

Etude des bassins d'alimentation des captages AEP du SIAEP d'Ablis, de la Forêt de Rambouillet et de la ville de Rambouillet (Yvelines)

Rapport intermédiaire

BRGM/RP 56427-FR
Juin 2008

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2008

J.Vicelli, A.Winckel

Vérificateur :

Original signé par : J.F. Vernoux

Approbateur :

Original signé par : C. Truffert

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

Mots clés : Vulnérabilité intrinsèque, bassin d'alimentation, captage d'alimentation en eau potable, Pollution diffuse, Sables de Fontainebleau, Craie, Ablis, Rambouillet

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

Vicelli J, Winckel A (2008) – **Etude des bassins d'alimentation des captages AEP du SIAEP d'Ablis, de la Forêt de Rambouillet et de la ville de Rambouillet (Yvelines)**. Rapport intermédiaire BRGM/RP-56427-FR, 93 pages, 44 figures, 19 tableaux.

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

Synthèse

Le BRGM a été mandaté par le Syndicat Intercommunal d'Adduction d'Eau Potable de la Région d'Ablis, le Syndicat des eaux de la Forêt de Rambouillet et la Ville de Rambouillet, pour réaliser une étude sur la vulnérabilité des aquifères du sud des Yvelines, subventionnée par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie.

Dans cette région, les Sables de Fontainebleau et la Craie représentent les principales formations aquifères, sollicitées pour l'alimentation en eau potable.

Cette étude a pour objectif de permettre une gestion raisonnée de la ressource en eau, en mettant en évidence les risques en termes de qualité et de quantité et en établissant un plan d'action au niveau des bassins d'alimentation des captages AEP de cette région.

Il s'agit d'un travail pluridisciplinaire qui se compose de différentes parties : étude géologique, étude hydrogéologique, étude des sols, étude d'environnement, et enfin analyse des pressions polluantes et proposition d'un plan d'action.

Ce rapport intermédiaire présente les différents travaux d'ores et déjà accomplis.

L'étude géologique, réalisée à partir de différentes sources de données (Référentiel Géologique de la France, Banque du Sous-Sol) a conduit à la réalisation d'un modèle géologique numérique, permettant d'appréhender la géométrie des formations aquifères (toit, mur, extension et épaisseur des formations).

Les bassins d'alimentation des captages ont été délimités au moyen de modélisations numériques. Au sein de ces bassins, des isochrones de temps de transfert ont été définis.

Enfin la vulnérabilité intrinsèque de la nappe des Sables de Fontainebleau a été déterminée par une méthode d'analyse multicritères. Les différents critères pris en compte sont : la pluie efficace, le sol, l'infiltration, l'épaisseur de la zone non saturée, la perméabilité de l'aquifère.

La superposition des bassins d'alimentation des captages à la carte de vulnérabilité simplifiée permet ainsi d'identifier les zones les plus sensibles.

Le croisement de la carte de vulnérabilité et de l'inventaire des pressions polluantes permettra d'élaborer une carte des zones à risques, afin d'identifier les zones où des actions doivent être menées en priorité.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Description de la zone d'étude	13
3. Etude hydrogéologique	15
3.1. GEOLOGIE	17
3.1.1. Contexte géologique.....	17
3.1.2. Stratigraphie	17
3.1.3. Contexte structural	23
3.1.4. Modélisation géologique.....	23
3.2. HYDROGEOLOGIE.....	26
3.2.1. Les aquifères du Bassin de Paris	26
3.2.2. Les aquifères captés au niveau de la zone d'étude	27
3.3. AQUIFERE DES SABLES DE FONTAINEBLEAU.....	27
3.3.1. Géologie et minéralogie.....	27
3.3.2. Limite d'extension et structuration de l'aquifère	28
3.3.3. Propriétés hydrodynamiques	33
3.3.4. Piézométrie	36
3.4. AQUIFERE DE LA CRAIE	39
3.4.1. Géologie et minéralogie.....	39
3.4.2. Limite d'extension et structuration de l'aquifère	39
3.4.3. Paramètres hydrodynamiques.....	40
4. Détermination des bassins d'alimentation des captages.....	45
4.1. DEFINITION ET METHODOLOGIE.....	45
4.1.1. Définitions	45
4.1.2. Méthodologie.....	48
4.2. DELIMITATION DES BASSINS D'ALIMENTATION DES CAPTAGES	49
4.2.1. Méthode analytique	49
4.2.2. Modélisation numérique	55
4.2.3. Détermination des isochrones	73
5. Vulnérabilité intrinsèque.....	75

5.1. GENERALITE	75
5.1.1. Notions générales	75
5.1.2. Méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque	75
5.1.3. Unités fonctionnelles	76
5.1.4. Pluie efficace : P	78
5.1.5. Sol : S	78
5.1.6. Infiltration efficace, I	81
5.1.7. Epaisseur de la zone non saturée	84
5.1.8. Perméabilité de l'aquifère, K.....	86
5.1.9. Calcul de la vulnérabilité	86
6. Conclusions	90
7. Bibliographie	91

Liste des illustrations

Figure 1: Localisation de la zone d'étude	14
Figure 2: Carte géologique de la zone d'étude	19
Figure 3: Logs géologiques vérifiés utilisés pour la modélisation.....	24
Figure 4 : Tracé des coupes géologiques.....	25
Figure 5: Coupes géologiques à travers la Beauce, d'Orléans (SW) à Melun (NE) (d'après Mégnien, 1979, modifié par Alcayadé, 1989 in Schneider, 2005)	27
Figure 6: Mur des Sables de Fontainebleau	29
Figure 7: Epaisseur des Sables de Fontainebleau	31
Figure 8 : Carte piézométrique de la nappe des Sables de Fontainebleau.....	37
Figure 9: Toit de la Craie.....	41
Figure 10: Limite d'extension et épaisseur de l'Eocène inférieur.....	43
Figure 11 : Principe de dimensionnement d'un bassin d'alimentation d'un captage (Bussard, 2005).....	45
Figure 12 : Aire d'alimentation et zone d'influence d'un captage (Vernoux et al, 2007, guide méthodologique).....	46
Figure 13 : Portion de nappe contribuant à l'alimentation d'un captage (Vernoux et al., 2007)	47
Figure 14 : Exemple de bassin d'alimentation d'un captage (Bussard, 2005).....	48
Figure 15 : Enveloppe délimitant la portion de nappe alimentant le captage (Lallemand- Barrès et Roux, 1999).....	51
Figure 166 : Bassins d'alimentation des captages calculés par méthode analytique.....	54

Figure 17 : Découpage du secteur en différents modèles.....	56
Figure 18: Piézométrie calculée par modélisation.....	58
Figure 19: Piézométrie observée.....	58
Figure 20 : Corrélacion entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée	59
Figure 21: Piézométrie calculée par modélisation.....	60
Figure 22 : Piézométrie observée.....	60
Figure 23 : Corrélacion entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée	60
Figure 24 : Piézométrie calculée par modélisation.....	61
Figure 25 : Piézométrie observée.....	61
Figure 26 : Corrélacion entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée	62
Figure 27 : Piézométrie calculée par modélisation.....	63
Figure 28 : Piézométrie observée.....	63
Figure 29 : Corrélacion entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée	63
Figure 30 : Piézométrie calculée par modélisation.....	64
Figure 31 : Piézométrie observée.....	64
Figure 32 : Corrélacion entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée	65
Figure 33: Piézométrie calculée par modélisation.....	66
Figure 34: Piézométrie observée.....	66
Figure 35: Corrélacion entre la piézométrie calculée et la piézométrie observée	66
Figure 36: Bassins d'alimentation des captages obtenus par modélisations numériques	69
Figure 37 : Bassins d'alimentation des 5 captages de la Ville de Rambouillet	72
Figure 38 : Temps de transfert au sein d'un bassin d'alimentation d'un captage	73
Figure 39 : Isochrones en débit de pointe pour les captages puisant la nappe des Sables de Fontainebleau	74
Figure 40 : Unités fonctionnelles	77
Figure 41 : Critère Sol.....	80
Figure 42 : Critère IDPR	83
Figure 43 : Critère Epaisseur de la Zone Non Saturée	85
Figure 44 : Carte de vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines et bassins d'alimentation des captages	89

Liste des tableaux

Tableau 1: Description des captages.....	15
Tableau 2: Log stratigraphique des formations.....	18
Tableau 3: Paramètres hydrodynamiques des Calcaires de Beauce (Schneider, 2005).....	34
Tableau 4 : Paramètres hydrodynamiques des Sables de Fontainebleau (Schneider , 2005)	35
Tableau 5 : Paramètres hydrodynamiques de la Craie (Schneider , 2005).....	40
Tableau 6: Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la méthode analytique	52
Tableau 7: Paramètres de modélisation zone Est	58
Tableau 8: Paramètres de modélisation zone Rambouillet	59
Tableau 9 : Paramètres de modélisation zone Sud	61
Tableau 10 : Paramètres de modélisation zone Nord	62
Tableau 11 : Paramètres de modélisation zone Ouest.....	64
Tableau 12: Paramètres de modélisation zone Rémarde	65
Tableau 13: Paramètres de modélisation	71
Tableau 14: Classification des paramètres.....	76
Tableau 15: Détermination de la nature du sol	78
Tableau 16: Détermination de l'indice de vulnérabilité du sol.....	79
Tableau 17: Valeurs de l'IDPR (Carte de vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines du bassin Seine-Normandie BRGM/RP-54148-FR Octobre 2005)	82
Tableau 18: Poids affectés à chaque paramètre	86
Tableau 19 : Classes de vulnérabilité	87

1. Introduction

Le Syndicat Intercommunal d'Adduction d'Eau Potable de la Région d'Ablis, le Syndicat des eaux de la Forêt de Rambouillet et la Ville de Rambouillet ont mandaté le BRGM pour réaliser une étude sur la vulnérabilité des aquifères du sud des Yvelines.

Dans cette région, les captages d'alimentation en eau potable sollicitent l'aquifère des Sables de Fontainebleau et celui de la Craie. Il est donc nécessaire d'avoir une bonne connaissance du fonctionnement hydrogéologique et hydrogéochimiques de ces aquifères afin de permettre une gestion raisonnée de la ressource en eau et de la préserver des risques de pollution.

Cette étude s'articule de plusieurs parties, l'étude du fonctionnement hydrogéologique des aquifères, la délimitation des bassins d'alimentation des captages, la caractérisation de la vulnérabilité de la ressource et une analyse des pressions polluantes.

Ce rapport rend compte des premiers résultats du volet relatif à l'hydrogéologie. Il présente :

- la géologie du secteur, accompagnée de carte et de coupes géologiques,
- la caractérisation des aquifères en terme d'extension, de lithologie, de paramètres hydrodynamiques
- la détermination des bassins d'alimentation des captages, effectuée au moyen de deux méthodes, méthode analytique et modélisations numériques.

Enfin une cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe des Sables de Fontainebleau a été réalisée à partir des critères suivants :

- la pluie efficace
- la nature du sol
- la capacité d'infiltration des eaux météoriques vers la nappe
- l'épaisseur de la zone non saturée
- la perméabilité de l'aquifère

2. Description de la zone d'étude

Située en Ile-de-France, dans la partie sud du département des Yvelines, la zone d'étude chevauche les régions naturelles de l'Hurepoix, de la Beauce et des Yvelines. Elle s'étend sur 36 communes dont l'alimentation en eau est gérée par les différents syndicats (Figure 1).

Cette zone compte 54 700 habitants et leur alimentation en eau potable est assurée par différents captages (Tableau 1) puisant dans la nappe des Sables de Fontainebleau et celle de la Craie.

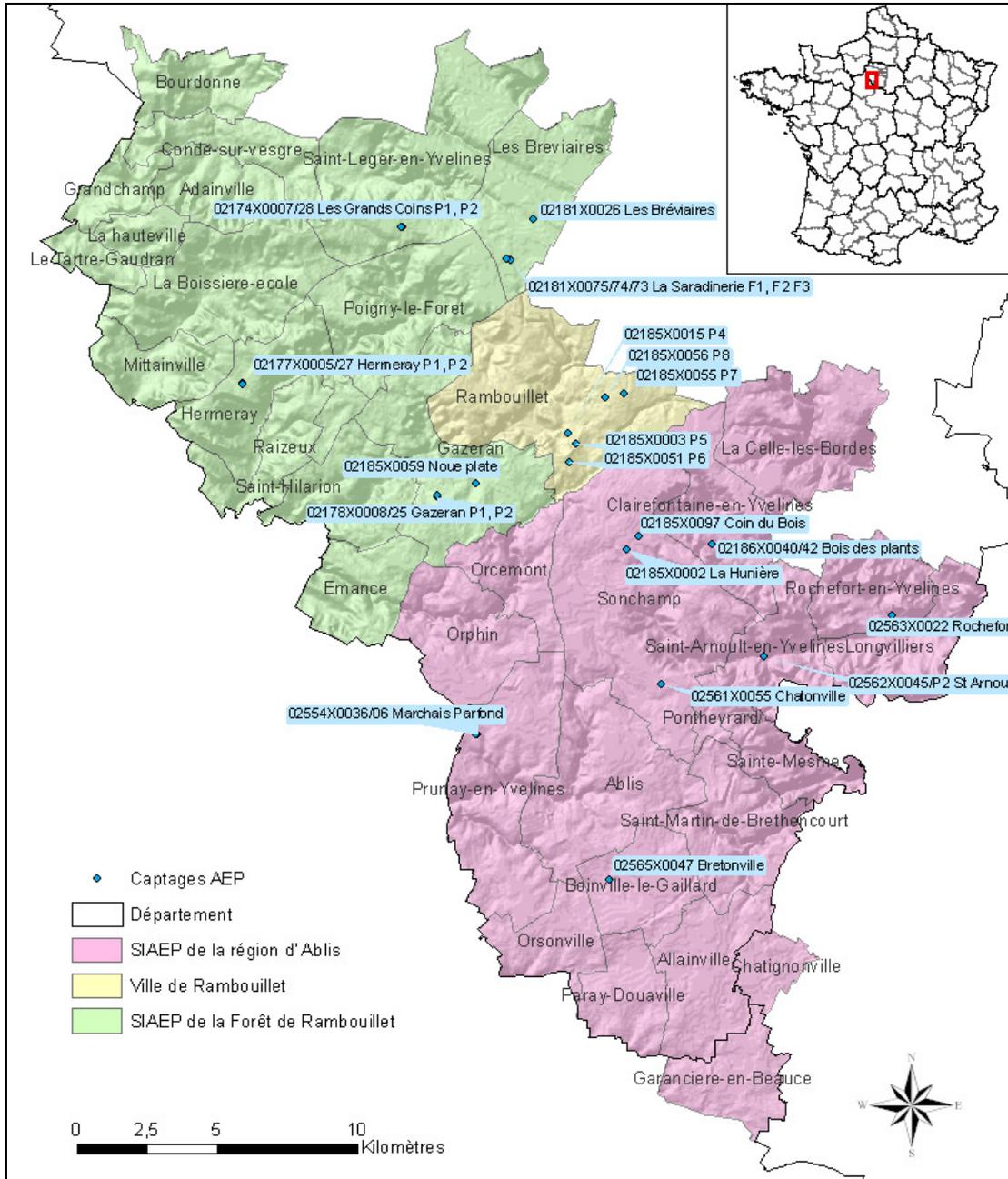


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

Indice Bss	Désignation	Propriétaire/ Exploitant	Commune	Lieu dit	Etat	Débit d'exploitation en m3/h	Profondeur	Coordonnées X Lambert 2 étendu	Coordonnées Y Lambert 2 étendu	Altitude en m NGF	Aquifère exploité
02565X0030	F2	SIAEP Ablis	Boinville-le-Gaillard	Bretonville	exploité	100		564378	2388845	154,5	Sables de Fontainebleau
02186X0040	REC	SIAEP Ablis	Clairefontaine-en-Yvelines	Bois des Plants	exploité	30	75	568038	2400893	135	Craie
02186X0042	F2	SIAEP Ablis	Clairefontaine-en-Yvelines	Bois des Plants	exploité	40	60	568068	2400890	133	Craie
02554X0036	F	SIAEP Ablis	Prunay-en-Yvelines	Marchais Parfond	exploité	50	55	559688	2394064	157	Sables de Fontainebleau
02554X0006	P5	SIAEP Ablis	Prunay-en-Yvelines	Marchais Parfond	exploité	40		559637	2394064	157,5	Sables de Fontainebleau
02563X0022	F	SIAEP Ablis	Rochefort-en-Yvelines		exploité	70	70	574491	2398349	100	Craie
02562X0045	P2	SIAEP Ablis	Saint-Arnoult-en-Yvelines	RN 836	exploité	100	60,75	569899	2396847	120	Craie
02185X0002	F	SIAEP Ablis	Sonchamp	La Hunière	exploité	90	47,8	565007	2400727	164,3	Sables de Fontainebleau
02185X0097	F1	SIAEP Ablis	Sonchamp	Coin du Bois	non exploité	120		565456	2401217	164	Craie
02561X0055	F1	SIAEP Ablis	Sonchamp	Chatonville	exploité	90	50	566258	2395866	164	Sables de Fontainebleau
02181X0073	F1	SIAEP Forêt Rambouillet	Les Bréviaires	Carrefour de la Tête d'Alouette / Les petits étangs	non exploité	50	51,5	560870	2411149	175	Sables de Fontainebleau
02181X0074	F2	SIAEP Forêt Rambouillet	Les Bréviaires	Carrefour de la Tête d'Alouette / Les petits étangs	non exploité	50	54	560857	2411150	175	Sables de Fontainebleau
02181X0075	F3	SIAEP Forêt Rambouillet	Les Bréviaires	Carrefour de la Tête d'Alouette / Les petits étangs	non exploité	50	55	560709	2411182	175	Sables de Fontainebleau
02181X0026	P1	SIAEP Forêt Rambouillet	Les Bréviaires	Route de Mesnules	exploité	20	46,15	561672	2412612	176	Sables de Fontainebleau
02178X0008	P2	SIAEP Forêt Rambouillet	Gazeran	Croisement route Batonceau CD62	exploité	30	44,6	558254	2402636	165	Sables de Fontainebleau
02178X0025	F1	SIAEP Forêt Rambouillet	Gazeran	Station de Pompage	exploité	30	44,6	558244	2402686	165	Sables de Fontainebleau
02185X0059	F	SIAEP Forêt Rambouillet	Gazeran	Noue Plate	exploité	80	45,2	560584	2403097	164	Sables de Fontainebleau
02177X0005	P1	SIAEP Forêt Rambouillet	Hermeray	Hameau de la Villeneuve	exploité	10	39,8	551299	2406716	162	Sables de Fontainebleau
02177X0027	F2	SIAEP Forêt Rambouillet	Hermeray	Transformateur	exploité	10	39,27	551289	2406686	162	Sables de Fontainebleau
02174X0007	F1	SIAEP Forêt Rambouillet	Saint-Léger-en-Yvelines	Les grands Coins	exploité	30	48,5	557010	2412350	174	Sables de Fontainebleau
02174X0028	P2	SIAEP Forêt Rambouillet	Saint-Léger-en-Yvelines	Les grands Coins	exploité	30	51	556990	2412330	174	Sables de Fontainebleau
02185X0056	P8	Ville de Rambouillet	Rambouillet	Le Patis	non exploité		55	564265	2406179	169	Sables de Fontainebleau
02185X0055	P7	Ville de Rambouillet	Rambouillet	Carrefour de la villeneuve	exploité	40	58,9	564915	2406330	176	Sables de Fontainebleau
02185X0051	P6	Ville de Rambouillet	Rambouillet	Le bois des Evreuses	exploité	62	57,8	562945	2403848	165	Sables de Fontainebleau
02185X0003	F5	Ville de Rambouillet	Rambouillet	Rue des Evreuses	exploité	80	48	563225	2404538	163	Sables de Fontainebleau
02185X0015	P4	Ville de Rambouillet	Rambouillet	Rue du petit Parc	non exploité		37	562895	2404898	162,5	Sables de Fontainebleau

Tableau 1: Description des captages

3. Etude hydrogéologique

3.1. GEOLOGIE

3.1.1. Contexte géologique

La zone d'étude se situe dans la partie centrale du bassin de Paris, qui est constitué d'un vaste empilement de formations sédimentaires, disposées en auréoles concentriques (disposition en « pile d'assiettes »). Cette couverture sédimentaire d'âge Secondaire ou Tertiaire, d'une épaisseur de 2500 à 3000 mètres, repose sur un socle hercynien.

Au niveau de la zone d'étude, la principale formation sédimentaire rencontrée est celle des Sables de Fontainebleau (Oligocène), qui repose généralement en discordance sur la Craie du Crétacé. Les Sables sont partiellement surmontés par les calcaires d'Etampes, qui atteignent leur limite d'extension septentrionale au niveau de Rambouillet.

La carte géologique du secteur est présentée sur la figure 2.

3.1.2. Stratigraphie

Le log stratigraphique des formations présentes sur la zone d'étude figure dans le tableau 2.

Ere	Période	Age en Ma	Etage	Sous-étage	Formation	
Tertiaire	Miocène		Inférieur	Burdigalien	Sables de Lozère	
				Aquitanien	Calcaire de Beauce	
	Oligocène		Stampien	Supérieur		Calcaire d'Etampes Argiles à meulière de Montmorency
					Moyen	Sables de Fontainebleau
				Inférieur		Marnes à Huîtres Calcaire de Brie Argiles vertes de Romainville Marnes supragypseuses
	Eocène supérieur Bartonien		Ludien		Marnes supragypseuses Calcaire de Champigny	
				Marinésien	Calcaire de Saint-Ouen	
				Auversien	Sables de Beauchamp	
			Eocène moyen Lutétien	Supérieur	Marnes et caillasses	
				Inférieur	Calcaire grossier	
			Eocène inférieur Yprésien	Supérieur	Arkose de Breuillet	
	Inférieur			Argile plastique		
	Secondaire			Crétacé supérieur	Maestrichtien	Craie
Campanien						
Santonien						
Coniacien						

Tableau 2: Log stratigraphique des formations

Les formations sédimentaires sont décrites de la plus ancienne à la plus récente ci-dessous :

Formation du secondaire

Crétacé : Craie blanche à silex. La Craie affleure en dessinant une vaste auréole entourant les formations tertiaires du bassin de Paris. Dans la zone étudiée, à la faveur de l'anticlinal de la Rémarde, la Craie affleure dans les vallées de la Rémarde et de la Vesgre et non loin de la limite Est du secteur dans la vallée de l'Eure. Il s'agit d'un dépôt sédimentaire marin formé par l'accumulation de microorganismes planctoniques, principalement des coccolites. La Craie contient toujours une petite quantité de substances insolubles à l'attaque acide, constituée principalement par des minéraux argileux et d'une infime partie quartzreuse (Mégny, 1979).

Argile à silex. Il s'agit d'une formation peu épaisse intercalée entre la Craie et les Sables de Fontainebleau, connue entre Saint-Arnoult-en-Yvelines et Saint-Cyr-sur-Dourdan.

Formation tertiaire

Yprésien : Argile plastique et Sables de Breuillet. Les argiles plastiques sont constituées principalement de kaolinite de teintes rouges à lie de vin, parfois entrecoupées de lentilles de sables fins. L'argile plastique est surmontée par les Sables de Breuillet, grossiers, quartzeux, plus ou moins feldspathiques, dont l'épaisseur maximale est d'une dizaine de mètres. L'argile plastique de l'Yprésien, formation imperméable, sépare l'aquifère de la Craie de celui des Sables de Fontainebleau. Bien que considérée comme imperméable, l'argile plastique contient des lentilles sableuses ou des lacunes formant ainsi des gouffres favorisant l'infiltration des nappes sus-jacentes vers celle de la Craie (Schneider, 2005). Ces lacunes sont connues au Sud Ouest de la zone d'étude.

Eocène moyen. Le lutétien est constitué de calcaire grossier et de Marne et Caillasses. Cette formation est peu présente sur le secteur étudié.

Eocène supérieur indifférencié. Cet étage regroupe des calcaires à Corbules, des marnes blanches à rognons, des calcaires et grès verts, des marnes jaunes verdâtres et le calcaire de Saint-Ouen. Ces formations apparaissent dans la vallée de la Vesgre au nord.

Stampien inférieur : Argiles vertes de Romainville et Calcaire de Brie. L'argile verte de Romainville est une argile plastique compacte, à dominante illitique, renfermant des rognons calcaires. Elle surmonte des marnes supra-gypseuses blanches ou verdâtres. Les calcaires de Brie sont des calcaires lacustres plus ou moins marneux, souvent silicifiés, montrant d'importantes variations de faciès. Le stampien inférieur est également caractérisé par les Caillasses d'Orgemont, le

calcaires Sannois et des Marnes à Huîtres. Toutes ces formations occupent surtout le nord de la zone.

Stampien moyen : Sables et grès de Fontainebleau. Cette formation, d'une épaisseur allant de 40 à 75 m en moyenne, s'intercale entre le calcaire de Brie et le calcaire de Beauce en formant un biseau vers le sud. Légèrement micacé, ces sables d'origine marine, fins et homogènes, sont composés de 95 à 99% de silice. Les Sables de Fontainebleau sont bien représentés sur l'ensemble de la zone d'étude, constituant ainsi le principal aquifère de la région. Ils atteignent leur limite d'extension maximale à l'ouest de la zone et disparaissent également dans les vallées de la Rémarde et de la Vesgre pour laisser apparaître la Craie.

Stampien supérieur : Calcaires d'Etampes et argile à meulière de Montmorency. Le Calcaire d'Etampes surmonte directement les Sables de Fontainebleau. D'origine continentale-lacustre, ils apparaissent sous la forme d'un calcaire marneux blanc ou jaunâtre. La formation argileuse à meulière de Montmorency est un ensemble d'aspect assez variable, en général non stratifié, renfermant des blocs de meulière compacte ou cavernueuse emballés dans une matrice d'argileuse ferrugineuse à kaolinite prédominante. L'argile à meulière présente sur l'ensemble de la zone, est recouverte de limons dans la partie sud.

Miocène inférieur (Aquitainien) : Calcaire de Beauce. Les calcaires de Beauce et d'Etampes sont stratigraphiquement en continuité et leurs faciès sont semblables. Ils sont d'ailleurs souvent regroupés dans les descriptions géologiques sous le nom de « Calcaire de Beauce » (Schneider, 2005). D'origine continentale-lacustre, ils constituent le soubassement du plateau de Beauce, dont la limite d'extension septentrionale atteint Rambouillet.

Miocène inférieur (Burdigalien) : Sables de Lozère. Ce sont des sables grossiers, mal triés, associés à des argiles kaoliniques compactes et bariolées. Ils sont disposés en placages ou en poches dans le calcaire d'Etampes ou l'argile à Meulière. Ils sont présents sur la zone d'étude en faible épaisseur.

Formation superficielle du quaternaire:

Limons de plateaux. D'origine éolienne, cette formation limoneuse, plus ou moins argileuse, de couleur marron clair et d'épaisseur variable, recouvre largement le plateau de Beauce de la moitié sud de la zone d'étude.

Alluvions récentes. Elles occupent le fond des vallées ayant un cours d'eau permanent. Ce sont des vases sableuses ou calcareuses grises avec accumulation locales d'argiles ou de tourbes.

Colluvions. Les colluvions se sont étalés sur les pentes constituées d'un substratum de Sables de Fontainebleau. Ils sont constitués pour l'essentiel des matériaux formant les plateaux, tels que argiles à meulières, calcaire marneux, sables de Lozère et limons.

3.1.3. Contexte structural

La région et plus généralement le Bassin de Paris, sont affectés par des structures orientées NW-SE, héritées de la tectonique hercynienne. Ces structures sont bien marquées sur la zone d'étude par l'anticlinal de la Rémarde affectant la Craie, entouré par le synclinal de l'Eure au Nord et par la cuvette de la Beauce au Sud. Il permet ainsi à la Craie d'affleurer à l'Est du secteur dans la vallée de la Rémarde. Cette structure a provoqué les lacunes dans les dépôts des formations éocènes.

3.1.4. Modélisation géologique

a) Généralités

Un modèle multicouches, représentant les différentes formations géologiques existantes sur la zone d'étude a été réalisée, permettant ainsi d'obtenir la géométrie des formations aquifères.

La modélisation a été réalisée au moyen des logiciels GDM et Multilayer, développés par le BRGM.

Il s'agit de modéliser les surfaces qui limitent les couches géologiques, surfaces qu'on peut aussi appeler contacts ou interfaces, à partir de points connus de ces surfaces. Chaque couche est comprise entre deux contacts / surfaces : son mur en bas, et son toit en haut.

Les formations modélisées sont :

- les alluvions
- le quaternaire
- le miocène
- l'oligocène supérieur
- l'oligocène moyen
- l'oligocène inférieur
- l'éocène supérieur
- l'éocène inférieur
- la Craie

b) Les données utilisées

La modélisation a été réalisée à l'intérieur d'un rectangle (30 kmX10km) englobant largement la zone d'étude. Les données utilisées pour la modélisation sont :

- les logs géologiques vérifiés sur l'ensemble de la zone, issus de la Base de Données du Sous-Sol, qui sont au nombre de 879 dans le secteur modélisé (figure 3)
- les limites des formations géologiques extraites des cartes géologiques harmonisées de l'Île-de-France et de l'Eure-et-Loir (figure 2)
- le Modèle Numérique de Terrain au pas de 50 m

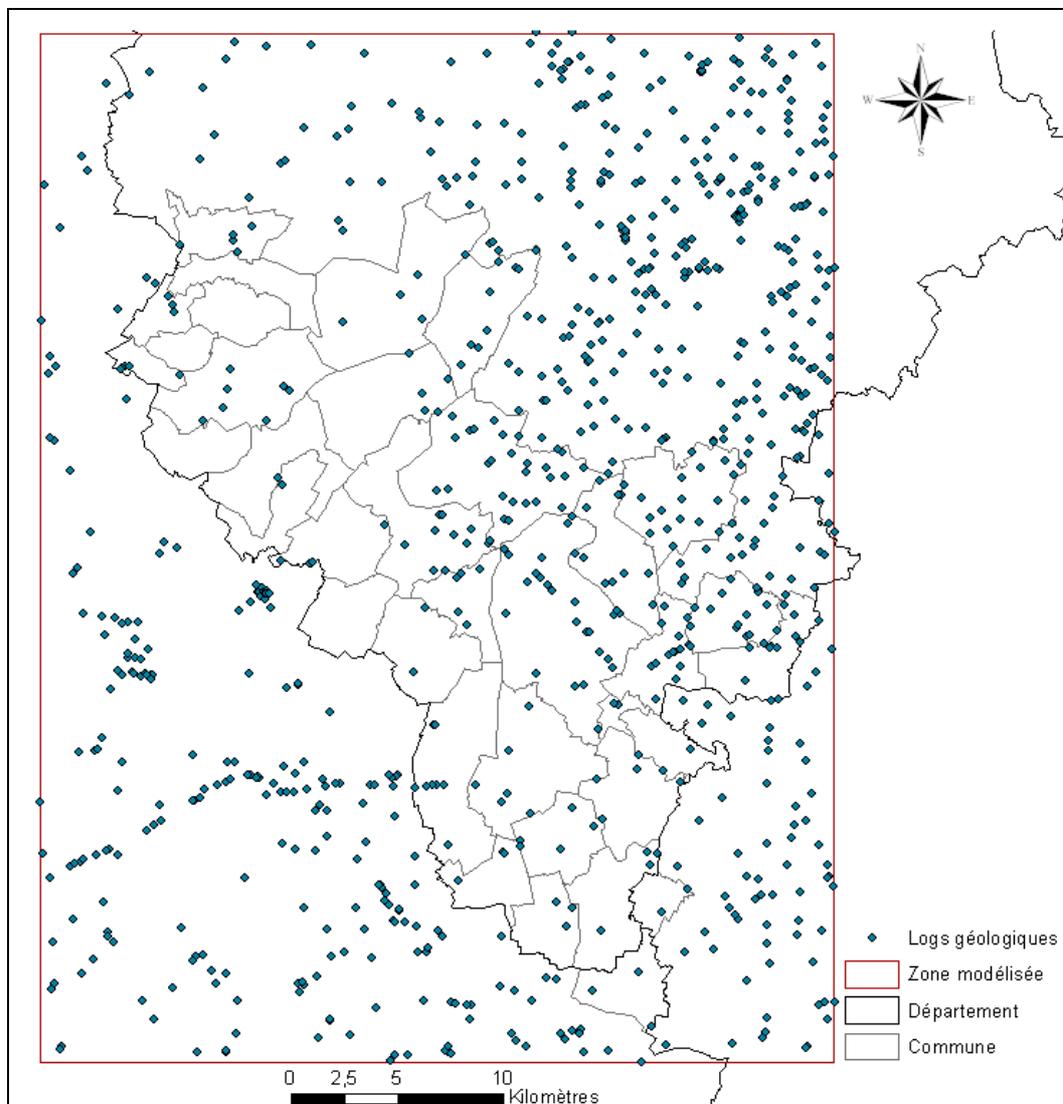


Figure 3: Logs géologiques vérifiés utilisés pour la modélisation

c) Calcul du modèle

Le modèle se présente sous la forme d'une grille, à mailles carrées de 100 m de côté. A partir des données listées précédemment, le logiciel calcule par interpolation pour chaque maille de la grille, la valeur estimée Z_e de l'altitude de la surface géologique (toit ou mur).

Le modèle multicouches se compose ainsi d'une grille régulière comportant en chaque maille de la grille, les valeurs estimées $Z_1, Z_2, Z_3, Z_n, \dots$, de l'altitude de toutes les interfaces géologiques.

La méthode d'interpolation est le krigeage, dont le paramètre de voisinage a été fixé à 15 km.

d) Résultat

A partir du modèle, des coupes passant par les captages AEP ont été réalisées (figure 4). Ces coupes figurent dans les Planches 1 et 2.

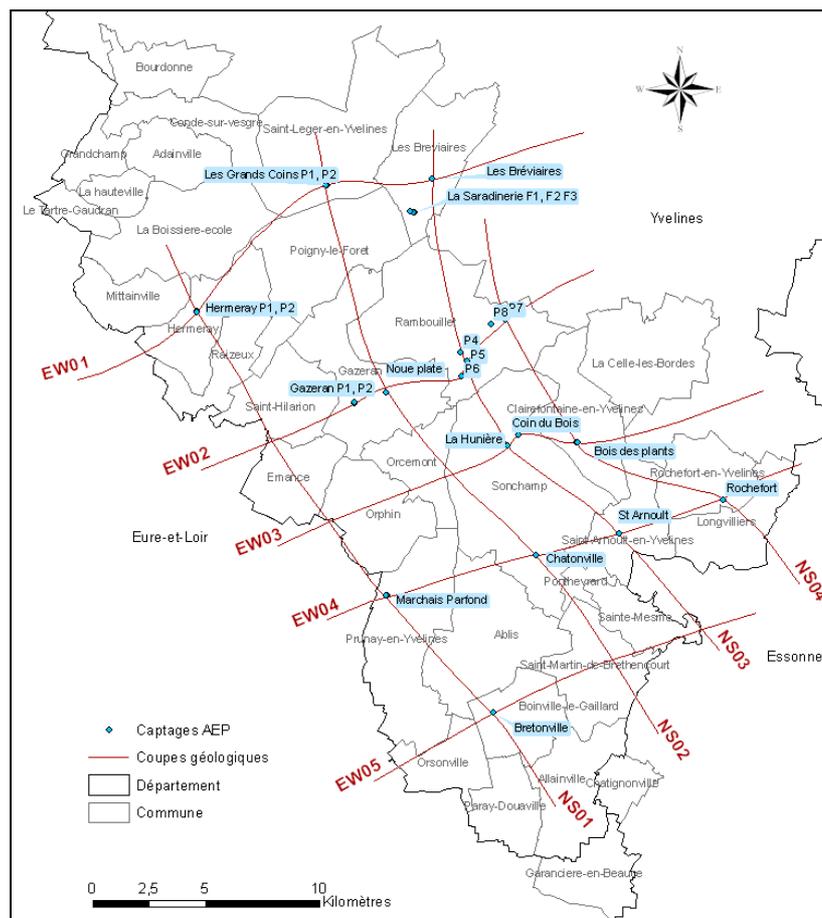


Figure 4 : Tracé des coupes géologiques

Les caractéristiques géométriques des formations aquifères sont détaillées dans le chapitre suivant.

3.2. HYDROGEOLOGIE

3.2.1. Les aquifères du Bassin de Paris

La richesse en eau du centre du Bassin de Paris est due à sa structure en cuvette et à l'alternance de roches de différentes perméabilités (Mégny, 1979).

Les principaux aquifères du Bassin de Paris sont (Schneider, 2005) :

I) Les aquifères profonds : Localisés sous la Craie, les formations aquifères principales sont :

- les aquifères multicouches du Trias et du Jurassique
- l'aquifère de l'Albien
- le Cénomaniens sableux présent au sud de Chartres

Ces aquifères captifs sont rechargés majoritairement par impluvium direct dans les zones affleurantes, l'alimentation par drainance –ascendante ou descendante- depuis d'autres aquifères a tendance à être plus importante en se rapprochant du centre du bassin.

II) L'aquifère de la Craie : La Craie est l'une des formations géologiques la plus répandue et la plus épaisse du Bassin de Paris. Elle constitue une ressource en eau majeure, mais ses propriétés aquifères sont aléatoires. Dans le Bassin de Paris, les affleurements de la Craie dessinent une vaste auréole autour des formations tertiaires.

III) Les aquifères tertiaires : Les formations tertiaires peuvent être divisées en deux groupes d'aquifères : les aquifères éocènes surmontant la Craie et les aquifères oligocènes.

Eocène : Les formations de l'Eocène présentant de fortes variations lithologiques horizontales et verticales, il n'existe pas, à l'échelle du Bassin de Paris de nappe unique ayant les mêmes propriétés hydrodynamiques et la même qualité.

Oligocène : Les formations oligocènes renferment trois aquifères majeurs regroupés sous le nom de nappe de Beauce, chaque région hydrogéologique ayant un de ces aquifères qui prédominent :

- | | |
|--|----------------------|
| i. Le Calcaire de Brie | Brie, Brières ; |
| ii. Les Sables de Fontainebleau | Hurepoix, Yvelines ; |
| iii. Le Calcaire de Beauce | Beauce. |

Ces trois formations s'intercalent des Yvelines à la Beauce, les Sables de Fontainebleau formant un biseau vers le sud-ouest, entre le calcaire de Brie et le calcaire de Beauce (figure 5).

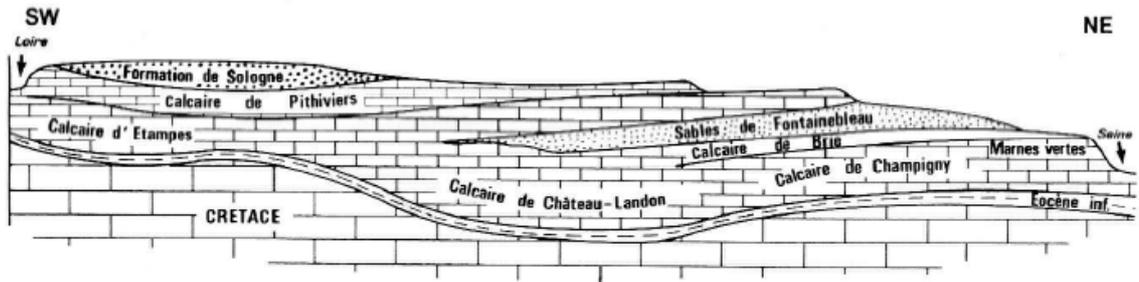


Figure 5: Coupes géologiques à travers la Beauce, d'Orléans (SW) à Melun (NE) (d'après Mégnien, 1979, modifié par Alcajadé, 1989 in Schneider, 2005)

IV) Les aquifères alluviaux

Les formations alluviales des cours d'eau importants, présentent souvent des perméabilités élevées, formant des ressources en eau intéressante (la Seine et ses affluents (l'Yonne, la Marne et l'Oise)).

3.2.2. Les aquifères captés au niveau de la zone d'étude

Les captages étudiés dans le cadre de cette étude, puisent les eaux souterraines de deux nappes, celle de l'Oligocène contenue principalement dans les Sables de Fontainebleau mais également dans la partie sud dans les calcaires d'Etampes et celle de la Craie. Dans la suite du rapport, le terme nappe des Sables de Fontainebleau sera utilisé pour désigner la nappe de l'Oligocène.

3.3. AQUIFERE DES SABLES DE FONTAINEBLEAU

3.3.1. Géologie et minéralogie

Au niveau de la zone d'étude, la nappe de l'Oligocène est contenue en majeure partie dans les Sables de Fontainebleau. Elle atteint cependant les Calcaires d'Etampes au sud de la zone. La nappe est libre sur toute l'étendue de la zone d'étude.

Les Sables de Fontainebleau reposent en discordance sur les formations tertiaires et sur la Craie, le long de l'anticlinal de la Rémarde. Il s'agit de dépôts marins ayant eu lieu au cours de la dernière transgression la plus étendue vers l'Est et le Sud qu'ait connu le Bassin de Paris. Les Sables de Fontainebleau, dont l'épaisseur peut atteindre 70 m, s'envoient sous les calcaires lacustres de Beauce et d'Etampes vers le sud, en formant un biseau.

La minéralogie des Sables de Fontainebleau en fait toute leur originalité, puisqu'ils sont constitués à 99% de quartz et sont légèrement micacées, il s'agit du « faciès clair ». Il existe également un « faciès sombre » en profondeur, composé de quartz (95% environ), feldspath (orthose et microcline), mica (muscovite), glauconie, pyrite, débris coquilliers et matière organique. Ceux-ci témoignent d'un milieu réducteur et ne sont pas observés à l'affleurement (Bariteau *et al*, 2001).

Les Sables de Fontainebleau renferment également des bancs de grès superposés, limités à la bordure des plateaux et aux flancs des vallées. Ces bancs de grès résultent de la silicification des Sables de Fontainebleau en bordure des vallées du fait de l'incision du réseau hydrographique au cours du plio-quadernaire (Thiry *et al*, 1988).

La nappe de l'Oligocène atteint les Calcaires de Beauce à l'extrême sud de la zone d'étude, au niveau de Boivre-le-Gaillard. Les calcaires de Beauce, d'origine lacustre, sont d'épaisseur variable puisqu'ils ont une puissance de 20 m environ à Etampes et seulement 2 ou 3 m dans l'Hurepoix. Ils sont majoritairement composés de carbonate de calcium, la teneur en carbonate de magnésium est très faible.

3.3.2. Limite d'extension et structuration de l'aquifère

Les affleurements des Sables de Fontainebleau se situant essentiellement au niveau des vallées, représentent environ 25 % de la surface de la zone d'étude. Le mur des Sables de Fontainebleau correspond plus ou moins à la base de l'aquifère. L'altitude du mur des Sables de Fontainebleau (figure 6) varie de 60 à 150 m le long d'un axe orienté NW-SE, en diminuant progressivement vers le SE. L'épaisseur des Sables de Fontainebleau varie de 0 à 77 m (figure 7).

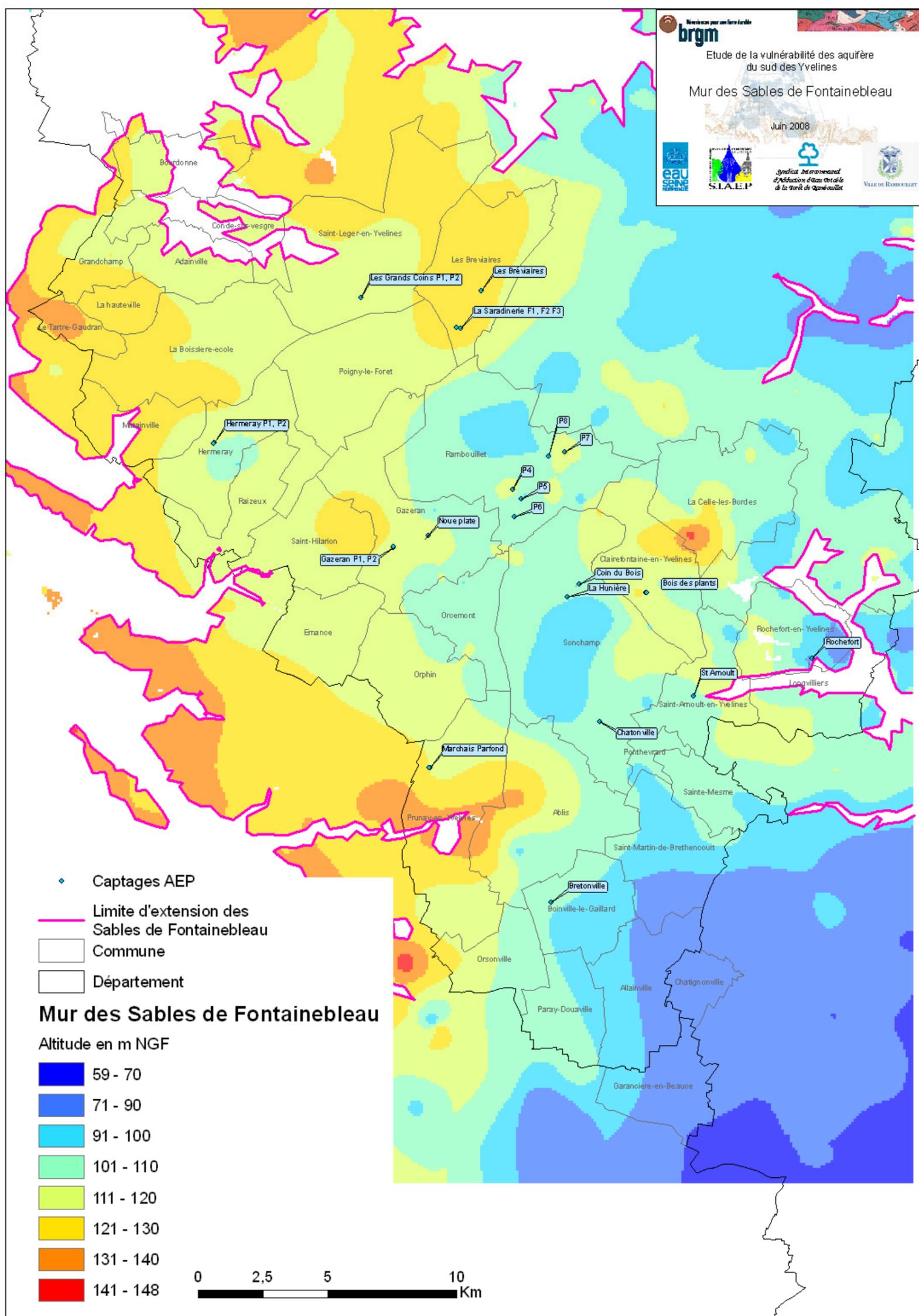


Figure 6: Mur des Sables de Fontainebleau

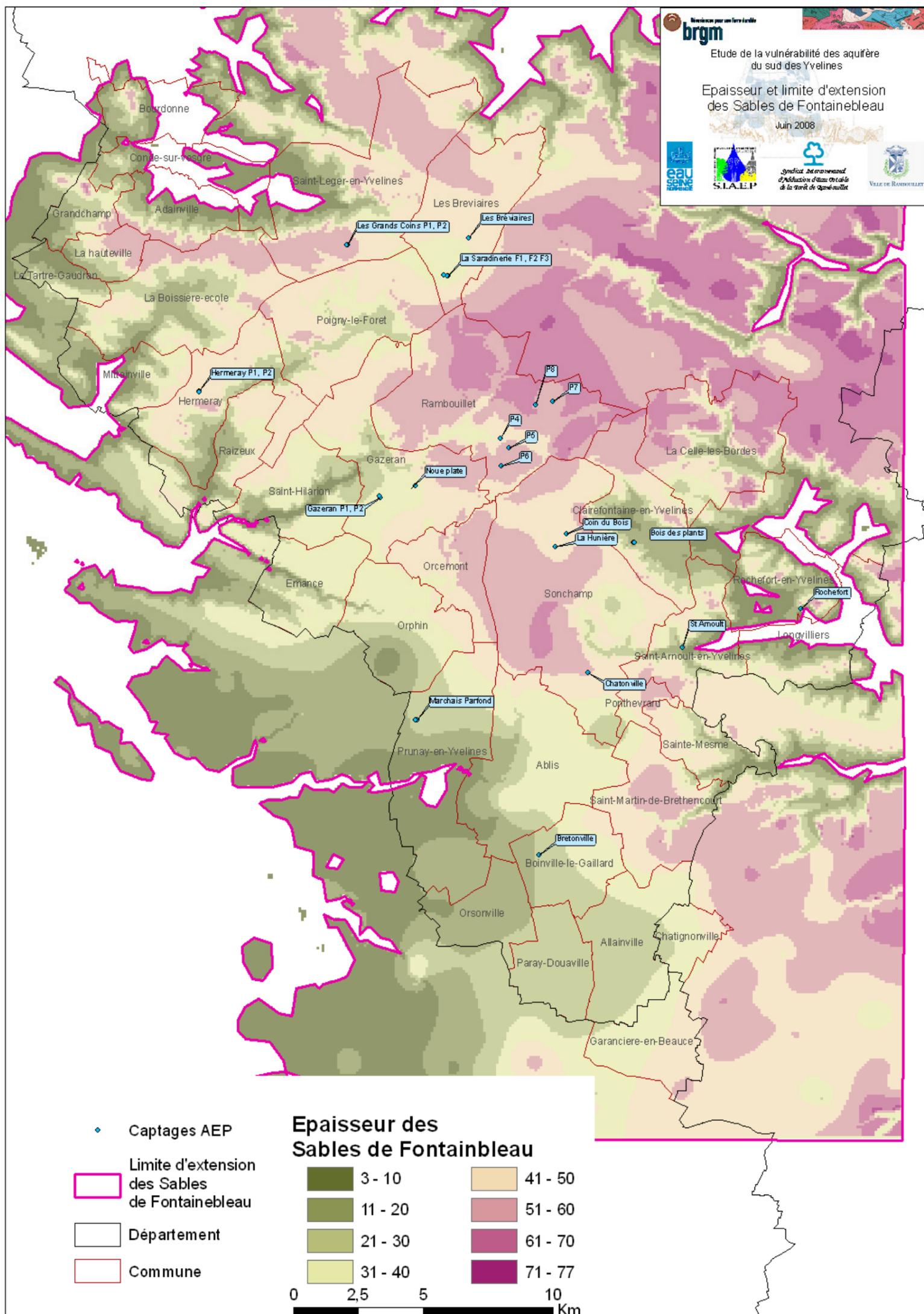


Figure 7: Epaisseur des Sables de Fontainebleau

3.3.3. Propriétés hydrodynamiques

Les tableaux 3 et 4 représentent une synthèse des différents paramètres hydrodynamiques rencontrés dans la bibliographie, respectivement pour les Calcaires de Beauce et les Sables de Fontainebleau (Schneider, 2005).

Les propriétés hydrodynamiques des Sables de Fontainebleau sont relativement homogènes, à cause de la régularité de la granulométrie, mais la finesse des grains de quartz rend la détermination de certains paramètres physiques délicate. Elle provoque en particulier, une rétention capillaire très importante rendant difficile l'estimation de la porosité.

Dans le cas de nappe libre, comme celle de l'Oligocène, le coefficient d'emmagasinement peut être assimilé à la porosité. Néanmoins les deux paramètres sont distingués, car les effets de capillarité ne peuvent être négligés. Une valeur de 2% est généralement adoptée pour le coefficient d'emmagasinement, notamment pour la réalisation de modélisation (Schneider, 2005).

Les valeurs de perméabilité se situent dans une gamme de deux ordres de grandeur (10^{-4} à 10^{-6} m.s⁻¹), valeurs proches des perméabilités connues pour des sables fins.

Les valeurs de transmissivité mesurés au droit des captages AEP de l'étude sont comprises entre $1.6.10^{-3}$ et $7.7.10^{-4}$ m²s⁻¹, avec une valeur moyenne de 3.10^{-3} . Les valeurs de paramètres hydrodynamiques de chaque captage sont présentées dans le tableau 6, paragraphe 4.2.1.

Référence	Porosité totale	Coefficient d'emmagasinement	Porosité efficace	Perméabilité (m/s)	Transmissivité (m ² /s)
Vernoux et al., 2001					2,4.10 ⁻²
Vernoux et al., 2001 (à partir de variations piézométriques)		0,02-5%	1,7-5%		
Vernoux et al., 2001 (à partir de modèle hydrodynamique)		5-20%			
Mégnyen, 1979 (à partir de l'écoulement différé des rivières drainant la nappe)		10%			
SCET-COOP, 1968					1.10 ⁻³ -5.10 ⁻² (Bassin de la Juine)

Tableau 3: Paramètres hydrodynamiques des Calcaires de Beauce (Schneider, 2005)

Référence	Porosité totale	Coefficient d'emmagasinement	Porosité efficace	Perméabilité (m/s)	Transmissivité (m ² /s)
Rapport ANTEA, forage de Coignières			2%		
Vernoux et al., 1999			15%	7.10 ⁻⁶ -6.10 ⁻⁵	
BURGEAP, 1995 cité par Vernoux et al., 1999	25%		15%	1,3.10 ⁻⁵ - 2,8.10 ⁻⁵	
Laboratoire de détection et de géophysique-CEA, 1995 cité par Vernoux et al., 1999	30%			1.10 ⁻⁵	

Mercier, 1981				3.10^{-6} - 8.10^{-4}	4.10^{-3} - $4.2.10^{-2}$ 10^{-4} dans les zones les plus défavorisées
1er rapport de bilan de nappe, bassin versant de l'Orge (Mercier, 1981)			25%	1.10^{-6} - 2.10^{-5}	5.10^{-5} - 1.10^{-3}
2ème rapport de bilan de nappe, bassin versant de l'Orge (Mercier, 1981)		10-15%			
Mégnien et al., 1970			>10%		$0,1$ - $0,5.10^{-2}$
Mégnien, 1979					2.10^{-4} - 2.10^{-3}
SCET-COOP, 1968 (à partir de pompages d'essai)		0,23-0,47%		1.10^{-4}	5.10^{-3}
SCET-COOP, 1968 (à partir de variations piézométriques)		14-16,5%			
Vernoux et al., 2001 (à partir de pompages d'essai)		0,2-0,6%			
Vernoux et al., 2001 (à partir de variations piézométriques)		1-8,3%			
Vernoux et al., 2001 (à partir de modèle hydrodynamique)		2-10%			

Tableau 4 : Paramètres hydrodynamiques des Sables de Fontainebleau (Schneider , 2005)

3.3.4. Piézométrie

La carte piézométrique de la nappe de l'Oligocène est représentée figure 8. L'altitude de la surface piézométrique varie de 90 à 150 m NGF au niveau de la zone d'étude. La carte piézométrique montre l'existence de deux dômes piézométriques, l'un centré au nord de Rambouillet et l'autre au niveau de la limite entre Orcemont et Sonchamp. Ils correspondent globalement aux reliefs les plus élevés rencontrés sur le secteur. Ils forment globalement un axe orienté N-S, à partir duquel, l'eau, influencée par le drainage des vallées (vallées de la Rémarde à l'Est et de la Vesgre au Nord-Ouest), s'écoule majoritairement dans les directions Est, Ouest et Nord.

Le gradient hydraulique est faible sur l'ensemble de la zone. Au niveau des plateaux (plateau de Beauce au Sud), il atteint ces valeurs les plus faibles (1.10^{-3}). Les valeurs les plus élevées se rencontrent à l'approche des vallées, à l'Est et au Nord Ouest de la zone, où le gradient est de l'ordre de 3.10^{-3} .

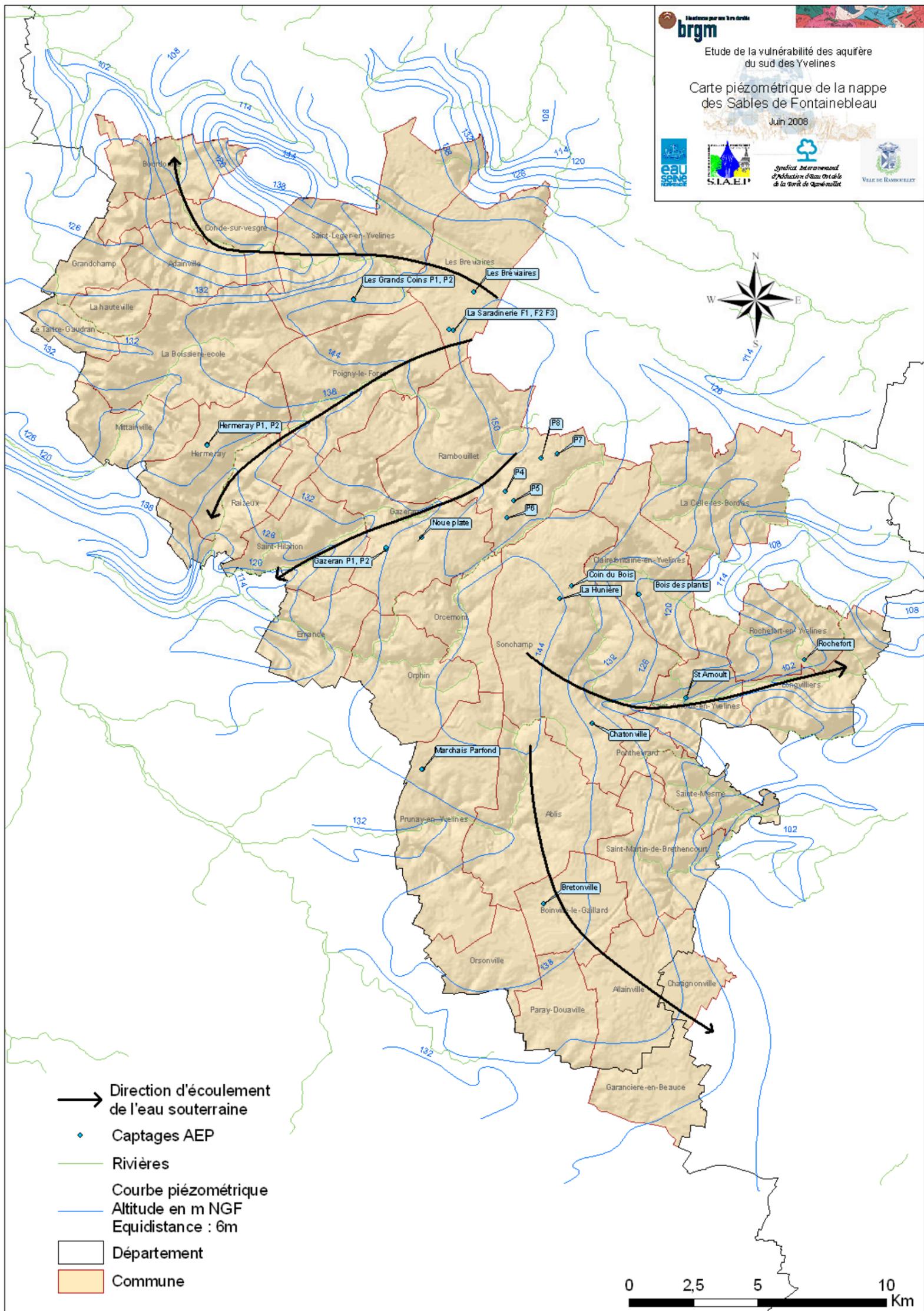


Figure 8 : Carte piézométrique de la nappe des Sables de Fontainebleau

3.4. AQUIFERE DE LA CRAIE

3.4.1. Géologie et minéralogie

Les formations crayeuses du Crétacé supérieur sont une ressource en eau importante du Bassin de Paris de part leur grande étendue géographique mais également pour la qualité des eaux qu'elles renferment.

La zone d'étude est marquée par une structure majeure, l'anticlinal de la Rémarde, qui fait affleurer la Craie dans la vallée de la Rémarde, à Saint-Arnoult-en-Yvelines. L'existence de cet anticlinal a créé l'érosion ou la lacune de certains dépôts sédimentaires du tertiaire. Ainsi, à l'Ouest de la zone, les Sables de Fontainebleau reposent directement sur la Craie.

La majeure partie de l'eau contenue dans la Craie sous couverture est difficilement extractible car enfermée dans la microporosité. Cependant, plissée par la tectonique régionale (anticlinal de la Rémarde), la Craie a acquis une porosité secondaire, grâce à la présence de diaclases et de fractures, la rendant ainsi perméable et par conséquent aquifère.

La Craie est caractéristique d'un dépôt sédimentaire marin, formé par l'accumulation de micro-organismes planctoniques, principalement des coccolites, composés de calcite (CaCo₃) peu magnésienne. Elle contient dans sa fraction insoluble à l'attaque acide, du quartz détritique fins, des spicules de Spongiaires, de Foraminifères silicifiés, des minéraux lourds et des minéraux argileux (Mégnyen, 1979).

3.4.2. Limite d'extension et structuration de l'aquifère

La Craie est présente à plus ou moins grande profondeur sur l'ensemble de la zone. Les seuls affleurements de la Craie présents dans le secteur, se situent dans la vallée de la Rémarde.

Le toit de la Craie est présenté figure 9. L'altitude du toit de la Craie varie globalement de -20 à 130 m NGF, en dessinant la structure anticlinale de la Rémarde de direction NW-SE à l'est de la zone.

La formation imperméable majeure isolant l'aquifère de la Craie de celui des Sables de Fontainebleau se rattache à l'Eocène inférieur (Yprésien), constitué d'argile plastique du Sparnacien. Cette formation n'est cependant pas présente sur l'ensemble de la zone, du fait de lacune dans le dépôt, en particulier à l'ouest de la zone. Lorsque les argiles de l'Yprésien existent, l'aquifère de la Craie est captif et bien isolé de celui des Sables de Fontainebleau. Par contre dans les zones où l'argile du Sparnacien est absente, l'aquifère de la Craie est en continuité avec celui des Sables de Fontainebleau et il y a communication entre les deux aquifères.

Il convient donc de définir de façon plus précise ces différentes zones. La figure 10 indique la limite d'extension de l'Yprésien (Eocène inférieur) et délimitant ainsi les zones où l'aquifère de la Craie est captif des zones où il est en continuité avec l'aquifère des Sables de Fontainebleau.

3.4.3. Paramètres hydrodynamiques

Le tableau 5 rassemble les propriétés hydrodynamiques de la Craie d'après différentes sources bibliographiques.

Du fait de sa double porosité, la Craie présente des propriétés hydrodynamiques très variables. De ce fait, les échantillonnages discrets (carotte) rendront compte de paramètres sur Craie saine, alors que les propriétés hydrodynamiques sur Craie fracturée (nécessitant un travail à grande échelle) seront approchées principalement par pompage d'essai. Avec la profondeur, la Craie présente des faciès moins favorable au stockage et à la circulation des eaux, ceci étant dû à la raréfaction des fractures entraînant une diminution de la porosité et de la perméabilité (Schneider, 2005).

La porosité totale de la Craie peut atteindre 40 %. Néanmoins la porosité efficace de la Craie fracturée est comprise entre 2 et 10%.

Référence	Porosité totale		Porosité efficace		Perméabilité (m/s)	
	Craie saine	Craie fracturée	Craie saine	Craie fracturée	Craie saine	Craie fracturée
Plain, 2002	42%				10^{-8}	$10^{-3}-10^{-5}$
Mégnien, 1979	De 40% (Campanien) à 16%(Cénomaniens)		0,3-1%	2%	De 1.10^{-7} (Campanien) à moins de 1.10^{-10} (Cénomaniens)	$10^{-3}-10^{-7}$
Mégnien et al., 1970	37-45%		1-2%			
Alcayadé, 1989	20-40%		0,5-2%	10%		5.10^{-3}
Kloppmann, 1995	30-40%		0,3-1%		$0,7-3.10^{-8}$	$0,5-1950.10^{-6}$

Tableau 5 : Paramètres hydrodynamiques de la Craie (Schneider , 2005)

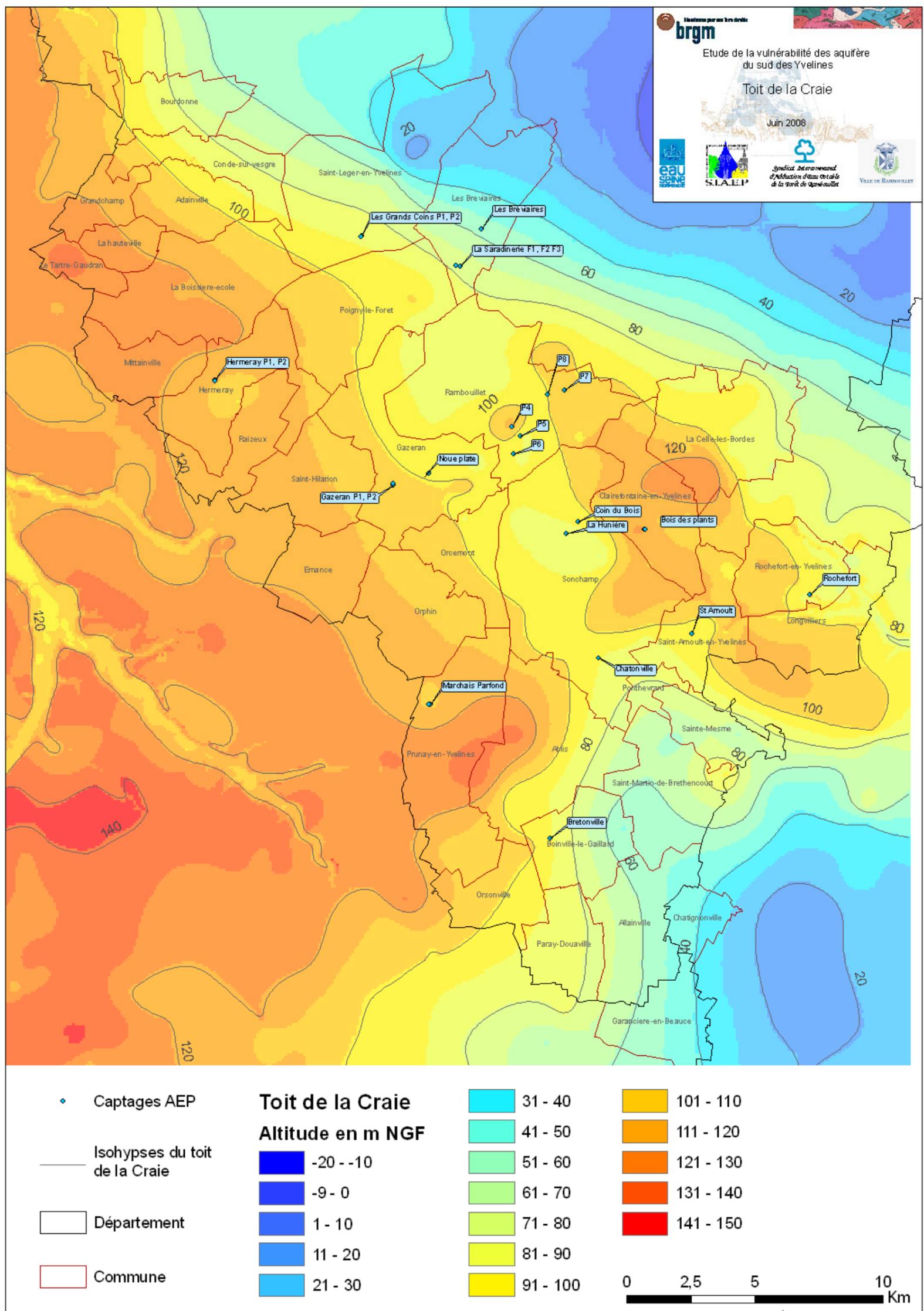


Figure 9: Toit de la Craie

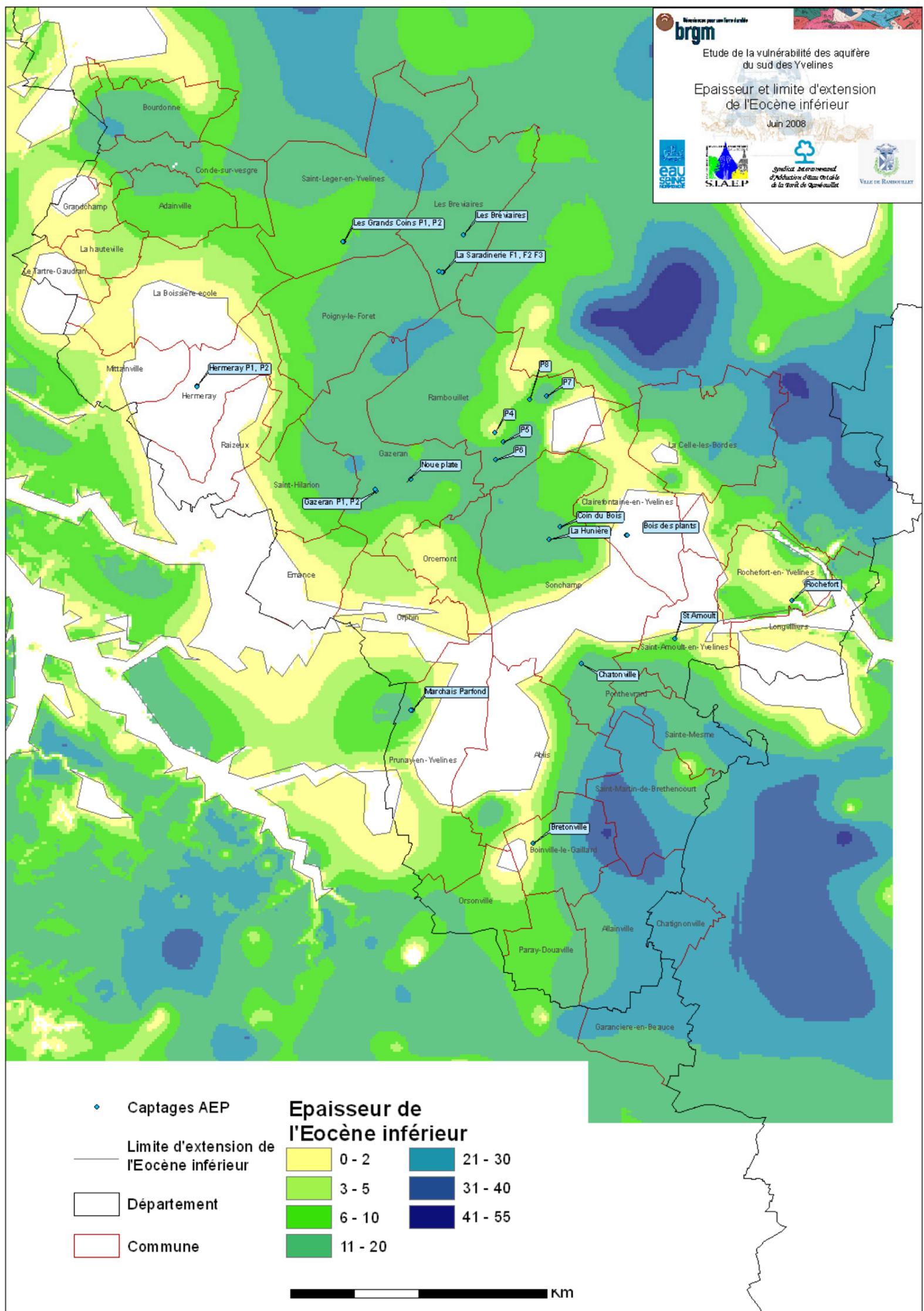


Figure 10: Limite d'extension et épaisseur de l'Eocène inférieur

4. Détermination des bassins d'alimentation des captages

4.1. DEFINITION ET METHODOLOGIE

4.1.1. Définitions

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 déterminé par une ligne de partage des eaux souterraines qui, à l'encontre de celles des bassins de surface peut être migrante ; c'est l'homologue souterrain du bassin versant pour les eaux de surface (Castany et Margat, 1977).

A l'intérieur d'un bassin versant souterrain, on peut définir **la portion de nappe d'eau souterraine alimentant le captage (zone d'appel)**. Elle représente l'ensemble des particules d'eau situées en un endroit quelconque de la zone saturée qui termineront leur course dans le captage.

L'aire d'alimentation d'un captage ou bassin d'alimentation d'un captage est la zone correspondant au lieu des points de la surface du sol contribuant à l'alimentation du captage. Cette zone correspond à la projection en surface de la portion de nappe alimentant le captage à laquelle on peut ajouter ou extraire des zones en surface (figure 11).

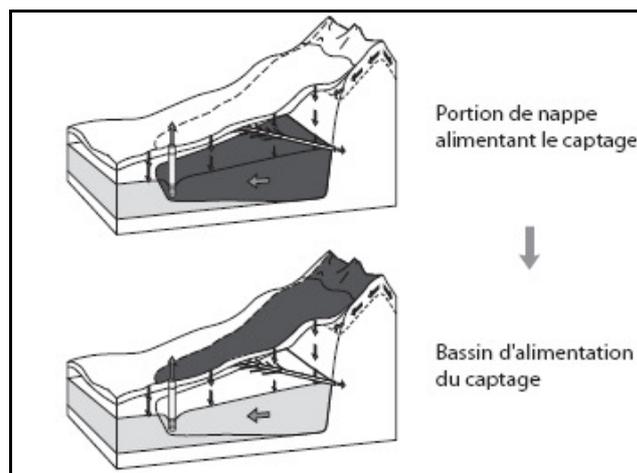


Figure 11 : Principe de dimensionnement d'un bassin d'alimentation d'un captage (Bussard, 2005)

La zone d'influence d'un captage correspond à la zone dans laquelle les niveaux sont influencés, c'est-à-dire rabattus par le pompage (figure 12).

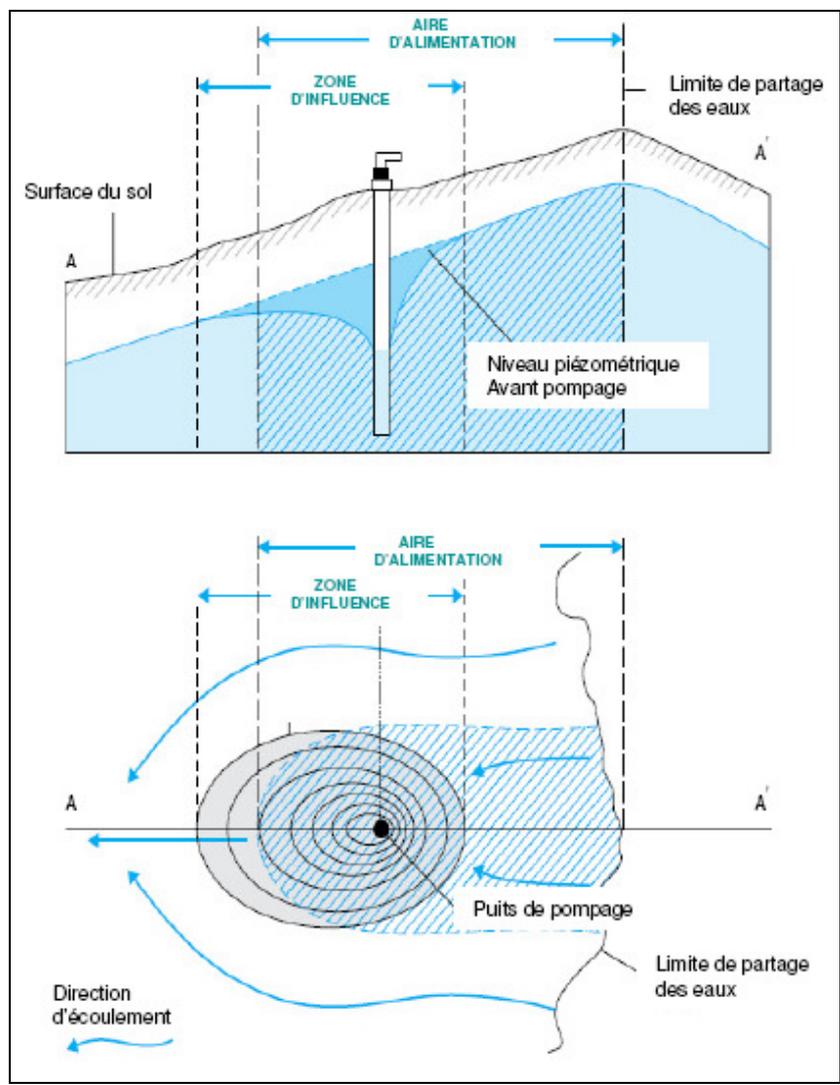


Figure 12 : Aire d'alimentation et zone d'influence d'un captage (Vernoux et al, 2007, guide méthodologique)

Dans une nappe à écoulement uniforme, les lignes de courant sont influencées par le captage et sont déviées vers celui-ci. La portion de la nappe alimentant le captage dépend des critères structuraux et hydrodynamiques de l'aquifère.

La largeur maximale de la portion de nappe alimentant le captage, à l'amont du forage est appelée « front d'emprunt » (figure 13).

La limite amont de la portion de nappe alimentant le captage peut être une limite à potentiel imposé (plan d'eau alimentant la nappe), une limite à flux nul (contact de

l'aquifère avec un imperméable) ou une ligne de partage des eaux (crête piézométrique).

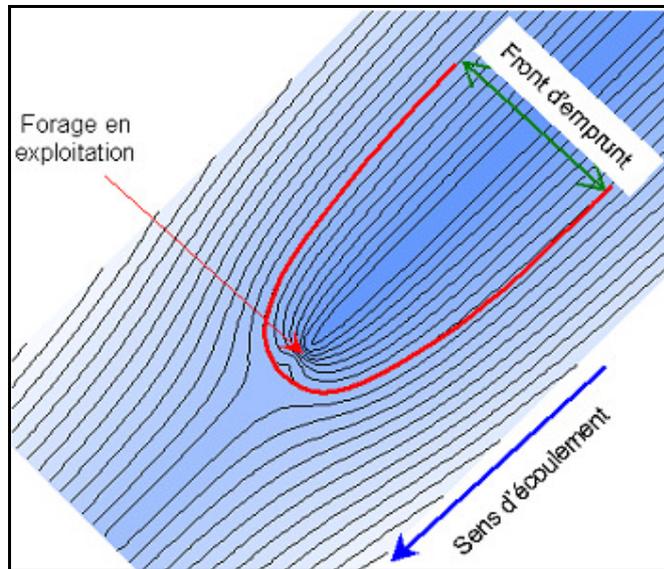


Figure 13 : Portion de nappe contribuant à l'alimentation d'un captage (Vernoux et al., 2007)

Le bassin d'alimentation d'un captage qui correspond généralement à la projection en surface de la portion de nappe alimentant le captage, peut cependant en différer dans les cas les plus complexes par ajout ou retrait de zones en surface.

Par exemple, une zone de faible conductivité hydraulique exportant les eaux infiltrées en dehors de la zone de captage sera exclue du bassin d'alimentation. Le bassin d'alimentation peut également être réduit si la nappe est captive ou libre sous recouvrement argileux. Ces deux cas de figure sont liés à la présence d'une couche imperméable isolant l'aquifère considéré, soit de la surface du sol, soit d'une nappe sus-jacente. Une formation n'étant jamais totalement imperméable, il convient de définir plus précisément cette notion : nous considérons comme imperméable, une couche dont la perméabilité est inférieure à 10^{-9} m/s, qui est la norme utilisée pour les Centre d'Enfouissement Technique.

A contrario, des zones attenantes au bassin caractérisées par des écoulements de subsurface ou par ruissellement diffus s'infiltrant en partie et participant à l'alimentation du captage, y seront incorporées (Bussard, 2005) (figure 14).

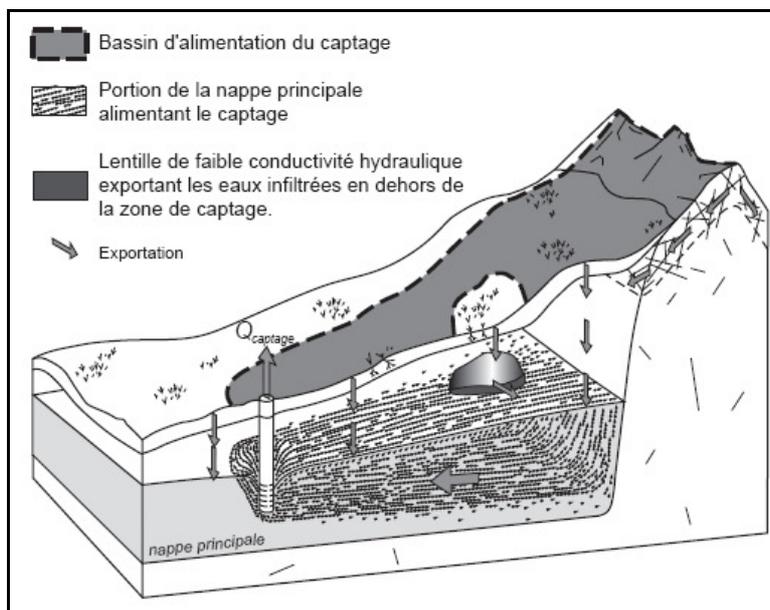


Figure 14 : Exemple de bassin d'alimentation d'un captage (Bussard, 2005)

4.1.2. Méthodologie

La délimitation des bassins d'alimentation des captages s'appuie sur le guide méthodologique élaboré par le BRGM en 2007 sur ce sujet (Vernoux J.F *et al.*, 2007).

La nappe des Sables de Fontainebleau est une nappe libre et également la première rencontrée depuis la surface du sol. Dans ce contexte, le bassin d'alimentation d'un captage correspond à la projection en surface de la portion de nappe alimentant le captage.

Dans le cas d'un aquifère continu comme celui des Sables de Fontainebleau, le guide méthodologique sur la délimitation des bassins d'alimentation des captages préconise d'employer soit une méthode analytique, soit une modélisation numérique.

Ces méthodes n'étant pas exclusives, il est conseillé de mettre en œuvre les deux méthodes pour délimiter les bassins d'alimentation des captages puisant dans la nappe des Sables de Fontainebleau ou dans celle de la Craie lorsque celle-ci est en contact avec celle des Sables de Fontainebleau.

La méthode analytique employée repose sur la méthode développée par Bear et Jacob (1965). Cette méthode est d'utilisation aisée mais considère un contexte hydrogéologique assez simplifié. Cela permet néanmoins d'obtenir rapidement un aperçu des bassins d'alimentation, information nécessaire pour le dimensionnement des modèles numériques, mis en œuvre par la suite, avec le logiciel ASM (Aquifer Simulation Model). Les modélisations numériques permettent de prendre en compte un contexte hydrogéologique plus complexe que les méthodes analytiques.

L'aquifère de la Craie est un aquifère de type sédimentaire fissuré, pouvant être considéré comme un milieu continu, étant donné les forts débits de production des captages et la stabilité des paramètres physico-chimique.

4.2. DELIMITATION DES BASSINS D'ALIMENTATION DES CAPTAGES

En milieu continu, l'étendue des bassins d'alimentation dépend fortement des débits de pompage. Dans le but de déterminer les bassins d'alimentation de la façon la plus réaliste possible tout en assurant une protection maximale aux captages, deux cas de figure ont été considérés.

Le premier prend en compte pour chaque captage, le débit de pompage moyen journalier. Celui-ci permet de représenter le bassin d'alimentation des captages dans leur fonctionnement quotidien.

Le deuxième cas de figure représente le bassin d'alimentation maximum, celui-ci est calculé avec un débit de pointe, que les captages sont susceptibles d'atteindre à certaines périodes de l'année où les besoins en eau sont plus importants.

Ainsi deux enveloppes sont déterminées, la première correspond aux bassins d'alimentation avec un débit de pompage moyen journalier et l'autre avec un débit de pointe.

Ces différents débits nous ont été fournis par le Syndicat d'Ablis et par Veolia, pour les captages du SIAEP de la Forêt de Rambouillet et de la Ville de Rambouillet.

4.2.1. Méthode analytique

a) Principe

Les fondements de cette méthode sont issus de Bear et Jacob (1965) qui ont montré que dans un aquifère idéal avec un écoulement uniforme, la zone d'appel prend une forme parabolique en U, dont on peut calculer le point de stagnation en aval et la largeur en amont.

Cette méthode déterministe repose sur les équations générales de l'hydrodynamique, simplifiées pour qu'une solution analytique puisse être développée.

L'aquifère est supposé :

- homogène et isotrope, poreux,
- non borné par des limites,
- d'épaisseur constante E et de perméabilité K

On suppose également :

- que l'écoulement général de la nappe, en l'absence de pompage, est unidirectionnel, de vitesse constante V_u

- qu'il n'y a pas de recharge

- qu'un régime stationnaire est établi.

Selon les hypothèses énumérés ci-dessus, un pompage dans un écoulement uniforme crée une inflexion des lignes de courant et il est possible de déterminer la courbe enveloppe de la portion de nappe alimentant le captage.

On note :

- Q le débit de pompage en m^3/s
- b l'épaisseur de l'aquifère
- K la perméabilité en m/s
- i le gradient hydraulique

La transmissivité T est égale à $K \times b$.

La largeur du front d'appel B (en mètres) est (figure 15) :

$$B = \frac{Q}{Kbi}$$

La largeur du front d'appel à la hauteur du captage est :

$$B' = \frac{Q}{2Kbi}$$

Le rayon d'appel en aval du captage est :

$$x = \frac{Q}{2\pi Kbi}$$

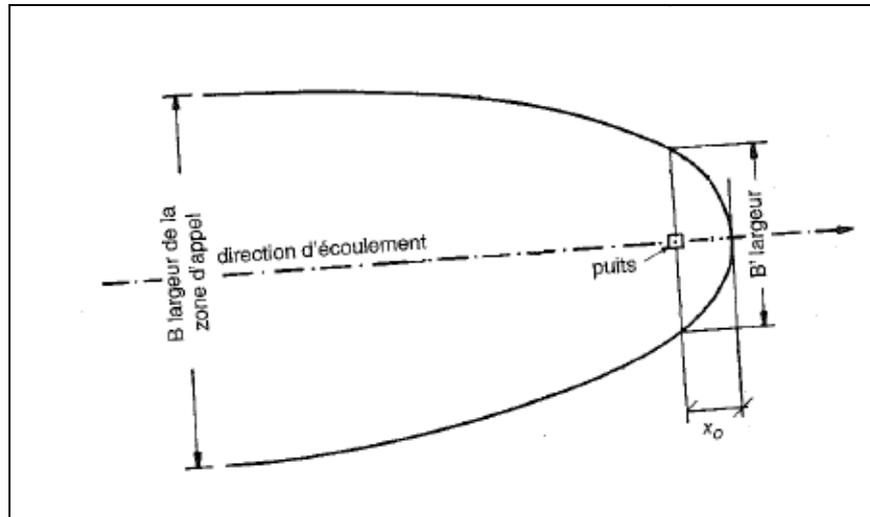


Figure 15 : Enveloppe délimitant la portion de nappe alimentant le captage (Lallemand-Barrès et Roux, 1999)

Les points x , y de la courbe enveloppe peuvent être calculés en coordonnées radiales ou cartésiennes.

b) Paramètres

Les valeurs de transmissivité considérées sont issues des rapports des captages (essai de pompage, étude environnementale...) fournis par les syndicats. Lorsque la transmissivité n'était pas renseignée, une valeur moyenne de $3 \cdot 10^{-3}$ a été prise en compte.

Les gradients hydrauliques ont été calculés pour chaque captage, à partir de la carte piézométrique (tableau 6).

Les paramètres utilisés pour chaque captage sont indiqués dans le tableau 13.

Code BSS	Commune	Lieu dit	Débit de pointe	Débit moyen journalier	Transmissivité	Gradient en %	Distance du front amont
			Q en m3/h	Q en m3/h		T en m2/s	
02565X0030	Boinville	Bretonville	120	100	0,0028	0,0010	2000
02186X0040	Clairefontaine	Bois des Plants	60	40	0,006	0,0058	8000
02186X0042							
02554X0036	Prunay	Marchais Parfond	100	60	0,0046	0,0025	2860
02554X0006							
02563X0022	Rochefort		70	50	0,004	0,0040	10000
02562X0045	Saint-Arnoult		100	90	0,003	0,0050	7000
02185X0002	Sonchamp	La Hunière	100	90	0,003	0,0010	3000
02185X0097	Sonchamp	La Hunière	120	100	0,003	0,0040	5000
02561X0055	Sonchamp	Chatonville	100	90	0,003	0,0035	2300
02181X0026	Les Bréviaires	Château d'eau	20	10	0,004	0,0024	2250
02181X0073	Les Bréviaires	La Saradinerie	150	100	0,005	0,0024	2250
02181X0074					0,004	0,0024	
02181X0075					0,0031	0,0024	
02178X0008	Gazeran	Château d'eau	30	25	0,0016	0,0030	1600
02178X0025							
02185X0059	Gazeran	Noue Plate	80	40	0,0016	0,0030	1140
02177X0005	Hermeray	Château d'eau	30	10	0,003	0,0024	4575
02177X0027							
02174X0007	Saint-Léger	Les grands coins	60	30	0,003	0,0020	4580
02174X0028							
02185X0056	Rambouillet	Le Patis	50	40	0,0042	0,0016	1700
02185X0055	Rambouillet	Villeneuve	60	50	0,0042	0,0016	1700
02185X0051	Rambouillet	Bois des Evreuses	60	50	0,0045	0,0016	2800
02185X0003	Rambouillet	Rue des Evreuses	85	80	0,0044	0,0016	2000
02185X0015	Rambouillet	Rue du petit Parc	50	40	0,0044	0,0016	1800

Tableau 6: Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la méthode analytique

c) Résultats

La figure 16 montre les bassins d'alimentation des captages calculés par méthode analytique pour un débit moyen journalier et pour un débit de pointe.

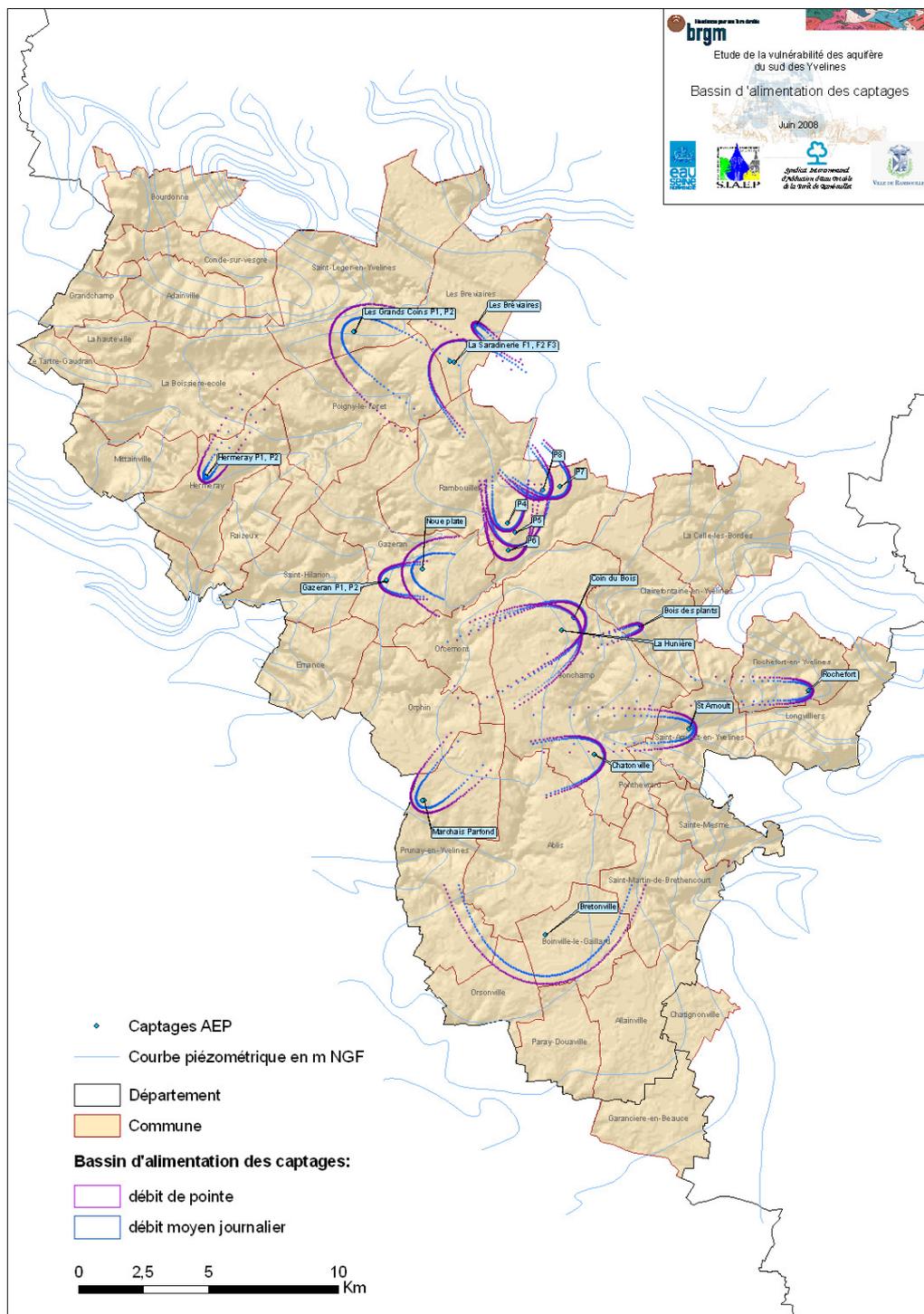


Figure 16 : Bassins d'alimentation des captages calculés par méthode analytique

d) Conclusion

La méthode analytique est d'utilisation aisée (peu de paramètres, temps de calculs courts) mais leur champ d'application reste limité à des milieux aquifères et à une hydrodynamique relativement simples.

Les bassins d'alimentation des captages obtenus sont tous unidirectionnels et de même forme parabolique, seule la largeur du front d'emprunts diffère d'un captage à l'autre. Les interactions éventuelles entre deux captages proches l'un de l'autre ne sont pas prises en compte.

Cette méthode, simple à mettre en œuvre, permet cependant d'obtenir rapidement une première approche de la dimension des bassins d'alimentation des captages. Les résultats obtenus se sont ainsi avérés très utiles pour la suite de la démarche de délimitation des bassins d'alimentation des captages qui s'effectue par modélisation numérique. Ils ont en effet permis de définir la taille des modèles de façon à ce que les bassins d'alimentation des captages modélisés soient complètement inclus dans les modèles sans atteindre leurs bordures.

4.2.2. Modélisation numérique

a) Principe

La délimitation des bassins d'alimentation des captages par modélisation numérique a été réalisée au moyen du logiciel ASM (Aquifer Simulation Model), version 6.0, développé par W.Kinzelbach en 1994 à l'ETH de Zurich (téléchargeable à partir du site : <http://www.ifu.ethz.ch/publications/software/asmwin>).

Cet outil, relativement simple d'utilisation, permet de réaliser des modèles en 2D des flux et transports des eaux souterraines.

Les modèles sont construits à partir d'un repère quadrillé, dont la maille est de 250m x 250m.

Compte tenu de l'étendue de la zone d'étude, celle-ci a été découpée en 6 zones, correspondant chacune à un modèle numérique pour définir les bassins d'alimentation des captages de l'étude (figure 17).

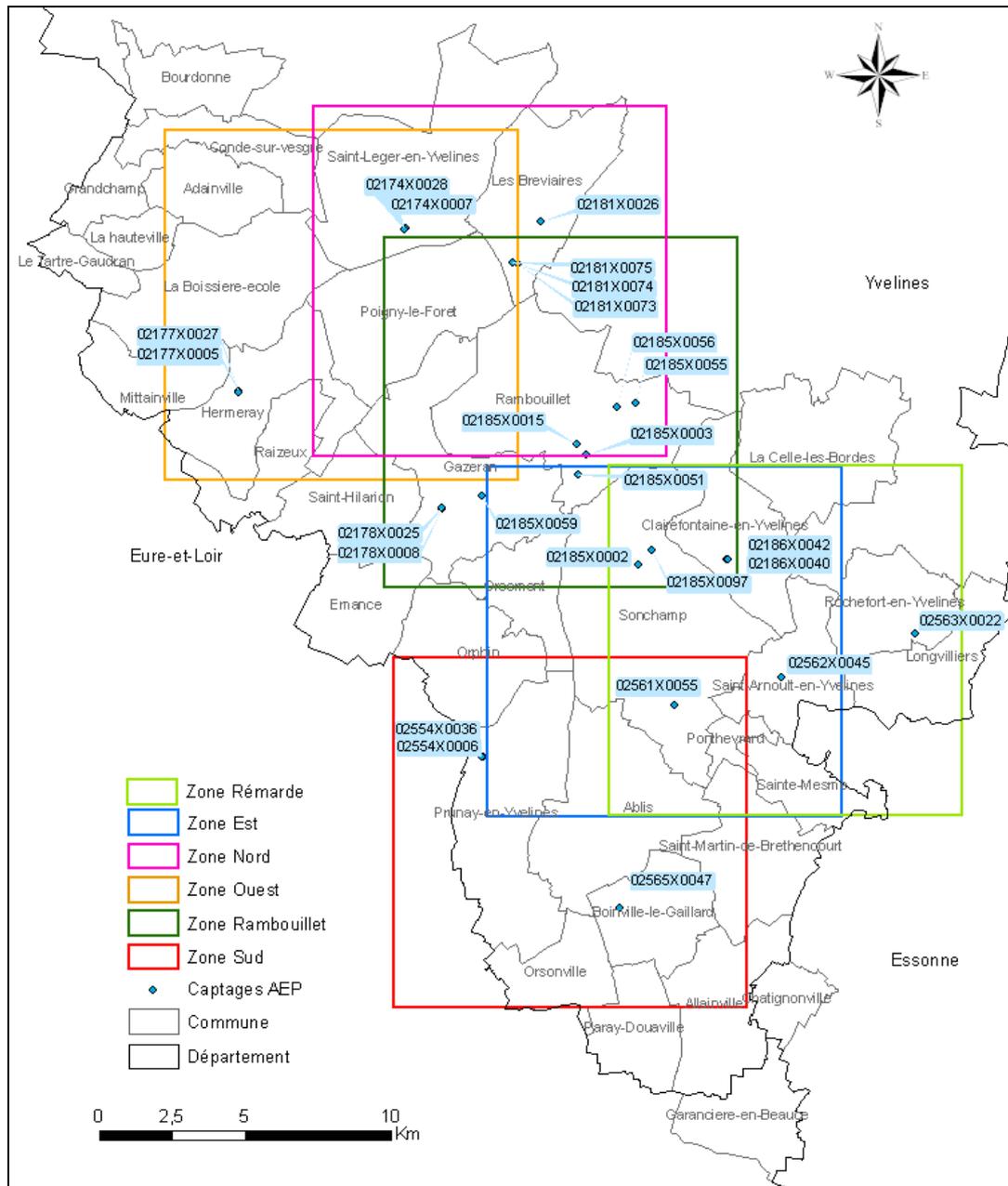


Figure 17 : Découpage du secteur en différents modèles

La modélisation repose sur le calage de la piézométrie hors pompage.

On fixe un potentiel imposé tout autour du modèle, dont les valeurs correspondent aux valeurs de la piézométrie, calculées par interpolation à partir de la carte piézométrique existante. Le potentiel a également été imposé au niveau des rivières lorsque celles-ci étaient en équilibre avec la nappe.

Le calage du modèle peut être affiné en distinguant des zones de transmissivité différentes à l'intérieur des domaines modélisés. Le calage s'effectue par essais successifs jusqu'à trouver une distribution de transmissivité satisfaisante.

La délimitation des bassins d'alimentation des captages s'effectue de façon automatique en plaçant régulièrement autour du captage, des points de départ de lignes de courant correspondant à des particules fictives, d'où le nom de « particle tracking » donné à ces méthodes. Le déplacement des particules le long des lignes de courant se fait en remontant vers l'amont à partir du captage.

b) Paramètres

Les données intégrées aux modèles sont :

- la transmissivité du milieu (m^2/s)
- la porosité efficace du milieu
- la recharge exprimée en $m^3/s/m^2$
- le débit de pompage en m^3/s

De même que pour la méthode analytique, les valeurs de transmissivité considérées sont issues des rapports des captages (essai de pompage, étude environnementale...) fournis par les syndicats. Lorsque la transmissivité n'était pas renseignée, une valeur moyenne de 3.10^{-3} a été prise en compte.

La valeur de porosité efficace considérée pour les Sables de Fontainebleau est de 2%, cette valeur repose sur les valeurs trouvées dans la bibliographie.

Les valeurs de pluie efficace (recharge) sont issues des modélisations hydrologiques réalisées dans le cadre de cette étude.

c) Calage des modèles

Les calages des différents modèles, réalisés à partir de la piézométrie hors pompage, sont indiqués ci-dessous.

Pour chaque modèle, un tableau récapitulatif des captages modélisés et des paramètres utilisés est présenté, de même que la piézométrie observée et celle calculée par modélisation.

Des corrélations entre les valeurs de piézométrie observée et les valeurs de piézométrie calculée par modélisation ont été effectuées pour vérifier la cohérence des modèles. Les coefficients de corrélations sont dans l'ensemble très satisfaisants, sauf pour la zone sud, où il est de 0,54. Ceci peut être dû au faible nombre de points de contrôle dans cette zone.

Zone Est

Code_BSS	Commune	Lieu dit	Transmissivité en m2/s	Recharge en mm/an	Débit moyen journalier m3/h	Débit de pointe m3/h
02186X0040	Clairefontaine	Bois des Plants	0,003	100	40	60
02186X0042						
02185X0002	Sonchamp	La Hunière	0,002		90	100

Tableau 7: Paramètres de modélisation zone Est

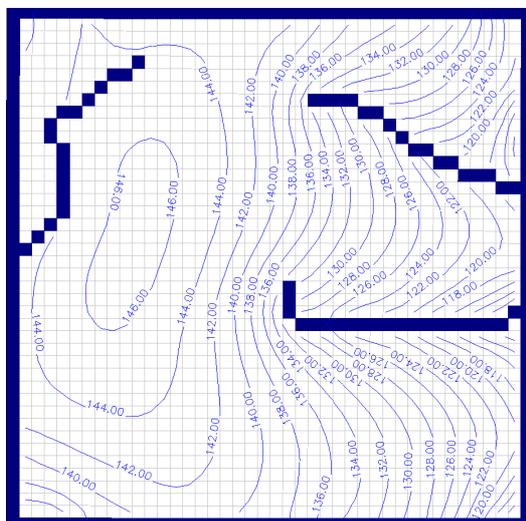


Figure 18: Piézométrie calculée par modélisation

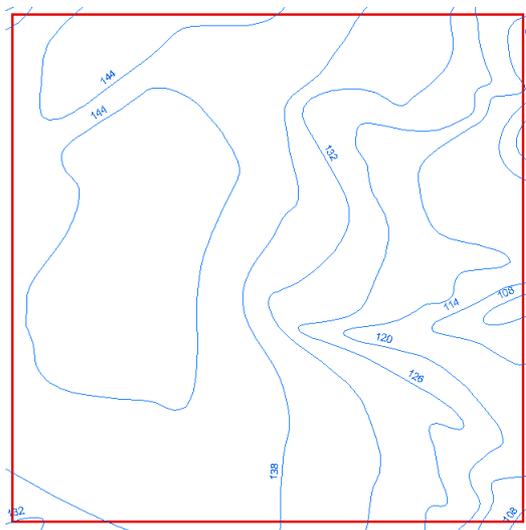


Figure 19: Piézométrie observée

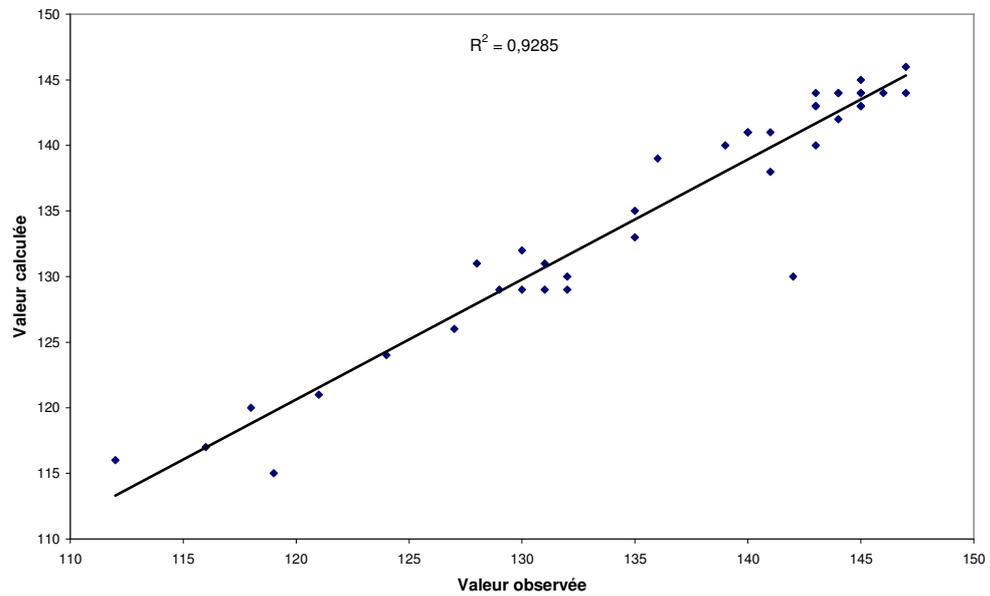


Figure 20 : Corrélation entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée

Zone Rambouillet

Code_BSS	Commune	Lieu dit	Transmissivité en m2/s	Recharge en mm/an	Débit moyen journalier m3/h	Débit de pointe m3/h
02178X0008	Gazeran	Château d'eau	0,0016	100	25	30
02178X0025						
02185X0059	Gazeran	Noue Plate	0,004		40	80
02185X0055	Rambouillet	Villeneuve			50	60
02185X0051		Bois des Evreuses			50	60
02185X0003		Rue des Evreuses			80	85

Tableau 8: Paramètres de modélisation zone Rambouillet

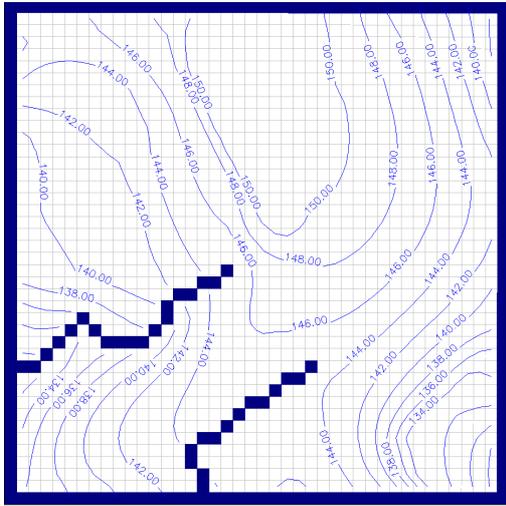


Figure 21: Piézométrie calculée par modélisation

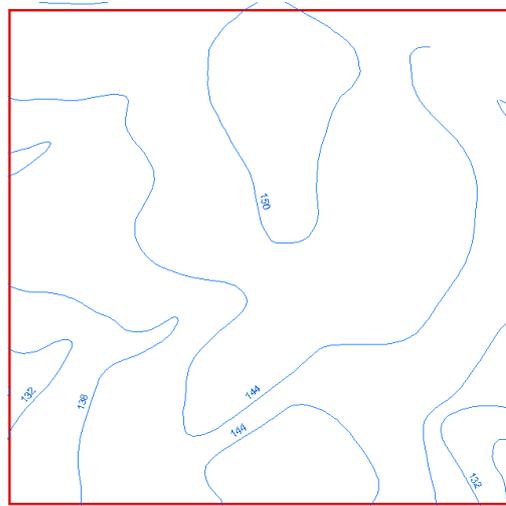


Figure 22 : Piézométrie observée

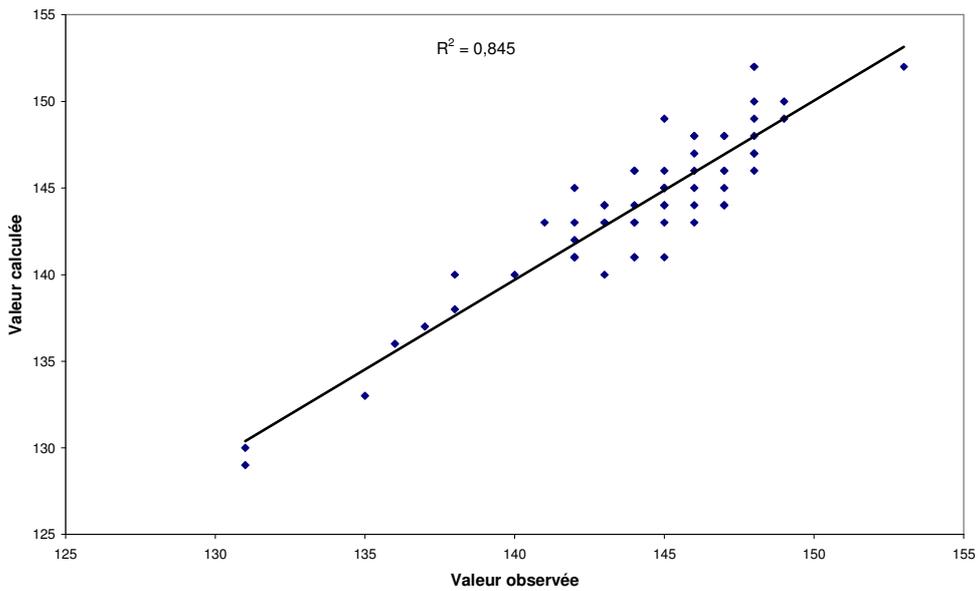


Figure 23 : Corrélation entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée

Zone Sud

Code_BSS	Commune	Lieu dit	Transmissivité en m ² /s	Recharge en mm/an	Débit moyen journalier m ³ /h	Débit de pointe m ³ /h
02565X0047	Boinville	Bretonville	0,003	100	100	120
02554X0036	Prunay	Marchais Parfond			60	100
02554X0006						
02561X0055	Sonchamp	Chatonville			90	100

Tableau 9 : Paramètres de modélisation zone Sud

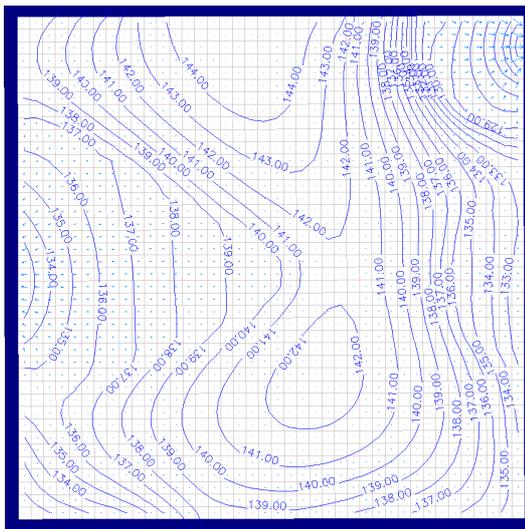


Figure 24 : Piézométrie calculée par modélisation

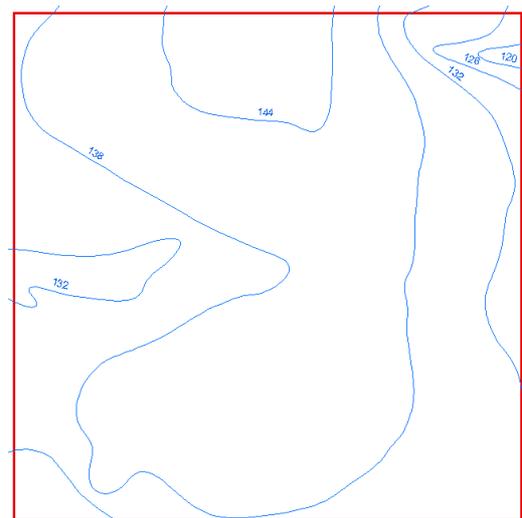


Figure 25 : Piézométrie observée

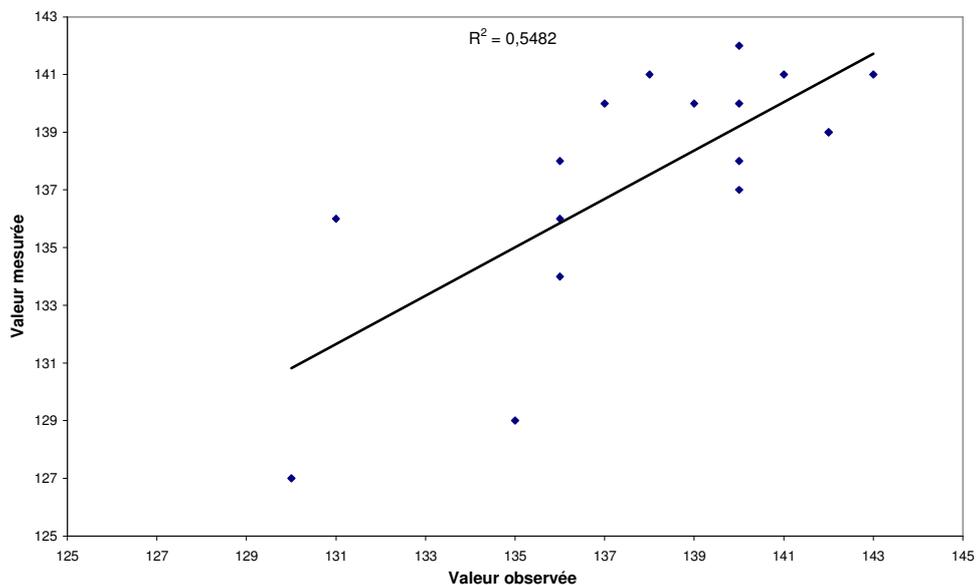


Figure 26 : Corrélation entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée

Zone Nord

Code_BSS	Commune	Lieu dit	Transmissivité en m2/s	Recharge en mm/an	Débit moyen journalier m3/h	Débit de pointe m3/h
02181X0026	Les Bréviaires	Château d'eau	0,004	100	10	20
02181X0073	Les Bréviaires	La Saradinerie			100	150
02181X0074						
02181X0075						
02174X0007	Saint Léger	Les grands Coins	0,0016		30	60
02174X0028						

Tableau 10 : Paramètres de modélisation zone Nord

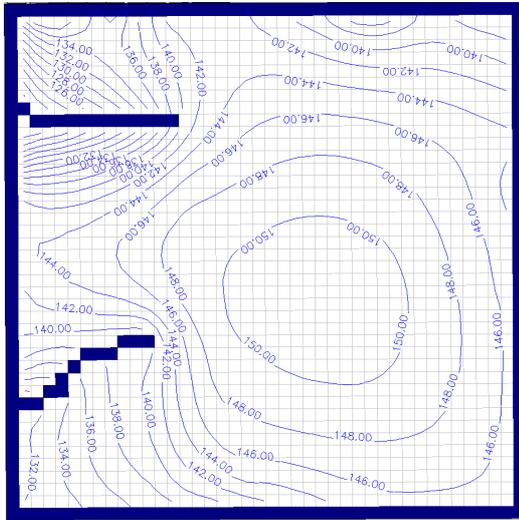


Figure 27 : Piézométrie calculée par modélisation

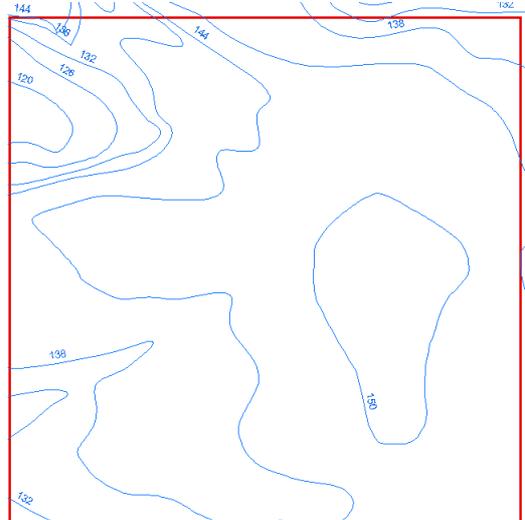


Figure 28 : Piézométrie observée

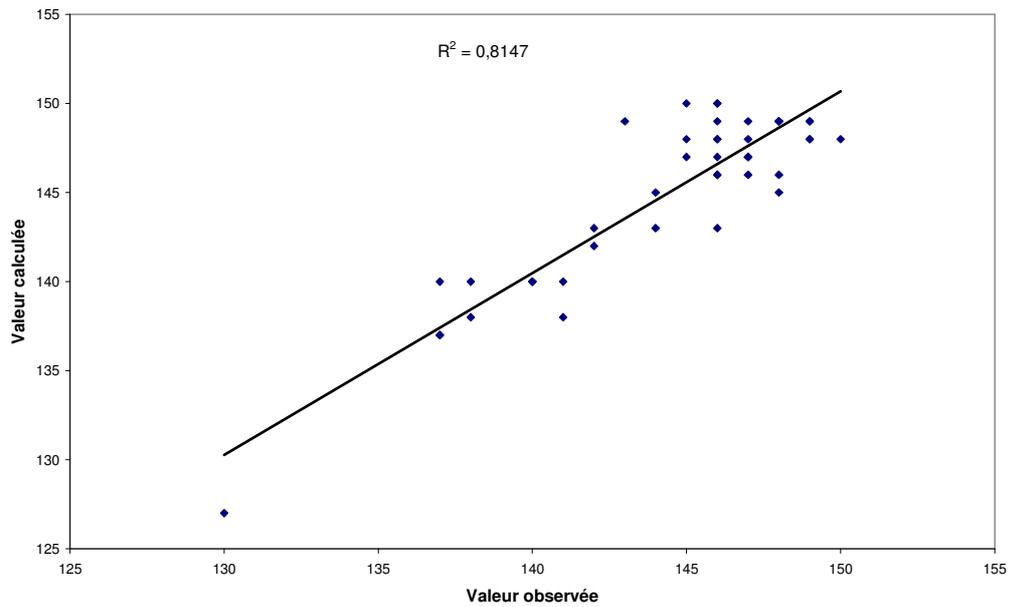


Figure 29 : Corrélation entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée

Zone Ouest

Code_BSS	Commune	Lieu dit	Transmissivité en m2/s	Recharge en mm/an	Débit moyen journalier m3/h	Débit de pointe m3/h
02177X0005	Hermeray	Château d'eau	0,003	100	10	30
02177X0027						

Tableau 11 : Paramètres de modélisation zone Ouest

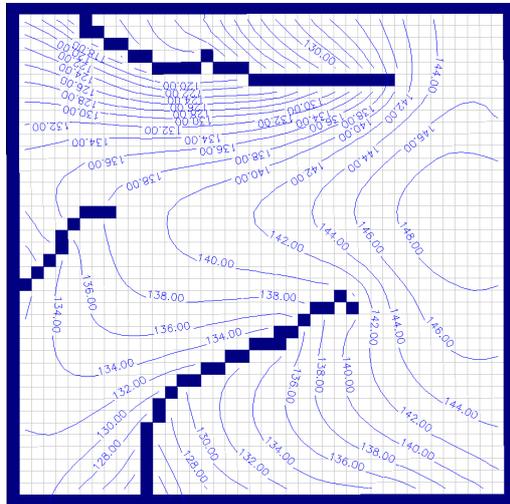


Figure 30 : Piézométrie calculée par modélisation

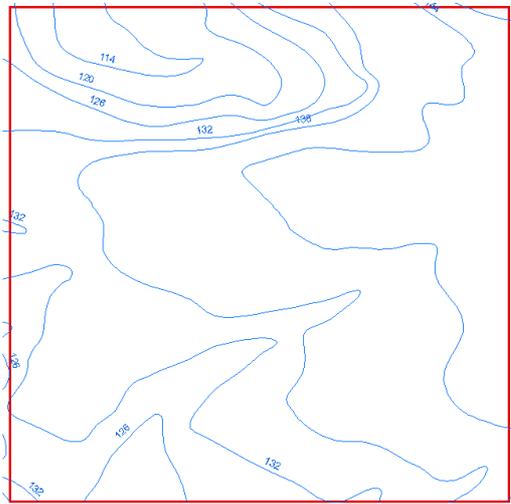


Figure 31 : Piézométrie observée

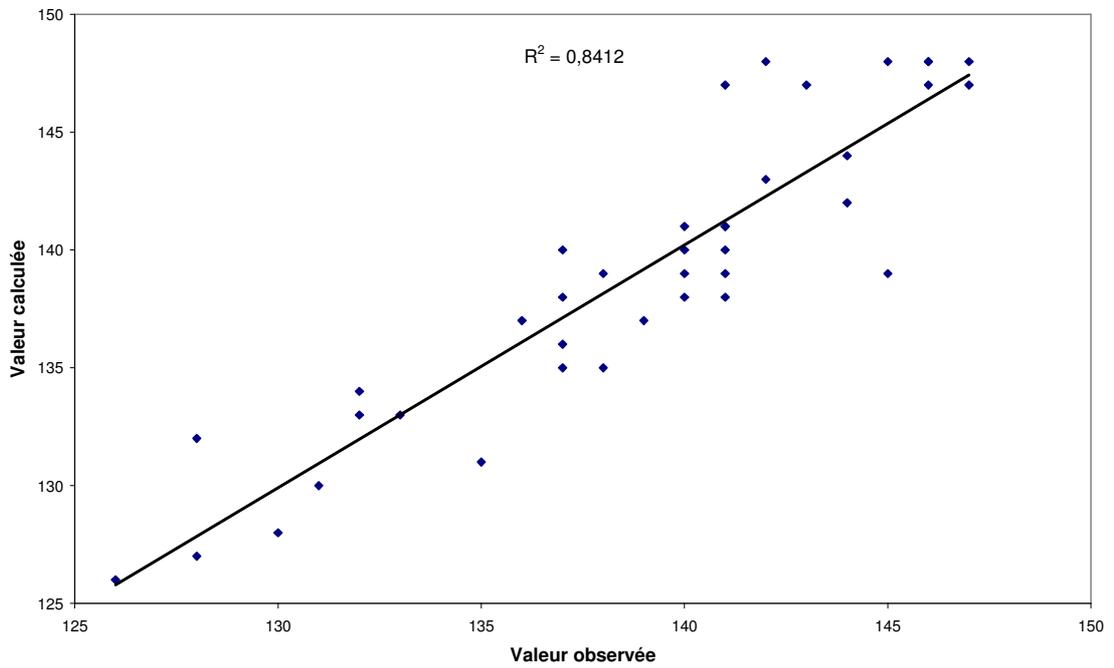


Figure 32 : Corrélation entre la piézométrie observée et la piézométrie calculée

Zone Rémarde

Code_BSS	Commune	Transmissivité en m2/s	Recharge en mm/an	Débit moyen journalier m3/h	Débit de pointe m3/h
02562X0045	St-Arnoult-en-Yvelines	0,003	100	90	100
02563X0022	Rochefort-en-Yvelines			50	70

Tableau 12: Paramètres de modélisation zone Rémarde

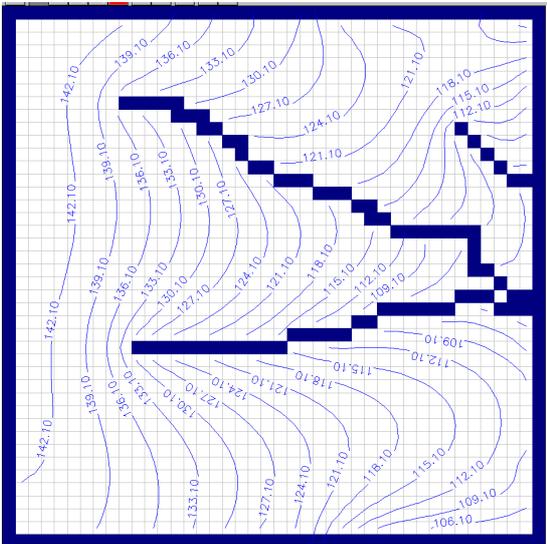


Figure 33: Piézométrie calculée par modélisation

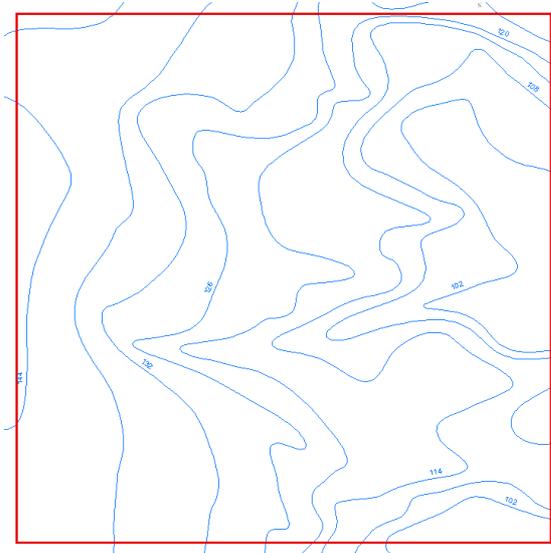


Figure 34: Piézométrie observée

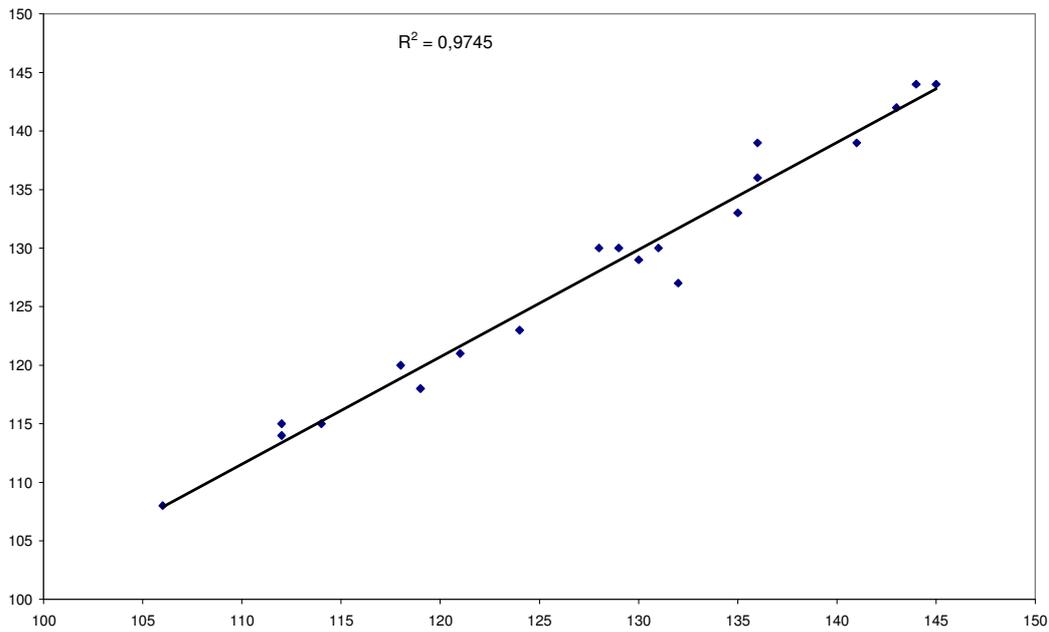


Figure 35: Corrélation entre la piézométrie calculée et la piézométrie observée

d) Résultats

Les bassins d'alimentation des captages en débit journalier et en débit de pointe, calculés par modélisation numérique sont présentés sur la figure 36.

Le bassin d'alimentation du captage 02185X0097 captant la nappe de la Craie est inclus dans le bassin d'alimentation des captages 02185X0002 et 02186X0040/42.

e) Cas de la Ville de Rambouillet

La Ville de Rambouillet compte 5 captages au total, 3 sont en actuellement en fonctionnement, et deux autres aujourd'hui non exploités mais susceptible d'être remis en marche un jour. Le bassin d'alimentation des captages de la Ville de Rambouillet (figure 37) a donc été délimité ici en prenant en compte une éventuelle remise en fonctionnement de ces deux captages.

Modèle	Code_BSS	Commune	Lieu dit	Transmissivité en m2/s	Recharge en mm/an	Débit moyen journalier m3/h	Débit de pointe m3/h
Rambouillet	02185X0055	Rambouillet	Villeneuve	0,004	155	50	60
	02185X0051		Bois des Evreuses			50	60
	02185X0003		Rue des Evreuses			80	85
	02185X0056		La Patis			40	50
	02185X0015		Rue du petit parc			40	50

Tableau 13: Paramètres de modélisation

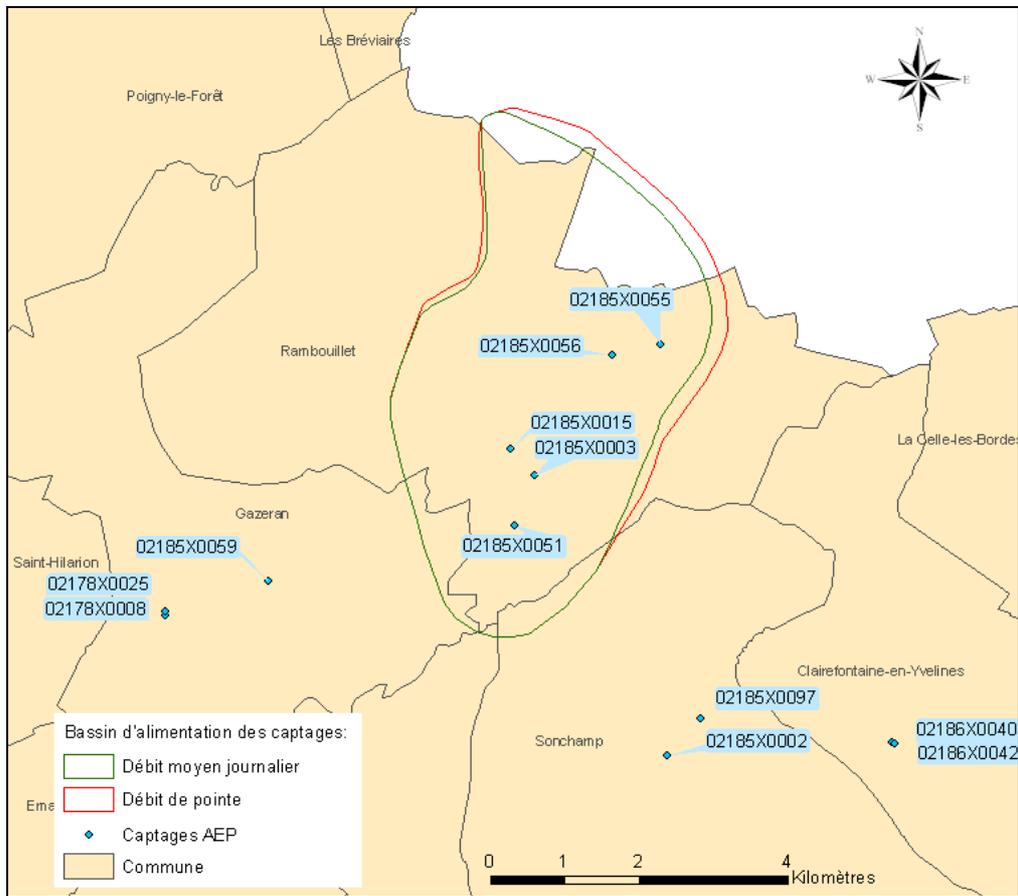


Figure 37 : Bassins d'alimentation des 5 captages de la Ville de Rambouillet

f) Conclusion

La modélisation numérique permet de considérer un contexte hydrogéologique un peu plus complexe que la méthode analytique. Un des intérêts essentiels de cette méthode est la prise en compte des interactions entre des captages proches.

Les résultats des modèles, basés sur la piézométrie hors pompage, sont dans l'ensemble satisfaisants. Les résultats obtenus, en particulier au niveau de la largeur des bassins à la hauteur des captages sont en cohérence avec ceux obtenus par méthode analytique. Les bassins d'alimentation pour chaque captage atteignent en amont une crête piézométrique.

4.2.3. Détermination des isochrones

Au sein des bassins d'alimentation précédemment définis, on peut tracer des courbes d'égal temps de transfert ou isochrones.

Le temps de transfert constitue une information très importante car il représente le temps qu'il faut à un polluant pour se déplacer du point d'entrée dans la nappe jusqu'à l'arrivée au captage (figure 38).

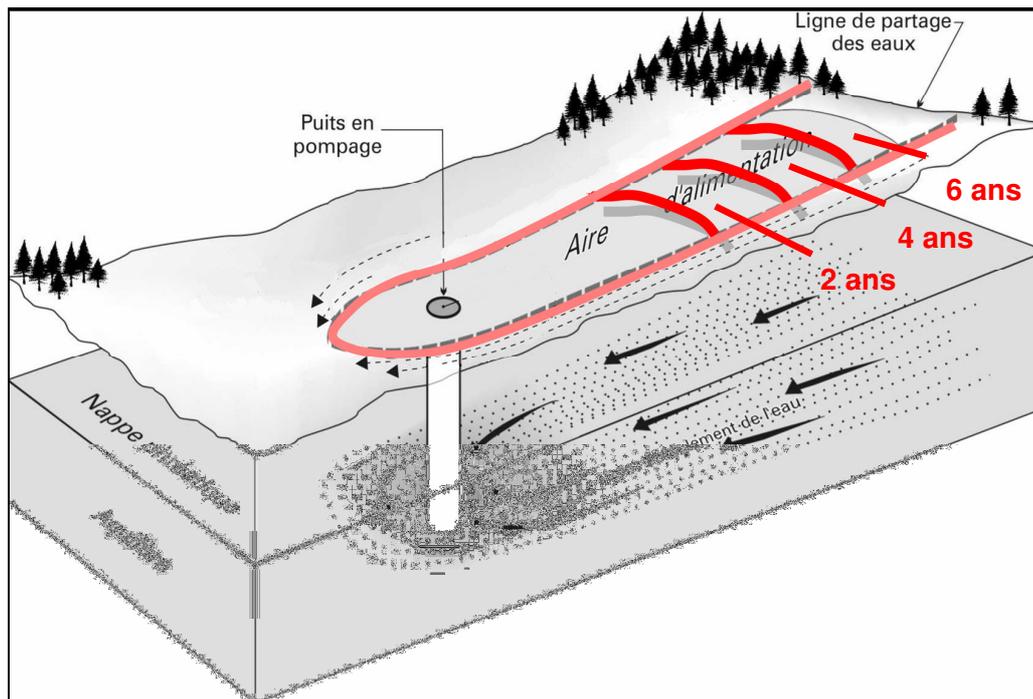


Figure 38 : Temps de transfert au sein d'un bassin d'alimentation d'un captage

Le logiciel utilisé pour délimiter les bassins d'alimentation des captages, nous a également permis de définir les courbes d'égal temps de transfert au sein de ces bassins. Les résultats (isochrones en débit de pointe) sont présentés ci-dessous (Illustration 39).

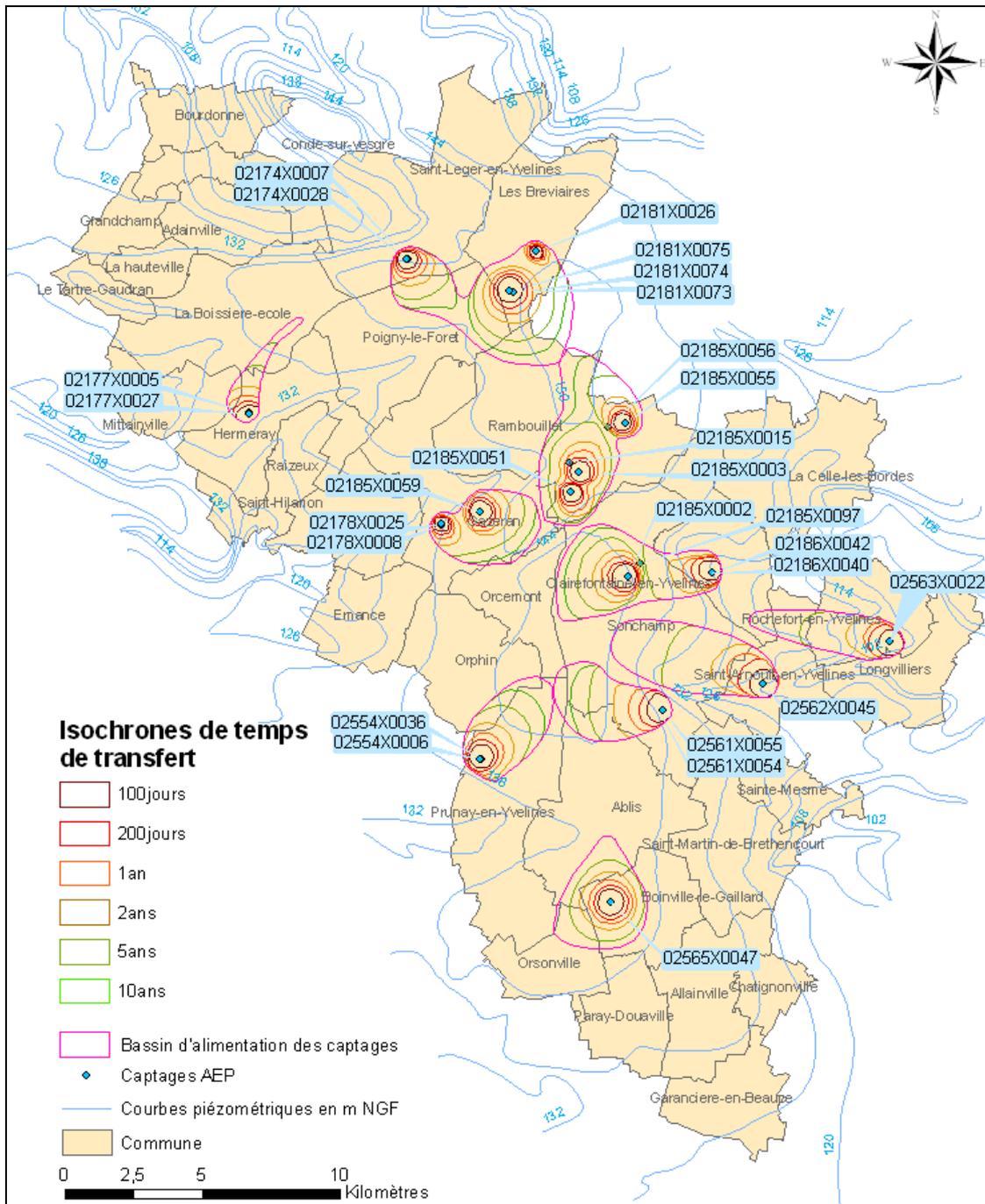


Figure 39 : Isochrones en débit de pointe pour les captages puisant la nappe des Sables de Fontainebleau

5. Vulnérabilité intrinsèque

5.1. GENERALITE

5.1.1. Notions générales

La notion de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique en relation avec la nappe d'eau souterraine procure un degré plus ou moins élevé de protection vis-à-vis des pollutions, suivant les caractéristiques de ce milieu. On distingue deux types de vulnérabilité :

- la vulnérabilité intrinsèque représentant les caractéristiques du milieu naturel (géologie, hydrogéologie, pédologie) qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines ;
- la vulnérabilité spécifique définissant la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

La distinction des deux types de vulnérabilité est nécessaire car, d'une façon générale, elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation : la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante dans le temps (à notre échelle de travail) alors que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive en fonction des pressions polluantes.

Cette étude s'attachera à cartographier la vulnérabilité intrinsèque de la nappe de l'Oligocène.

5.1.2. Méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

La méthodologie de cartographie de la vulnérabilité s'appuie sur la méthode proposée par le guide méthodologique élaboré par le BRGM en 2007 sur ce sujet (Vernoux J.F *et al.*, 2007).

La vulnérabilité est calculée par la somme pondérée de plusieurs paramètres classifiés.

Les paramètres pris en compte sont présentés ci-dessous :

- Pluie efficace, P
- Sol, S

- Infiltration efficace, I
- Epaisseur de la zone non-saturée, H
- Perméabilité de l'aquifère, K.

Cinq classes ont été retenues pour caractériser chacun des paramètres. Les valeurs attribuées à chacune des classes s'échelonnent de 0 : très favorable à la protection de l'aquifère à 4 : très défavorable.

La classification des paramètres est présentée dans le tableau ci-dessous (tableau 14).

Valeur de l'indice	Pluies efficaces P (mm)	Infiltration (IDPR) I	Epaisseur ZNS H (m)	Perméabilité K (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 – 10	$10^{-5} - 10^{-4}$
1	50 – 100	1200 – 1600	10 – 25	$10^{-7} - 10^{-5}$
0	< 50	1600 - 2000	25 - 50	$< 10^{-7}$

Tableau 14: Classification des paramètres

5.1.3. Unités fonctionnelles

La zone d'étude a été découpée en unités fonctionnelles (figure 40). On considère qu'au sein de chaque unité fonctionnelle, le comportement hydrogéologique est homogène. Elles sont définies par l'intersection de plusieurs couches d'information géographiques :

- Les limites stratigraphiques issus de la carte géologique harmonisée de l'Île-de-France (1/50 000)
- Les Unités Cartographiques de Sol (UCS) provenant du référentiel pédologique de l'Île de France (1/250 000, INRA)
- L'intersection de toutes les limites d'extension de formations géologiques issues du modèle géologique.

Chacun des paramètres de vulnérabilité sera attribuée à chaque unité fonctionnelle par une fonction d'intégration spatiale. La vulnérabilité finale sera ainsi restituée par unité fonctionnelle.

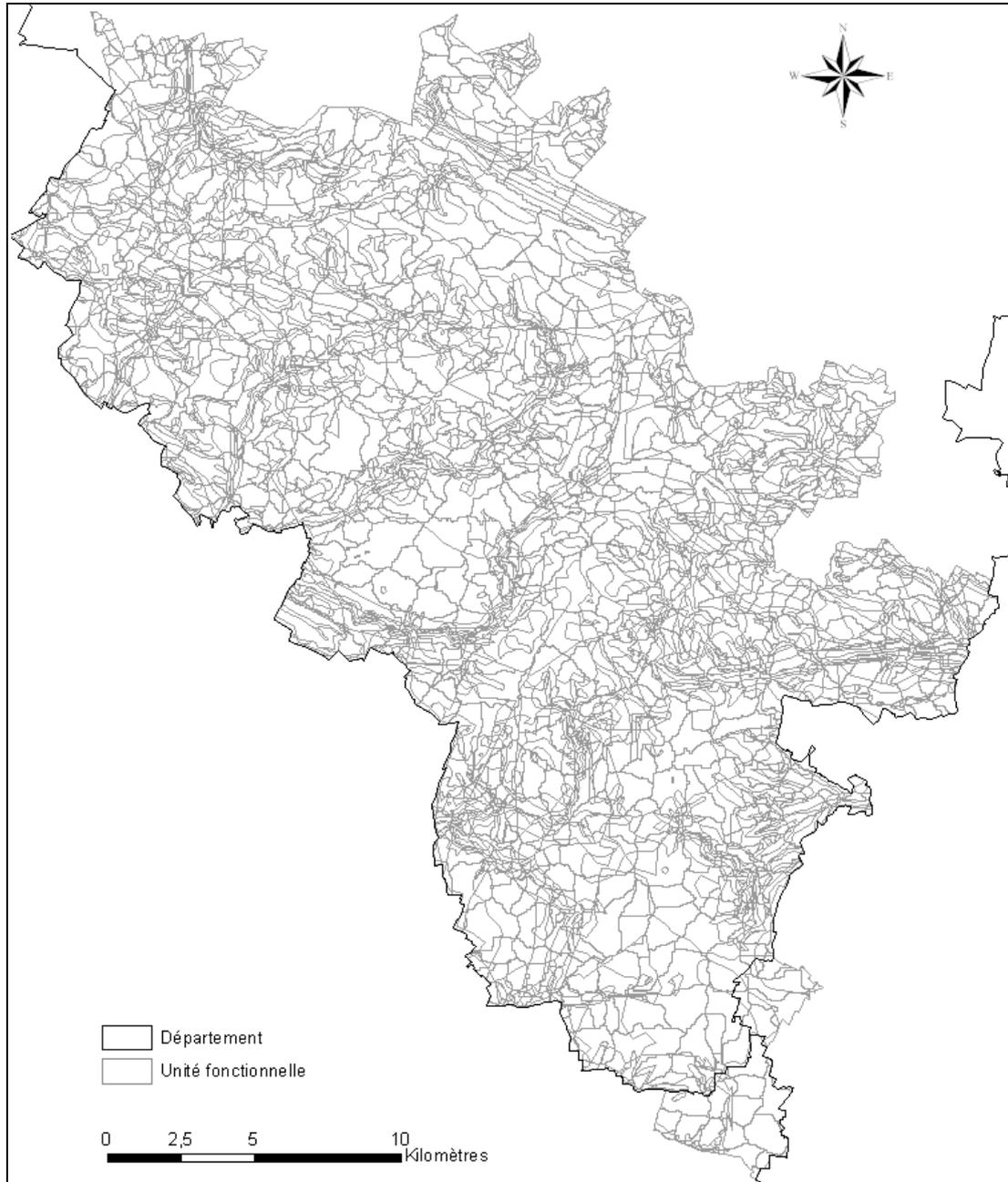


Figure 40 : Unités fonctionnelles

5.1.4. Pluie efficace : P

Il s'agit de la quantité d'eau fournie par les précipitations qui reste disponible, à la surface du sol, après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle. Elle est obtenue à partir de la pluviométrie et de l'évapotranspiration (ETP).

Compte tenu de la faible superficie de la zone d'étude, ce paramètre est difficile à discrétiser. Une valeur moyenne de 150 mm sera considérée (Valeur de l'indice de vulnérabilité = 2). Cette valeur provient des résultats des modélisations hydrologiques effectuées au cours de cette étude par le BRGM (non présentées dans ce rapport).

5.1.5. Sol : S

Les formations pédologiques peuvent constituer une couverture protectrice au-dessus des roches aquifères.

La cartographie des sols provient du Référentiel Régional Pédologique de l'Île-de-France au 1/250 000 élaborée par l'INRA. A partir de cette carte, une classification des sols est établie pour déterminer le critère S. Cette classification prend en compte trois paramètres : la texture du sol (argile, limons ou sables), la pierrosité (teneur en cailloux) et l'épaisseur du sol.

Trois classes de textures ont été retenues : dominante d'argiles, dominante de limons, dominantes de sables.

De la même façon trois classes de pierrosité ont été identifiées : 0 – 15% de cailloux, 15 – 60% de cailloux et > 60% de cailloux.

Ces deux paramètres, texture et pierrosité, ont été croisés pour déterminer la nature du sol (Tableau 15).

		Texture		
		1 (argile)	2 (limon)	3 (sable)
% Cailloux	1 (0 – 15%)	1	1	2
	2 (15 – 60%)	1	2	3
	3 (>60%)	2	3	3

Tableau 15: Détermination de la nature du sol

Celle-ci est ensuite combinée à l'épaisseur pour obtenir l'indice de vulnérabilité (tableau 16), l'indice 1 correspond au degré de protection le plus élevé.

		Nature du Sol			
		Inconnue	1	2	3
Epaisseur	1 (>100 cm)	1	1	2	3
	2 (20 – 100 cm)	2	2	3	4
	3 (0 – 20 cm)	3	3	4	4
	4 (nulle)	4	4	4	4

Tableau 16: Détermination de l'indice de vulnérabilité du sol

La classification du critère Sol obtenue est présentée dans la figure 41.

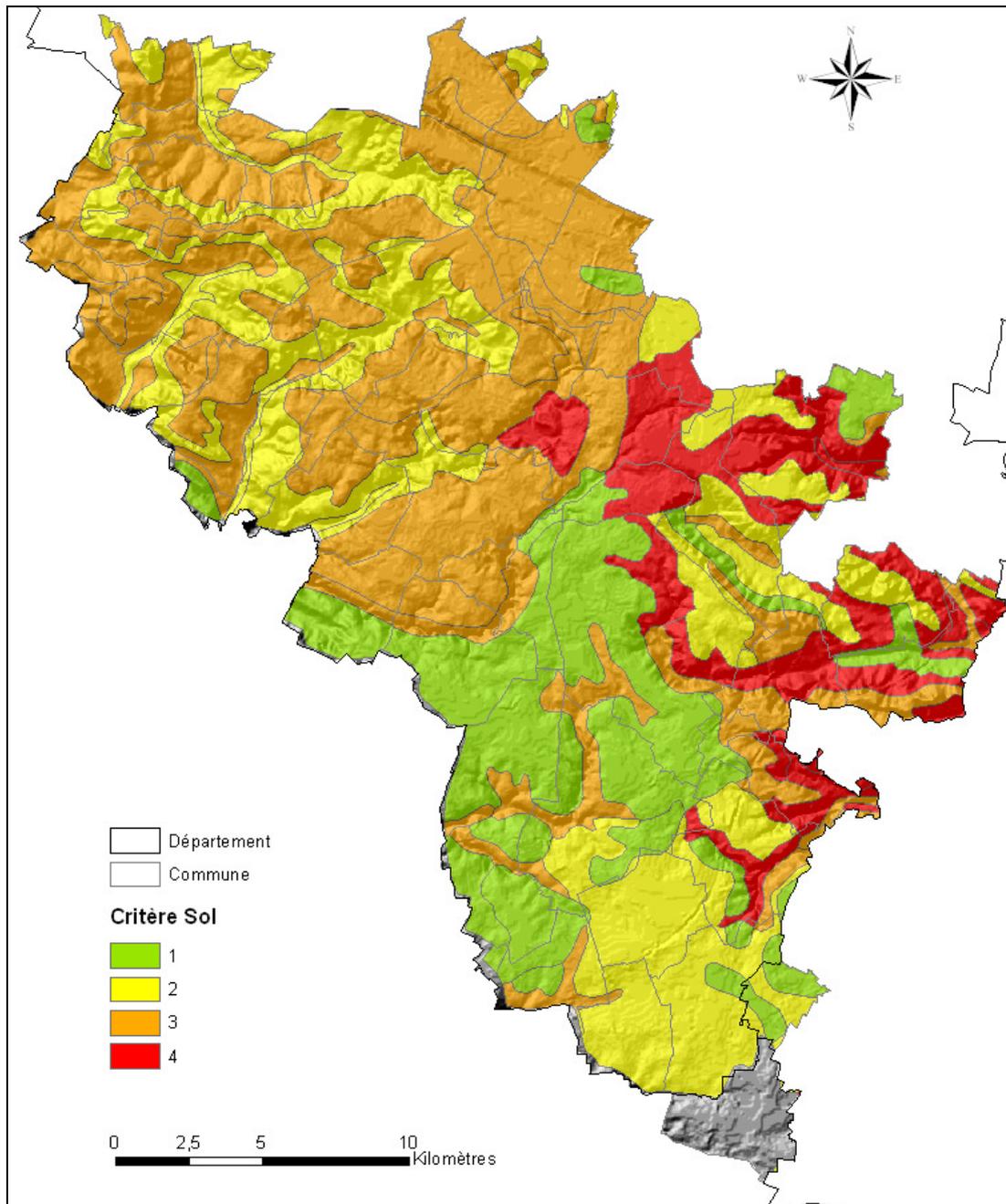


Figure 41 : Critère Sol

5.1.6. Infiltration efficace, I

a. Définition de l'IDPR

L'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux décrit l'aptitude des terrains à privilégier l'infiltration ou le ruissellement des eaux météoriques. Il repose sur l'idée que l'organisation du réseau hydrographique dépend des formations géologiques qui le supportent.

Dans l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène, seules la pente et la morphologie des reliefs guident la mise en place des cours d'eau. Or, dans le milieu naturel, les structures géologiques et la composition lithologique du sous-sol ont une influence significative sur l'établissement des réseaux hydrographiques.

En effet, la nature des surfaces des bassins a un rôle primordial sur le comportement hydrologique de ceux-ci. Les paramètres qui interviennent sont la lithologie, la pédologie et la couverture végétale. Ces paramètres influencent grandement la perméabilité et la rugosité de la surface, qui conditionnent à leur tour la vitesse du ruissellement et le rapport de l'écoulement sur l'infiltration, appelé aussi coefficient d'écoulement.

L'IDPR devient ainsi le moyen de quantifier ce rôle en comparant un réseau théorique établi selon l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène (*indice de développement ID*), au réseau naturel mis en place sous le contrôle d'un contexte géologique hétérogène (*persistance des réseaux PR*).

L'indice de développement et de persistance des réseaux présente une métrologie de l'écart constaté entre les deux réseaux (Carte de vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines du Bassin Seine-Normandie BRGM/RP-54148-FR, Octobre 2005).

b. Calcul de l'IDPR

L'IDPR met en évidence les différences observées entre un réseau théorique des écoulements d'eau de surface et le réseau hydrologique naturel effectivement développé.

Calculé à partir de l'analyse du modèle numérique de terrain (surface topographique) au pas de 50 m, le réseau théorique des écoulements est fondé sur l'analyse des talwegs. Il suppose une lame d'eau météorique et un récepteur imperméable homogène. Le réseau hydrographique naturel est issu des données de la BD Carthage (IGN).

Une nouvelle version de l'IDPR, développé par le BRGM, intégrant la pente dans le calcul, a été utilisée pour cette étude. En un point donné du secteur d'étude, l'indice est calculé par une relation de proportionnalité avec le rapport de la distance de ce point au réseau théorique à la distance de ce point au réseau réel :

$$I = 1000 \cdot \frac{Dr_{th}}{D_{rr}}$$

Les deux distances (distance du réseau théorique (Dr_{th}) et distance du réseau réel (D_{rr})) sont pondérées par la pente au moment de leur calcul. Ce système permet de contraster les valeurs d'IDPR en fonction de la topographie. En effet, les zones de versants ont une plus grande influence sur le ruissellement que les zones de plaines et *a contrario* les plaines ont tendance à privilégier l'infiltration par rapport aux versants.

L'IDPR varie selon une échelle comprise entre 0 et n (n étant arbitrairement limité à 2000 par souci de simplification du critère). Il est inférieur à 1000 quand le réseau théorique n'est pas recoupé par le réseau réel, ce qui indique une zone d'infiltration majoritaire. Inversement, quand le réseau réel est plus dense que le réseau théorique, il s'agit d'une zone de ruissellement majoritaire (Tableau 17).

IDPR	Interprétation	
<1000	Infiltration majoritaire par rapport au ruissellement superficiel	Il y a non-conformité entre la disponibilité des axes de drainage liés aux talwegs et les axes hydrologiques observés. L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint un axe de drainage défini par l'analyse des talwegs sans que celui-ci se concrétise par l'apparition d'un axe hydrologique naturel. Développement d'un réseau de talweg de densité supérieure à l'expression du réseau de drainage naturel.
=1000	Infiltration et ruissellement superficiel de même importance	Il y a conformité entre la disponibilité des axes de drainage liés au talweg et les axes hydrologiques en place.
>1000	Ruissellement superficiel majoritaire par rapport à l'infiltration vers le milieu souterrain	L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint très rapidement un axe hydrologique naturel sans que la présence de celui-ci soit directement justifiée par un talweg. Le réseau de drainage naturel est de densité supérieure à celui du réseau des talwegs.
≥2000	Majoritairement assimilable à des milieux humides	Un IDPR supérieur ou égal à 2000 traduit une stagnation permanente ou transitoire des eaux, menant à deux interprétations différentes. Quand la ZNS est faible, par exemple au niveau des cours d'eau et des zones humides, l'eau ne s'infiltré pas car le terrain est saturé. Dans le cas d'un ZNS plus importante, le refus d'infiltration semble montrer une imperméabilité des terrains naturels.

Tableau 17: Valeurs de l'IDPR (Carte de vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines du bassin Seine-Normandie BRGM/RP-54148-FR Octobre 2005)

Les valeurs d'IDPR sont classées (figure 42) selon la classification du tableau 14.

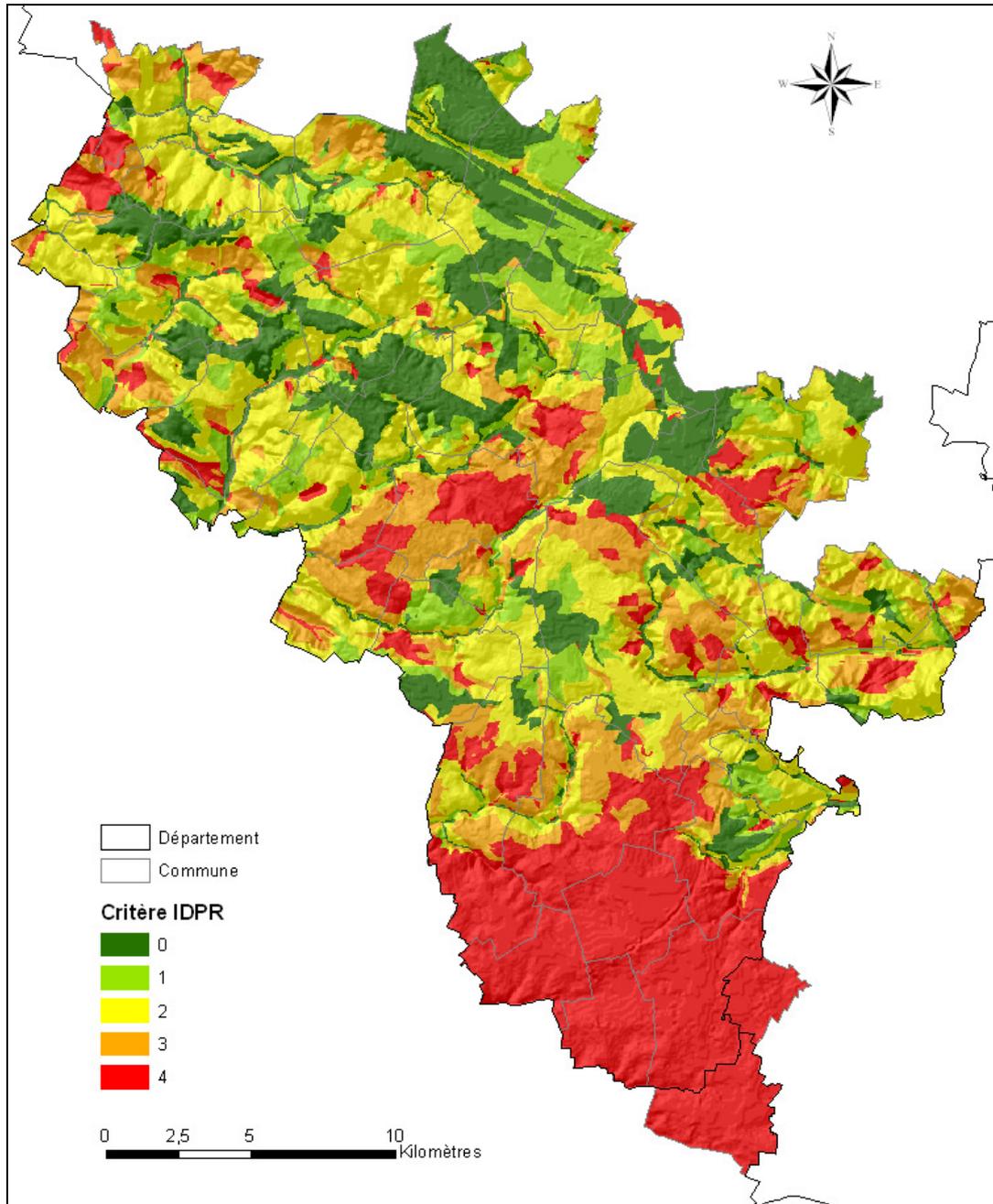


Figure 42 : Critère IDPR

c. Analyse de l'IDPR

La carte de l'IDPR (figure 42) fait ressortir une zone d'infiltration majeure au sud de la zone. Ce secteur correspond au plateau de Beauce, où les calcaires perméables de Beauce et d'Etampes sont dissimulés sous les limons de plateaux.

Une autre zone s'étendant de Rambouillet à Emancé, où ces calcaires affleurent, se distingue également par un degré d'infiltration important.

Sur le reste de la zone d'étude, les valeurs de l'IDPR se répartissent de façon plus ou moins homogène entre des terrains où le ruissellement et l'infiltration sont d'égale importance et des terrains où le ruissellement est majoritaire.

5.1.7. Epaisseur de la zone non saturée

L'épaisseur de la zone non saturée est obtenue par différence entre la surface topographique (Modèle Numérique de Terrain) et la surface piézométrique (figure 43).

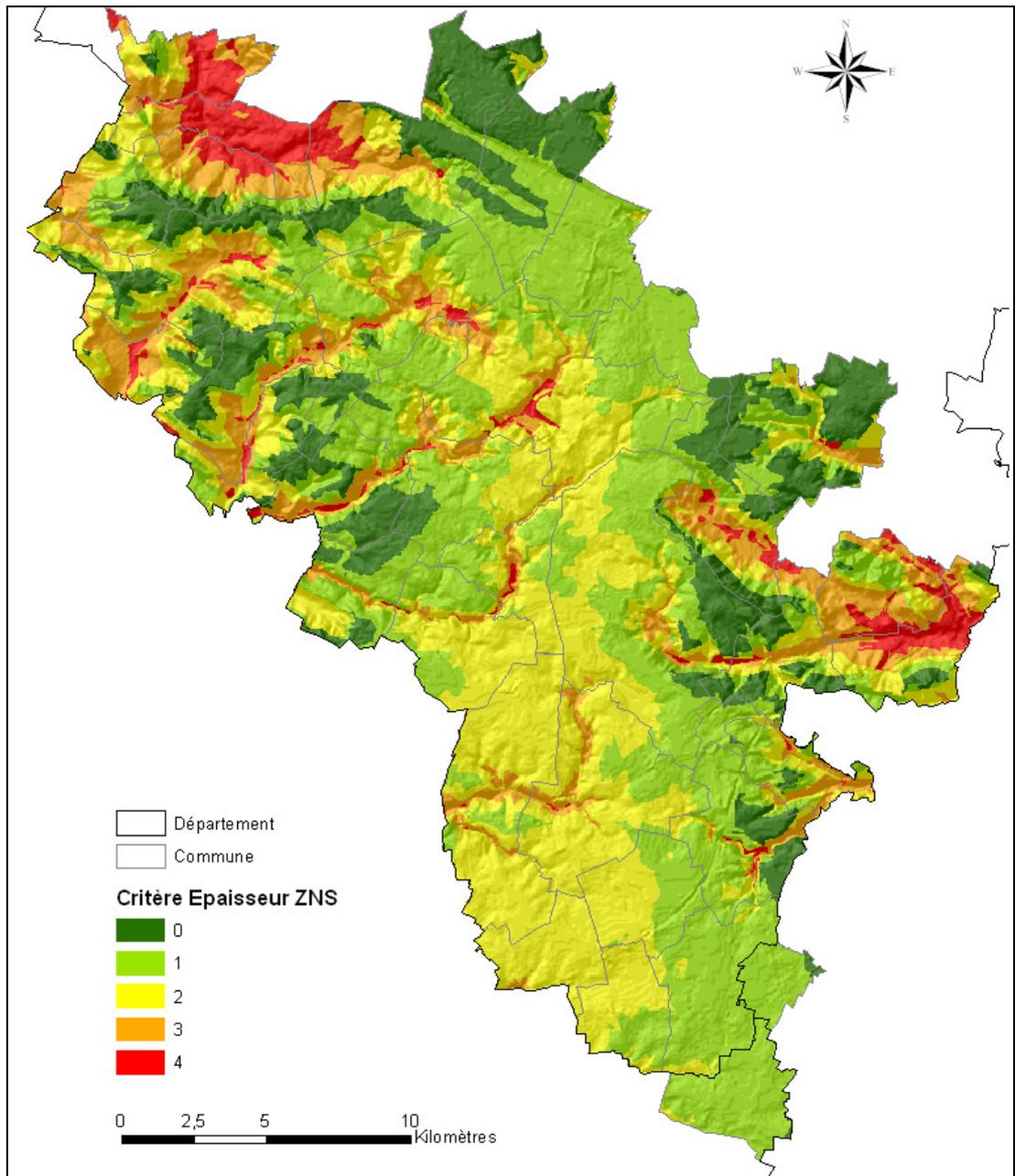


Figure 43 : Critère Epaisseur de la Zone Non Saturée

5.1.8. Perméabilité de l'aquifère, K

Ce paramètre rend compte de la capacité de l'aquifère à laisser circuler l'eau. Ce paramètre est intégré dans la mesure où l'enjeu considéré est la qualité de l'eau pompée au niveau de l'ouvrage. Plus l'aquifère est perméable, et plus le temps mis par un polluant pour atteindre le captage, sera court. De fait, cela suppose un écoulement dans l'aquifère. Les valeurs de perméabilité sont issues des essais de pompage effectués dans les différents captages AEP du secteur. Ces valeurs sont toutes de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-4} m/s, la valeur de l'indice de vulnérabilité est donc de 2 (cf. tableau 14).

5.1.9. Calcul de la vulnérabilité

Chacun des paramètres (pluie efficace, sol, infiltration, épaisseur de la ZNS, perméabilité de l'aquifère) a ainsi été rangé en 5 classes. Les paramètres sont ensuite affectés d'un poids, la somme des poids étant égale à 1 (tableau 18).

Paramètres	Abréviation	Poids (%)
Pluie efficace	P	10
Sol	S	25
Infiltration (IDPR)	I	30
Epaisseur ZNS	H	20
Perméabilité de l'aquifère	K	15
Total		100

Tableau 18: Poids affectés à chaque paramètre

En se basant sur cette pondération le calcul de la vulnérabilité s'établit selon la formule suivante :

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

Les poids les plus forts sont attachés aux critères sol et infiltration ; c'est la capacité du milieu à empêcher le polluant d'atteindre la nappe.

La valeur finale de vulnérabilité varie de 0 (vulnérabilité minimale) à 4 (vulnérabilité maximale) (Tableau 19).

Valeur de l'indice global de vulnérabilité	Classe	Vulnérabilité
3,2 – 4	4	Très élevée
2,4 – 3,19	3	Elévée
1,6 – 2,39	2	Modérée
0,8 – 1,59	1	Faible
0 – 0,79	0	Très faible

Tableau 19 : Classes de vulnérabilité

La carte de vulnérabilité de la zone d'étude est présentée dans la figure 44.

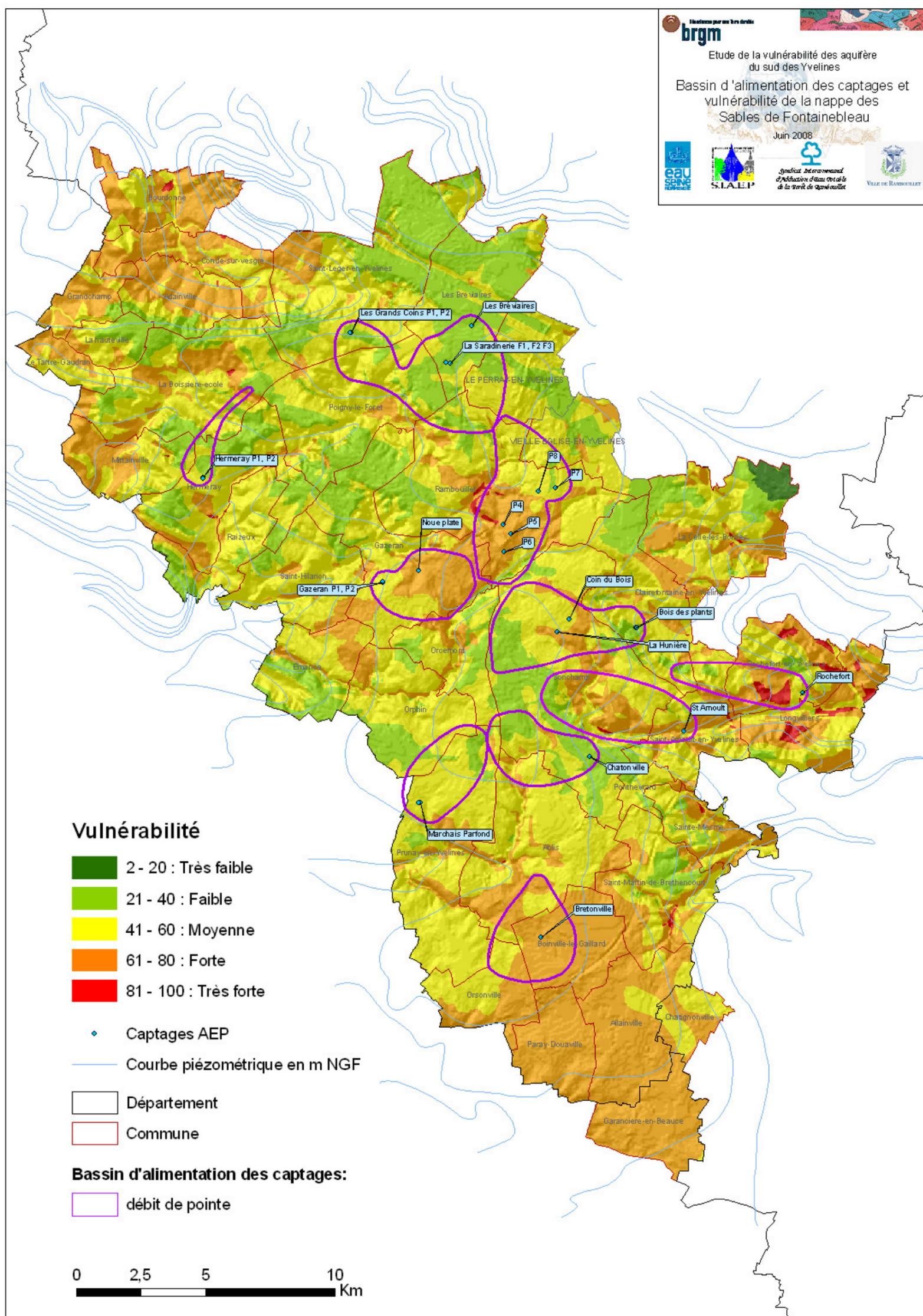


Figure 44 : Carte de vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines et bassins d'alimentation des captages

6. Conclusions

Cette étude des bassins d'alimentation des captages du sud des Yvelines a pour but de conduire à une gestion raisonnée de la ressource en eau et de la préserver des risques de pollutions.

Un modèle géologique a été effectué au moyen du logiciel GDM (développé par le BRGM) permettant ainsi de cartographier l'extension et l'épaisseur des formations aquifères.

Les bassins d'alimentation des captages ont été délimités dans un premier temps par simple méthode analytique, puis dans un second temps par une modélisation numérique, en utilisant la carte piézométrique des Sables de Fontainebleau.

La vulnérabilité des eaux souterraines est une propriété relative, non-mesurable et sans dimension. Sa détermination est basée sur le choix des critères et du poids qui leurs sont attribués. Les critères pris en compte pour la cartographie de la vulnérabilité sont : la pluie efficace, le sol, l'infiltration, l'épaisseur de la zone non saturée, la perméabilité de l'aquifère.

La carte de vulnérabilité obtenue fait ressortir des zones de vulnérabilité élevées au sud de la zone et au niveau des communes de Gazeran et Rambouillet, où le calcaire d'Etampes est affleurant.

La superposition des bassins d'alimentation des captages à la carte de vulnérabilité permet d'identifier les zones les plus sensibles.

A partir de cette carte de vulnérabilité et de l'inventaire des pressions polluantes, une carte d'aléa sera élaborée, afin d'identifier les zones où des actions doivent être menées en priorité.

7. Bibliographie

Bariteau, A. et Thiry, M. (2001). Analyse et simulation des transferts géochimiques au sein d'un aquifère : la nappe de Beauce et l'altération des Sables de Fontainebleau. Bulletin de la Société Géologique de France, 172(3) : 367-381.

Bear J., Jacobs M. (1965).- On the movement of water bodies injected into aquifers.- J. Hydrology, n°1-3, pp. 37-57.

Bussard T., (2005) Méthode de dimensionnement des zones de protection des captages d'eaux souterraines contre les polluants chimiques persistants, Thèse Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 160 p.

Carte de vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines du Bassin Seine-Normandie BRGM/RP-54148-FR, Octobre 2005

Castany G., Margat J. (1977).- Dictionnaire français d'hydrogéologie – BRGM.

Lallemand-Barrès A., Roux J.C., 1999, Manuels et méthodes n°33, Edition du BRGM : Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine, 324 p.

Mégny C., (1979). Hydrogéologie du centre du bassin de Paris. BRGM, Orléans, 532p.

Schneider V., (2005) Apport de l'hydrodynamique et de la géochimie à la caractérisation des nappes de l'Oligocène et de l'Eocène, et à la reconnaissance de leurs relations actuelles et passées : origine de la dégradation de la nappe de l'Oligocène (sud ouest du Bassin de Paris), Thèse Université Paris-Sud, U.F.R Scientifique d'Orsay, 360p.

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



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