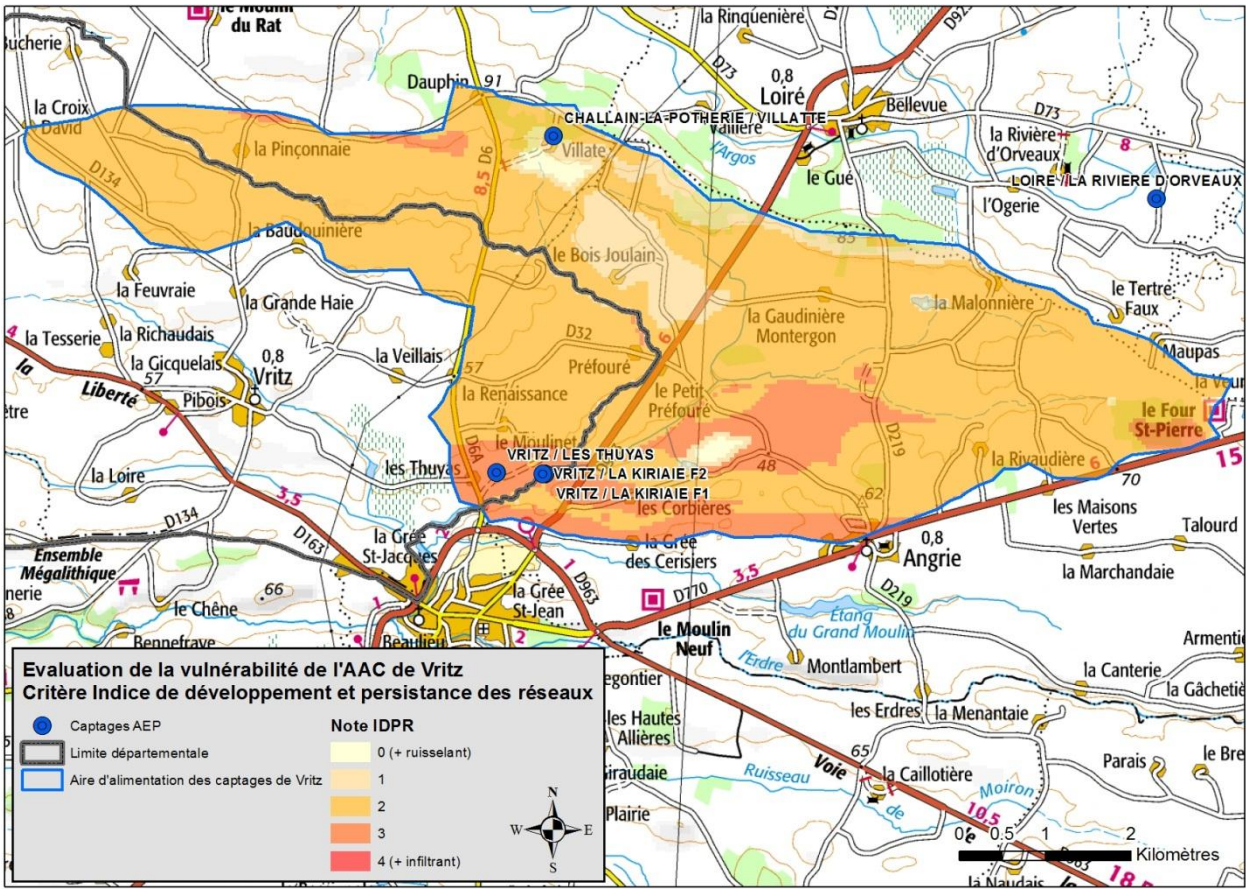


Illustration 18 : note correspondant à la moyenne de l'IDPR par formation géologique dans l'AAC de Vritz

4.2.4. Épaisseur de la zone non saturée (ZNS)

Les isopièzes des hautes eaux de mars 2013 ont été interpolées en grille de pas 30 m (cf. Illustration 19). On obtient ensuite l'épaisseur de la ZNS en soustrayant la piézométrie au modèle numérique de terrain (MNT) : *ZNS = topo – piézo*.

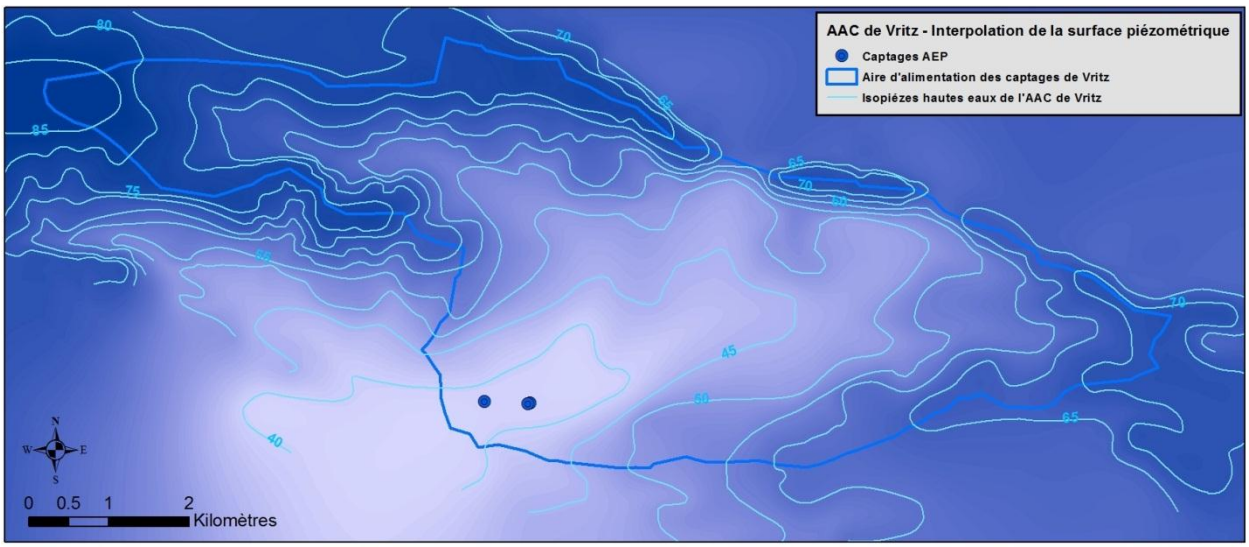


Illustration 19 : interpolation des isopièzes hautes eaux

L'AAC de Vritz étant discrétisée en mailles de 50 m de côté, il peut y avoir jusqu'à 4 valeurs de ZNS pour une maille. On calcule dans chaque maille de l'AAC la moyenne de la valeur de la ZNS (cf. Illustration 20).

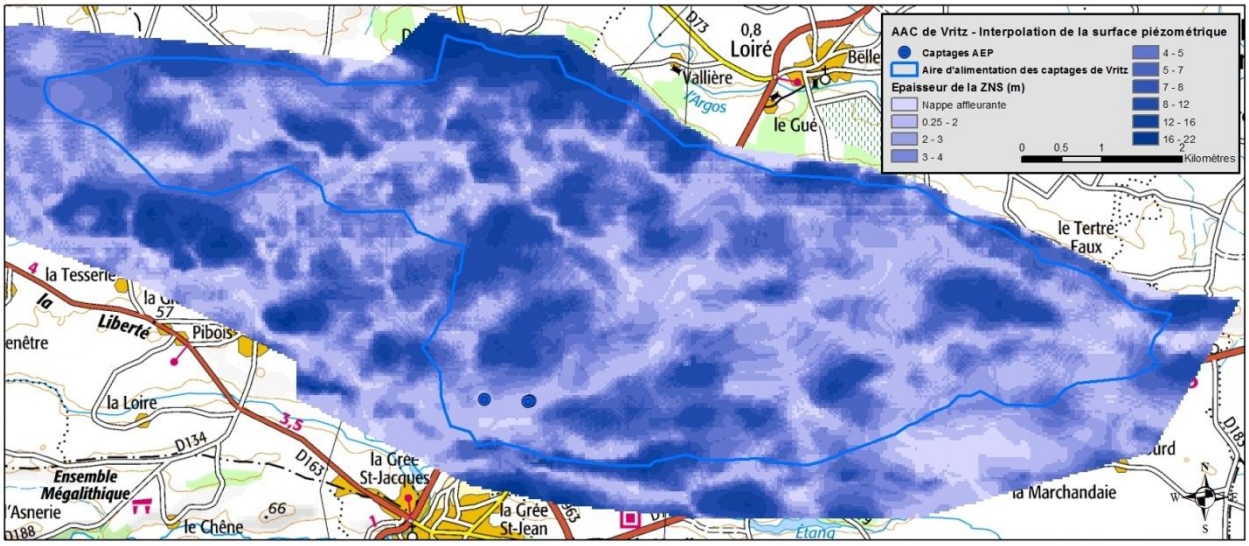


Illustration 20 : épaisseur de la zone non saturée dans l'AAC de Vritz

Le Tableau 2 donne la clef de répartition des notes pour ce paramètre. La cartographie qui en résulte figure sur l'Illustration 21.

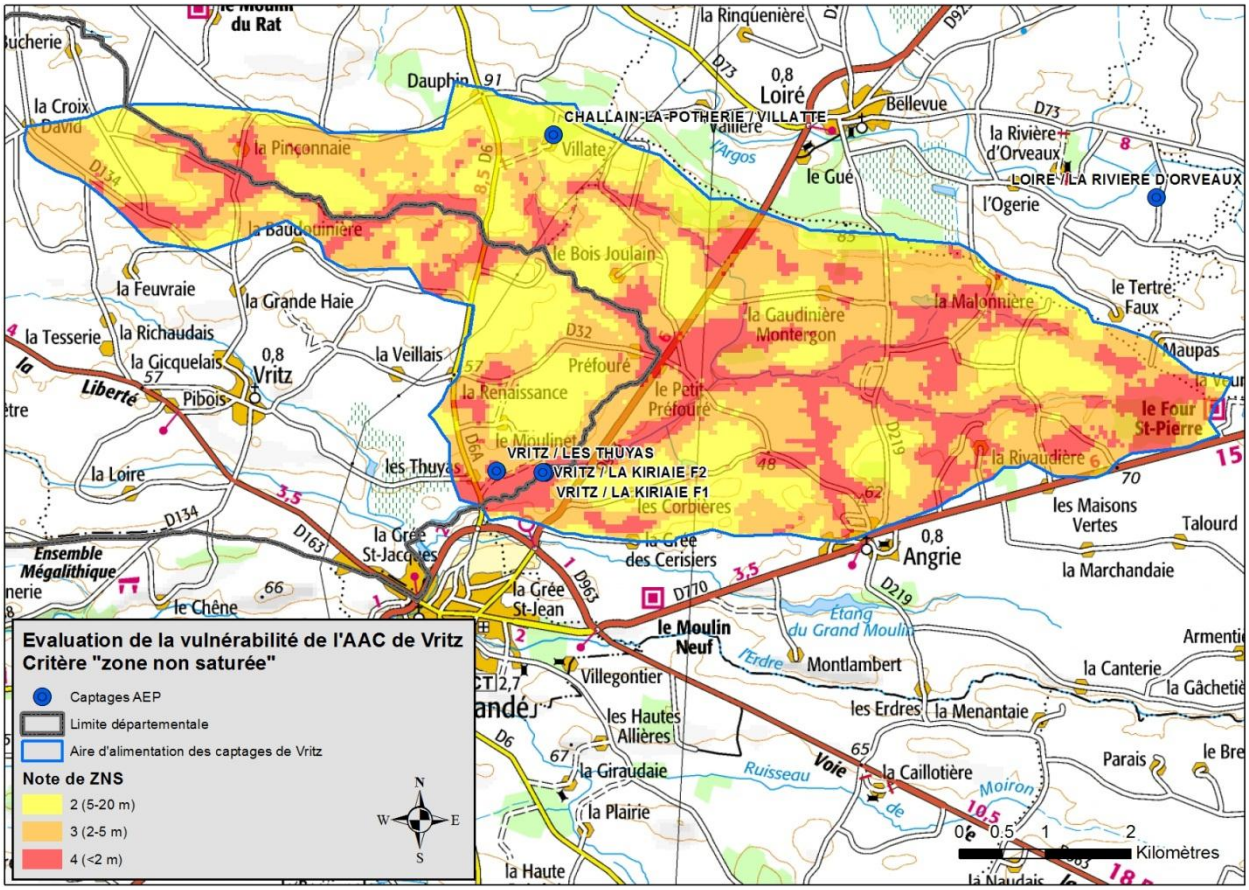


Illustration 21 : note correspondant au critère ZNS de l'AAC de Vritz

4.2.5. Perméabilité

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

La note 4 a été attribuée aux mailles où affleurent les sables pliocènes (dont la perméabilité moyenne est de l'ordre de 10^{-3} $m.s^{-1}$), indurés ou non. Les mailles où affleurent les roches peu aquifères du socle se sont vues attribuer la note 2.

La cartographie qui en résulte figure sur l'Illustration 22.

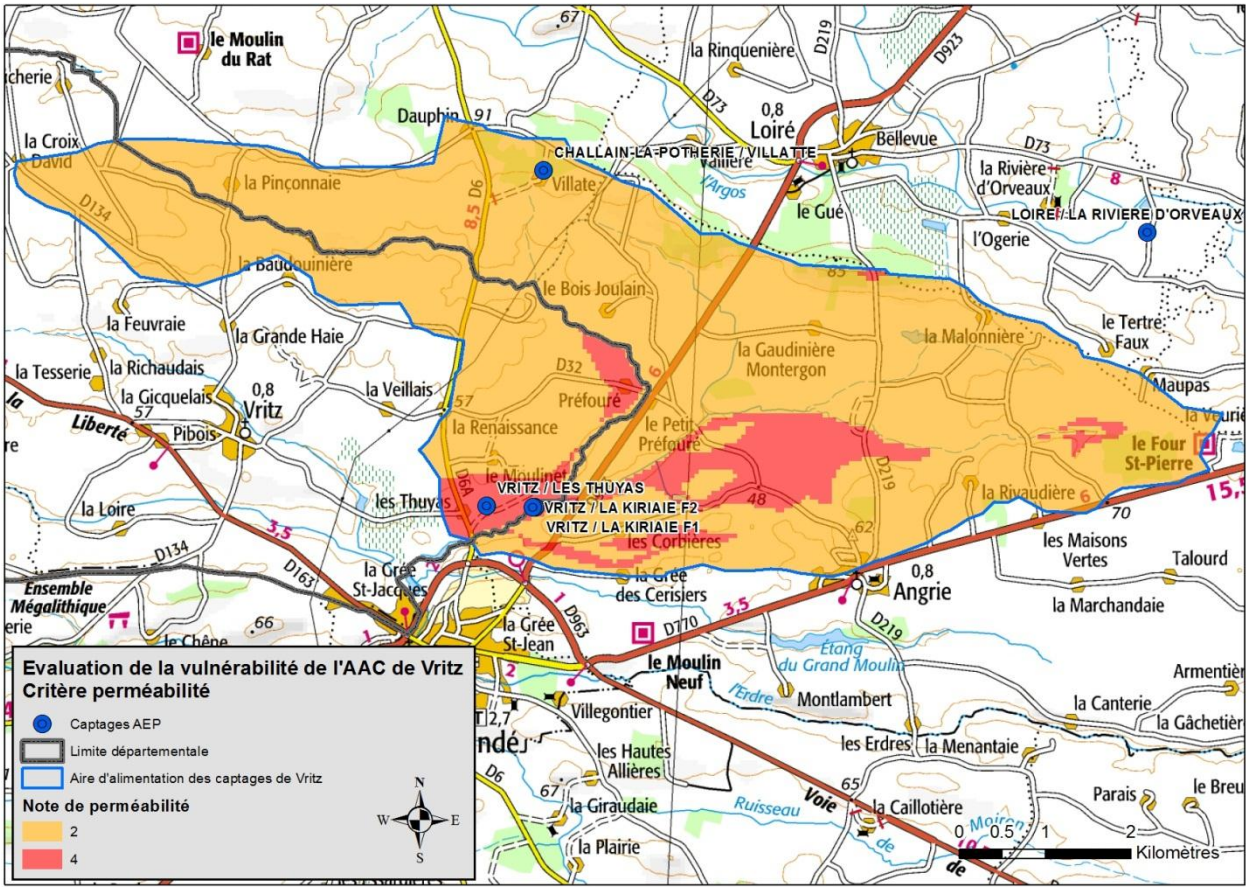


Illustration 22 : note correspondant au critère « perméabilité » de l'AAC de Vritz

4.3. ANALYSE MULTICRITÈRES – NOTE DE VULNÉRABILITÉ

La note de vulnérabilité dans chaque maille de l'AAC est obtenue par la formule suivante :

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 1).

Par ailleurs, comme nous l'avons déjà expliqué plus haut (cf. § 4.1.1), la méthodologie classique détaillée dans le guide national répond mal à l'existence dans l'AAC de Vritz de zones du socle avant tout contributives pour leur capacité à alimenter indirectement l'aquifère *via* des phénomènes de ruissellement vers le réseau hydrographique.

C'est le cas à proximité des cours d'eau de l'AAC : en effet, ceux-ci alimentent les captages (de la Kiriaie notamment). La vulnérabilité de l'AAC à une distance de 75 m de part et d'autre des cours d'eau[2] a été **« forcée » à au moins élevée**. Au-delà de cette distance, on considère que la nappe du socle contribue à l'alimentation des captages par son écoulement souterrain vers le bassin sableux, et c'est la méthode générale d'évaluation de la vulnérabilité qui est employée.

L'Illustration 23 présente la cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation des captages AEP de Vritz.

[2] plus précisément, la vulnérabilité des mailles dont au moins une partie est à une distance inférieure à 50 m d'un cours d'eau a été forcée.

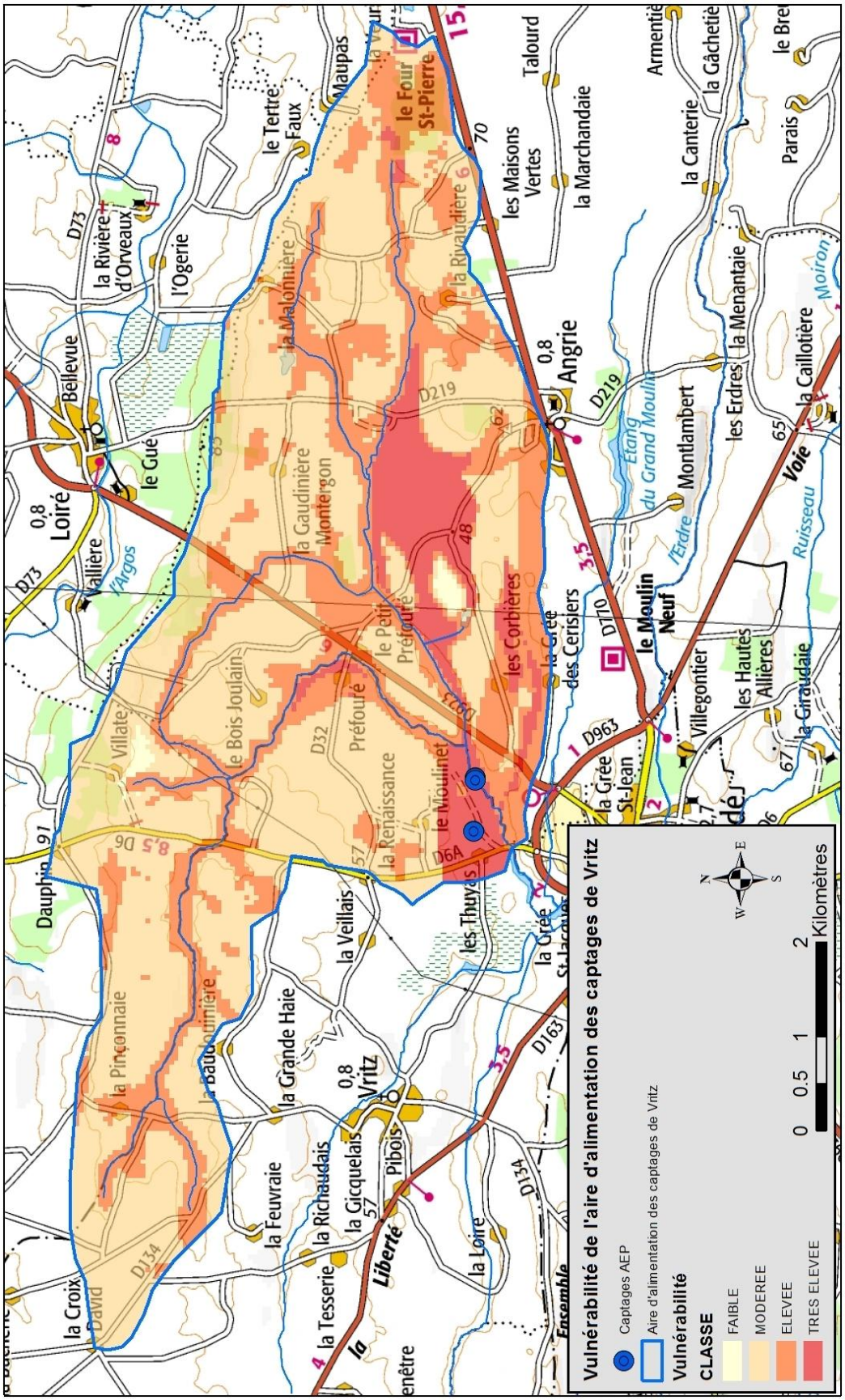


Illustration 23 : cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation des captages de Vritz

5. Conclusion

Les captages AEP prioritaires « Grenelle » de la commune de Vritz ont fait l'objet d'une étude visant d'une part à délimiter leur aire d'alimentation, et d'autre part à cartographier leur vulnérabilité aux pollutions diffuses.

À cette fin, nous avons appliqué les préconisations du guide national publié en 2007 « Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, BRGM/RP-55874-FR », en les adaptant au contexte particulier de l'AAC de Vritz.

À Vritz, les sables pliocènes sont exploités pour l'AEP par trois forages. L'aire d'alimentation des captages a une superficie de 36,5 km^2 (3 653 ha).

- 8,6 % de la superficie de l'AAC ont une vulnérabilité très élevée (315 ha),
- 29,6 % de la superficie de l'AAC ont une vulnérabilité élevée (1 081 ha),
- 61,3 % de la superficie de l'AAC ont une vulnérabilité modérée (2 238 ha),
- 0,5 % de la superficie de l'AAC ont une vulnérabilité faible (19 ha).

Une fois la cartographie de la vulnérabilité de l'AAC validée, le préfet pourra identifier la partie de l'AAC 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 quant à la souscription des agriculteurs ne sont pas obtenus.

6. Bibliographie

Brunel L. & Talbo H. (1981) – Étude hydrogéologique des sables pliocènes de la vallée du ruisseau des Grands Gués entre les grands gués (commune de Vritz – 44) et Préfouré (commune d'Angrié – 49). Rapport BRGM/81-SGN-586-PAL. 36 p., 18 fig.

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.

Chrétien P. (2011) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages AEP prioritaires de la Sarthe et cartographie de leur vulnérabilité. Rapport final. BRGM/RP-58643-FR, 153 p., 39 ill., 6 tab., 9 ann.

Chrétien P. (2012) – Commune de Vritz (44). Incidence d'un projet d'irrigation sur la ressource en eau potable. Rapport final. Rapport BRGM/RP-61790-FR. 13 p., 1 tab., 1 ann.

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.

Ouest Aménagement (1997) – Étude agronomique et pédologique des périmètres de protection des captages des Thuyas et de la Kiriaie (Vritz). Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable du Segréen. Direction départementale de l'agriculture et de la forêt. Département du Maine-et-Loire.

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.

Rouxel E. (2008) – Cohérence entre les périmètres de protection éloignés et les bassins d'alimentation de captage ; Cas de 9 captages pour l'alimentation en eau potable (Maine-et-Loire) - Rapport BRGM/RP-56819-FR, 29 p, 11 illustrations.

Rouxel E., Toutain J., Morton D., Baudouin V. (2008) – Caractérisation et suivi des ressources en eau souterraine utilisées pour la production d'eau potable (Maine-et-Loire). Phase 1. Rapport final. BRGM/RP-56530-FR. 55 p., 3 ann., 30 illustr., 1 atlas.

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

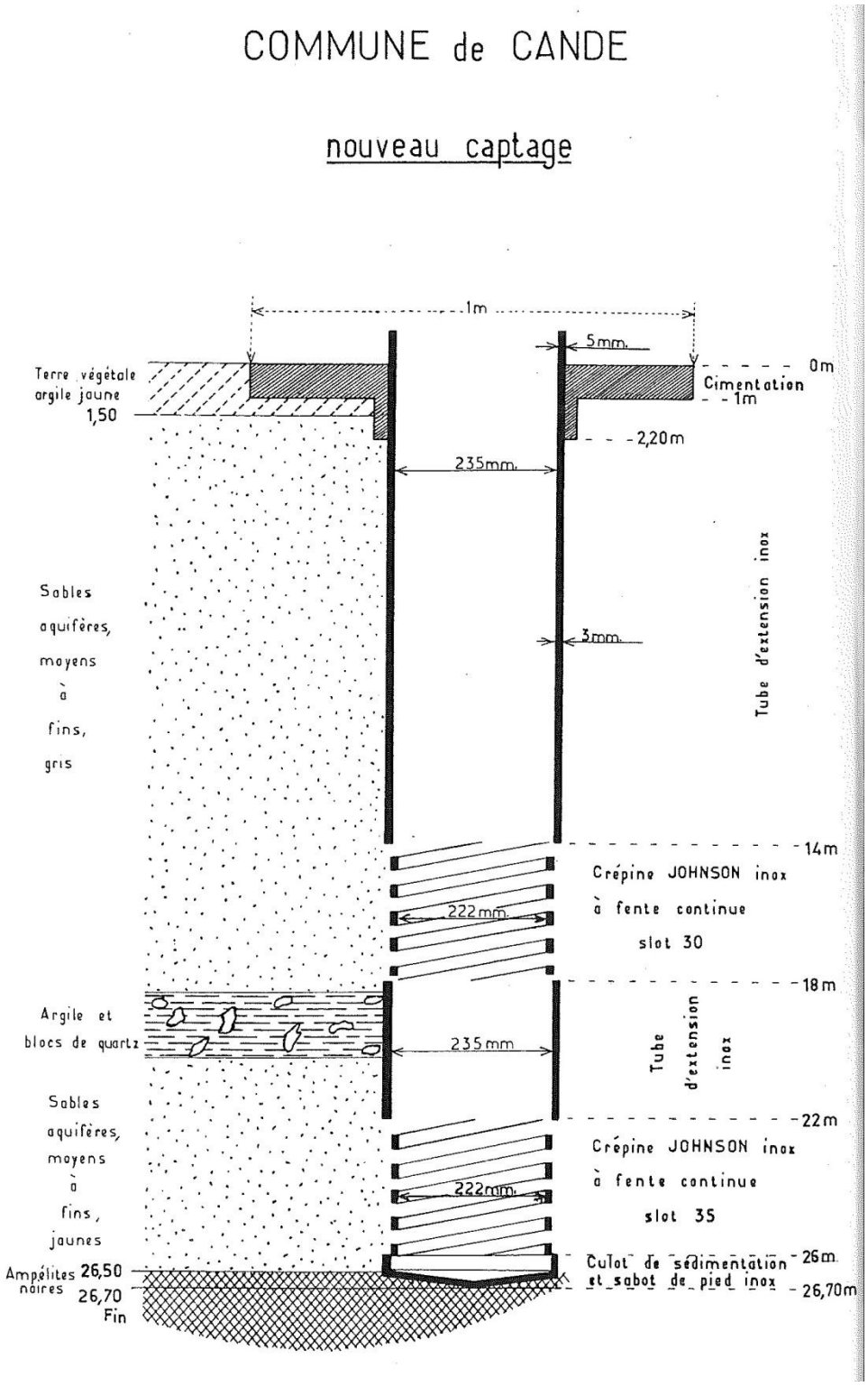
Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, BRGM/RP-55874-FR, 75 pages, 14 illustrations.

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.

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.

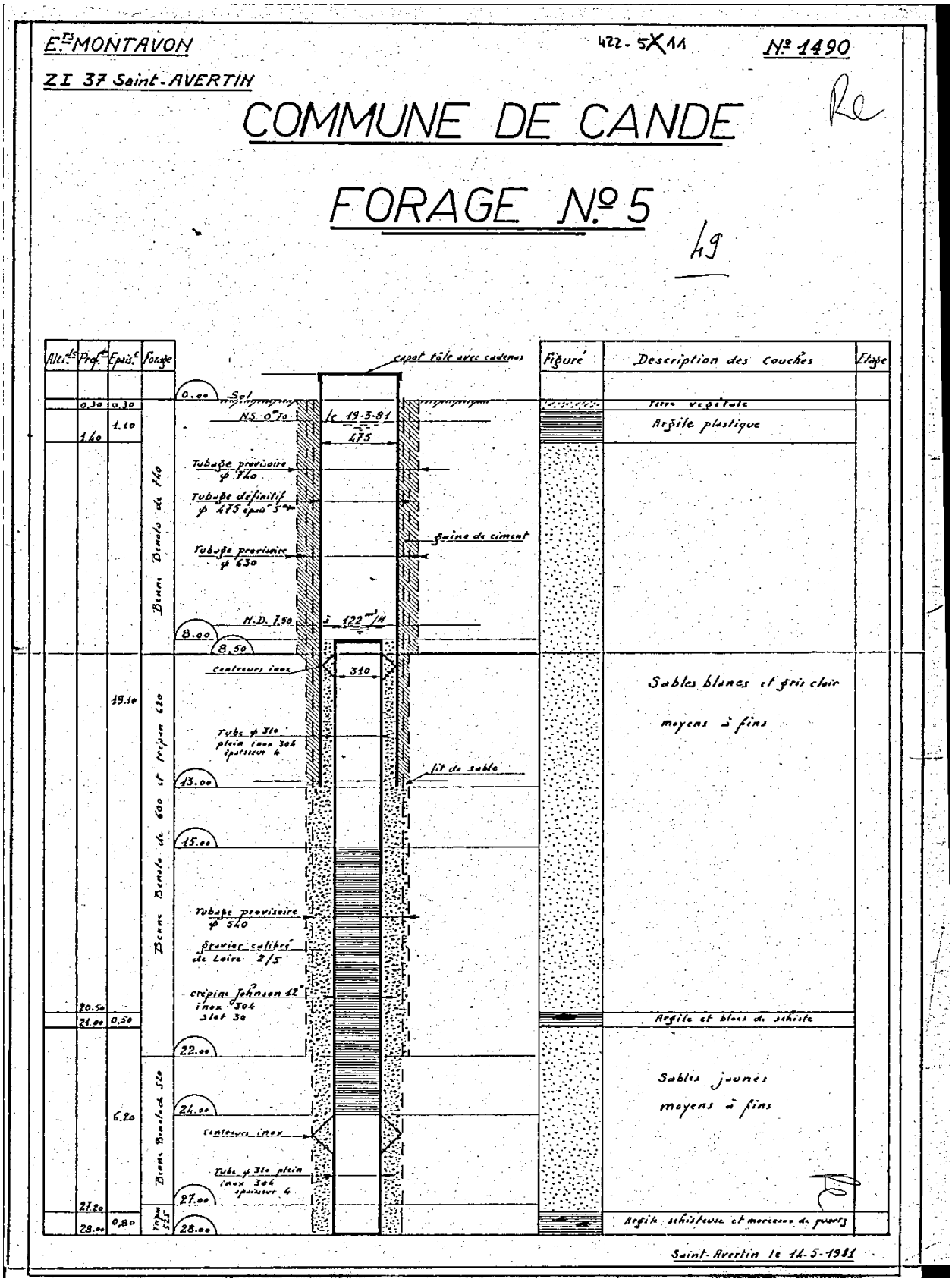
Annexe 1

Coupe technique du forage Kiriaie F1 (04225X0010/F1)


COMMUNE de CANDE
nouveau captage
1m
5mm.
0m
Cimentation
1m
2,20m
Terre végétale
argile jaune
1,50
235mm.
Tube d'extension inox
Sables
aquifères,
moyens
à
fins,
gris
3mm.
14m
Crépine JOHNSON inox
à fente continue
slot 30
222mm.
18m
Argile et
blocs de quartz
235mm
Tube d'extension inox
Sables
aquifères,
moyens
à
fins,
jaunes
22m
Crépine JOHNSON inox
à fente continue
slot 35
222mm.
26m
Culot de sédimentation
et sabot de pied inox
26,70m
Ampélites noires
26,50
26,70
Fin

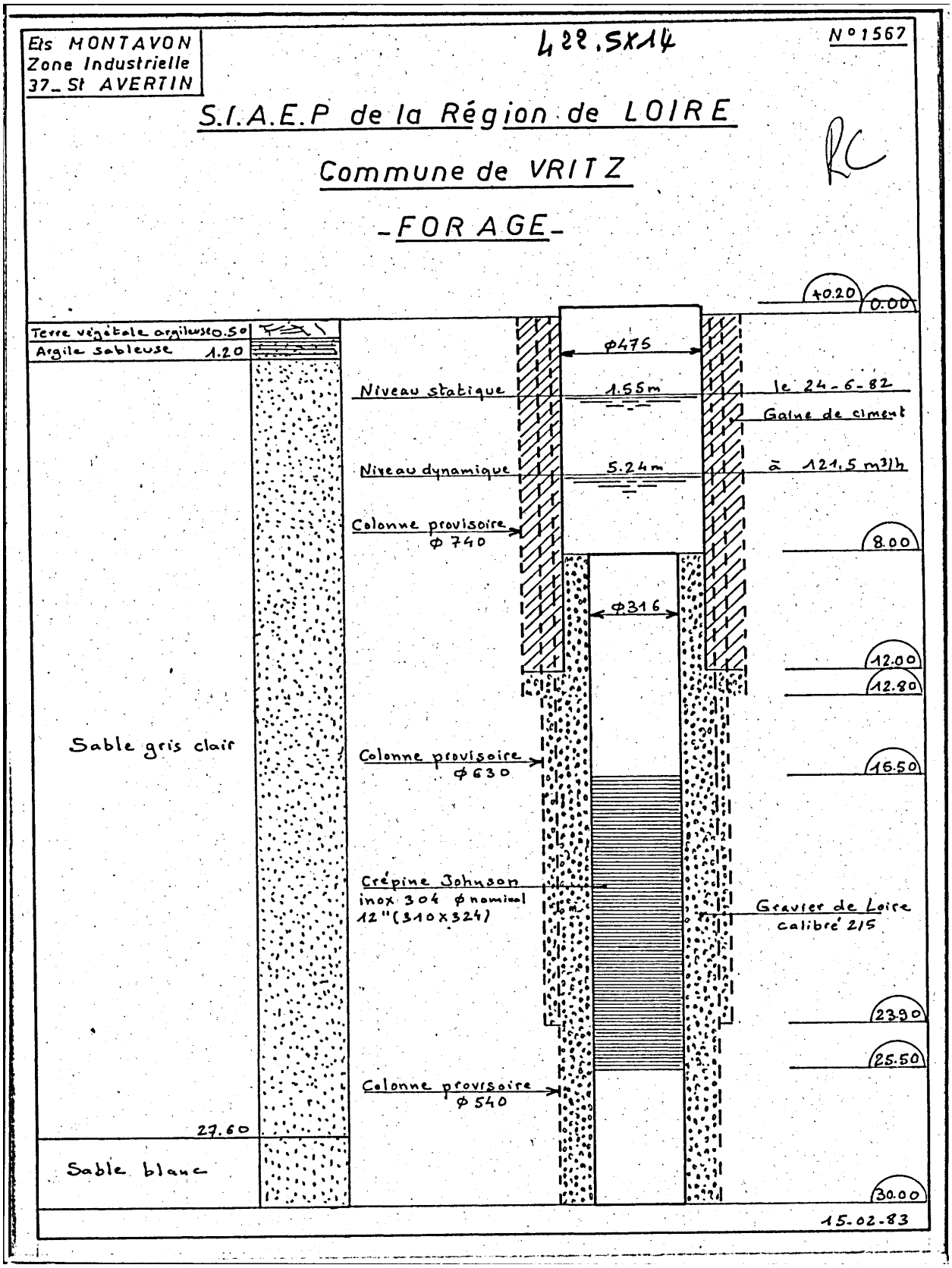
Annexe 2

Coupe technique du forage Kiriaie F2 (04225X0011/F2)


Ets MONTAVON
422-5X11
N° 1490
ZI 37 Saint-AVERTIN
COMMUNE DE CANDE
FORAGE N° 5
Alt.ds
Prof.ds
Epais.r
Forage
capot tôle avec cadenas
Figuré
Description des couches
Etage
0.00
Sol
0.30
0.30
Terre végétale
N.S. 0m70
le 19-3-81
1.10
Argile plastique
1.40
475
Tubage provisoire φ 740
Tubage définitif φ 475 épais 5
Gaine de ciment
Tubage provisoire φ 630
N.D. 7.50
122 m³/H
8.00
8.50
Centreurs inox
310
19.10
Sables blancs et gris clair
moyens à fins
Tube φ 310 plein inox 304 épaisseur 4
lit de sable
13.00
15.00
Tubage provisoire φ 540
Gravier calibré de Loire 2/5
crépine Johnson 12° inox 304 Slot 30
20.50
21.00
0.50
Argile et blocs de schiste
22.00
Sables jaunes
moyens à fins
24.00
6.20
Centreurs inox
Tube φ 310 plein inox 304 épaisseur 4
27.00
27.20
0.80
28.00
Argile schisteuse et morceaux de quartz
Saint-Avertin le 14-5-1981

Annexe 3

Coupe technique du forage des Thuyas (04225X0014/F)


Ets MONTAVON
Zone Industrielle
37_St AVERTIN
422.5X14
N° 1567
S.I.A.E.P de la Région de LOIRE
Commune de VRITZ
-FORAGE-
RC
+0.20
0.00
Terre végétale argileuse 0.50
Argile sableuse 1.20
Sable gris clair
27.60
Sable blanc
Niveau statique
1.55m
le 24-6-82
Gaine de ciment
Niveau dynamique
5.24m
à 121,5 m3/h
Colonne provisoire
ϕ 740
ϕ475
ϕ316
8.00
12.00
12.80
Colonne provisoire
ϕ 630
16.50
Crépine Johnson
inox 304 ϕ nominal
12" (310x324)
Gravier de Loire
calibré 2/5
23.90
25.50
Colonne provisoire
ϕ 540
30.00
15-02-83

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - **www.brgm.fr**

Direction régionale Pays-de-la-Loire
1 rue des Saumonières
BP 92342
44323 – Nantes cedex 3 – France
Tél. : 02 51 86 01 51