

Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdelot (77)

CONSULTING

SAFEGE
Parc de L'Ile
15-27, Rue du Port
92022 NANTERRE cedex

Océans, Fleuves et Ressources

SAFEGE SAS - SIÈGE SOCIAL
Parc de l'Ile - 15/27 rue du Port
92022 NANTERRE CEDEX
www.safege.com

Version : 3

08/08/2018

Chef de projet : Jean-Philippe RIZZA

Projet : 16DRE030

Numéro du projet : 16DRE030

Intitulé du projet : Délimitation de l’aire d’alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque | Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdolot (77)

Intitulé du document : Rapport intermédiaire de délimitation provisoire de l’aire d’alimentation de captage

Version	Rédacteur NOM / Prénom	Vérificateur NOM / Prénom	Date d’envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
1	MUNOZ Anthony	RIZZA Philippe Jean-	13/01/2017	Version provisoire présentée en comité de pilotage n°2
2	MARIE Louison	RIZZA Philippe Jean-	29/05/2018	Version provisoire présentée en comité de pilotage n°3
3	MARIE Louison	RIZZA Philippe Jean-	08/08/2018	Version définitive

Sommaire

1.....	Préambule.....	7
1.1	Enjeux	7
1.2	Contexte général de la zone d'étude	7
1.3	Méthodologie.....	11
2.....	Bibliographie	15
3.....	Contexte des captages.....	17
3.1	Cas du forage Le Mont	17
3.2	Cas du forage Basse Croix	24
4.....	Caractérisation du système aquifère concerné.....	35
4.1	Contexte géologique	35
4.2	Contexte hydrogéologique	45
4.3	Pluie efficace ou drainance	53
4.4	Qualité des eaux	54
4.5	Vulnérabilité de la ressource.....	60
4.6	Typologie du système aquifère	62
5.....	Délimitation de l'aire d'alimentation de captage.....	65
5.1	Méthodologie, cas d'un système aquifère continu	65
5.2	Bilan hydrologique simplifié.....	65
5.3	Zone d'appel.....	65
5.4	Contours de la portion de nappe alimentant les captages.....	69
5.5	Délimitation de l'aire d'alimentation des captages	71
5.6	Schéma de fonctionnement hydrogéologique	76
6.....	Etude pédologique	77
6.1	Méthodologie.....	77
6.2	Description des sols.....	78

7.....	Cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation de captage – Méthodologie eaux souterraines.....	83
7.1	Méthodologie.....	83
7.2	Paramètres	85
7.3	Carte de vulnérabilité intrinsèque.....	97
8.....	Calcul de la vulnérabilité intrinsèque de l'aire d'alimentation des captages – Méthodologie eaux superficielles	99
8.1	Méthodologie du calcul de la vulnérabilité	99
8.2	Paramètres utilisés	100
8.3	Vulnérabilité intrinsèque de la ressource « Vr »	115
8.4	Vulnérabilité intrinsèque du captage « Vc »	117
9.....	Conclusions.....	121

Tables des illustrations

Figure 1 : Localisation de la commune de Verdelot et des 2 forages (Source : IGN)	8
Figure 2 : Profils altimétriques Nord-Sud (en haut) et Ouest-Est (en bas) de la commune de Verdelot (Source : Géoportail)	9
Figure 3 : Bassin versant du Petit Morin à l'amont des forages de la commune de Verdelot (Source : IGN, Google Physical)	10
Figure 4 : Coupe technique et géologique du forage Le Mont (source : Infoterre).....	17
Figure 5 : Prélèvements du forage Le Mont entre 2005 et 2015 (Source : SNE77, 2016).....	18
Figure 6 : Évolution du volume journalier mis en distribution en 2013	19
Figure 7 : Plan de situation de l'unité de distribution F (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)	20
Figure 8 : Réseau de l'unité de distribution F (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)	21
Figure 9 : Localisation des secteurs de l'unité de distribution F (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015).....	22
Figure 10 : Synoptique de l'unité de distribution F (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015).....	23
Figure 11 : Coupe technique et géologique du forage Basse Croix (source : Safège)	24
Figure 12 : Délimitation des périmètres de protection du forage Basse Croix (Source : AP DUP, 1994).....	25
Figure 13 : Prélèvements du forage du Basse Croix entre 2005 et 2015 (Source : SNE77, 2016).....	25
Figure 14 : Plan de situation de l'unité de distribution H (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015).....	26
Figure 15 : Réseau de l'unité de distribution H (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015).....	27
Figure 16 : Localisation des secteurs de l'unité de distribution H (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015).....	28
Figure 17 : Synoptique de l'unité de distribution H (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)	29
Figure 18 : Plan de situation de l'unité de distribution G (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015).....	30
Figure 19 : Réseau de l'unité de distribution G (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015).....	31
Figure 20 : Localisation des secteurs de l'unité de distribution G (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)	32
Figure 21 : Synoptique de l'unité de distribution G (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)	33
Figure 22 : Contexte géologique de la commune de Verdelot (Source : BRGM).....	37
Figure 23 : Série Lithostratigraphie de la région Ile-de-France (Source : BRGM/RP-53306-FR, 2004)	38
Figure 24 : Coupe géologique synthétique du secteur d'étude	39
Figure 25 : - Coupe géologique synthétique du Lutétien du Bassin parisien (Source : Jean-Pierre Gély, 2009)	40
Figure 26 : Carte d'extension actuelle des formations du Lutétien dans le Bassin parisien (Source : Jean-Pierre Gély, 2009)	41
Figure 27 : Coupe géologique schématique (Source : Rapport BRGM 64-DSGR-A-028, 1964)	42
Figure 28 : Structure du contact du Lutétien et de l'Yprésien (Source : Mégnien, 1979)	43
Figure 29 : Contexte géologique du bassin versant du Petit Morin à l'amont des forages de la commune de Verdelot (Source : BDcarthage, BRGM BDLISA).....	44
Figure 30 : Echelle stratigraphique et aquifère du Bassin parisien. (Source : BRGM/RP-53306-FR, 2004))	46
Figure 31 : Coupe hydrogéologique synthétique du secteur d'étude	47
Figure 32 : Carte générale de la nappe du Lutétien-Yprésien, de 1970 à 1972 (Source : Cl. Mégnien, Atlas des aquifères du bassin parisien, 1976).....	49
Figure 33 : Carte de la nappe de l'Éocène inférieur dans le secteur de la Brie, année 1974 (Source : Cl. Mégnien, Atlas des aquifères du bassin parisien, 1979)	50
Figure 34 : Carte piézométrique de l'aquifère du Lutétien basses eaux 2013 (Source : RP-64887-FR, 2015)	51
Figure 35 : Carte piézométrique de l'aquifère du Lutétien hautes eaux 2014 (Source : RP-64887-FR, 2015).....	51
Figure 36 : Bilan en Mm3.an-1 sur l'ensemble de la zone d'étude entre 1971 et 2011. (Source : S. Bellier, 2013)	54
Figure 37 : Evolution des températures des eaux brutes des forages (Source : ADES).....	55
Figure 38 : Evolution de la conductivité des eaux brutes des forages (Source : ADES).....	56
Figure 39 : Evolution des teneurs en turbidité des eaux brutes des forages (Source : ADES)	56
Figure 40 : Evolution de la minéralisation et des ions majeurs des eaux brutes des forages (Source : ADES)	57
Figure 41 : Evolution* des teneurs en nitrates des eaux brutes des forages (Source : ADES).....	58
Figure 42 : Evolution des teneurs en Atrazine des eaux brutes des forages (Source : ADES).....	59
Figure 43 : Evolution des teneurs en Déséthyl Atrazine des eaux brutes des forages (Source : ADES)	59
Figure 44 : Evolution des teneurs en Sélénium des eaux brutes des forages (Source : ADES)	60
Figure 45 : Carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Seine-Normandie (Source : BRGM)	61
Figure 46 : Illustration des paramètres de la méthode de Wyssling (Source : BRGM)	66

Figure 47 : Délimitation des zones d'appel des forages (Source : IGN, BRGM RP-64887-FR).....	67
Figure 48 : Délimitation de la portion de nappe alimentant les forages (Source : IGN, BRGM RP-64887-FR)	70
Figure 49 : Bassin versant hydrogéologique étendu au bassin versant topographique (Source : IGN, BRGM)	74
Figure 50 : Délimitation de l'aire d'alimentation des captages de Verdelot étendue au bassin versant du Petit Morin (source : Suez Consulting 2018)	75
Figure 51 : Schéma de fonctionnement hydrogéologique des forages de Verdelot (Source : SAFEGE)	76
Figure 52 : Mode de circulation des eaux (CORPEN)	78
Figure 53 : Carte des sols (Suez Consulting, 2018)	81
Figure 54 : Carte du paramètre P, pluie efficace (Suez Consulting, 2018).....	86
Figure 55 : Carte du paramètre S, sensibilité au lessivage (Suez Consulting, 2018)	89
Figure 56 : Carte du paramètre IDPR, sensibilité à l'infiltration (Suez Consulting, 2018)	91
Figure 57 : Carte du paramètre HZNS, épaisseur de la zone non saturée (Suez Consulting, 2018)	93
Figure 58 : Carte du paramètre KZS, perméabilité de la zone saturée (Suez Consulting, 2018).....	95
Figure 59 : Carte de la vulnérabilité intrinsèque selon la méthode DRASTIC (Suez Consulting, 2018).....	98
Figure 60 : Carte du paramètre D : accessibilité du milieu aquatique	101
Figure 61 : Carte du paramètre IDPR : indice de persistance et de développement des réseaux	103
Figure 62 : Association d'un indice de battance à partir de la texture du sol	104
Figure 63 : Carte du paramètre IB : indice de battance	105
Figure 64 : Carte du paramètre Os : occupation des sols	107
Figure 65 : Carte du paramètre K.....	108
Figure 66 : Carte du paramètre Pi : intensité des pentes.....	110
Figure 67 : Carte du paramètre Pc : courbure des pentes	111
Figure 68 : Carte du paramètre P.....	112
Figure 69 : Carte du paramètre R : érosivité des pluies.....	114
Figure 70 : Carte du paramètre Vr : vulnérabilité de la ressource	116
Figure 71 : Carte du paramètre Dc : distance au captage	118
Figure 72 : Carte du paramètre Vc « vulnérabilité du captage » calculé à partir du paramètre Dc	119

Table des tableaux

Tableau 1 : Fiche des forages de Verdelot (Source : Infoterre)	7
Tableau 2 : Tableau d'aide à la caractérisation des systèmes aquifères (source du BRGM)	12
Tableau 3 : Informations nécessaires pour la caractérisation d'un système aquifère (source adaptée du BRGM)	13
Tableau 4 : Contexte géologique général.....	35
Tableau 5 : Essai de pompage par paliers suite à la création de l'ouvrage (1992).....	52
Tableau 6 : Essai de pompage par paliers suite à la création de l'ouvrage (1992).....	52
Tableau 7 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère	53
Tableau 8 : Tableau d'aide à la caractérisation des systèmes aquifères (source du BRGM)	63
Tableau 9 : Caractéristiques de la zone d'appel des captages selon la méthode de Wyssling	66
Tableau 10 : Sols présents sur l'aire d'alimentation.....	80
Tableau 11 : Démarche méthodologique de l'étude BAC (BRGM, 2007).....	83
Tableau 12 : Paramètres de la méthode utilisée	84
Tableau 13 : Répartition des notes P sur l'aire d'alimentation	85
Tableau 14 : Détermination de la nature d'un sol en fonction de sa texture et de sa proportion de cailloux (Source : Vernoux et al. (2014), Délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses).....	87
Tableau 15 : Indexation du critère S par croisement de la nature du sol et de son épaisseur (Source : Vernoux et al. (2014), Délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses)	87
Tableau 16 : Répartition des notes S sur l'aire d'alimentation	88
Tableau 17 : Répartition de la sensibilité à l'infiltration sur l'aire d'alimentation	90
Tableau 18 : Répartition de la note de vulnérabilité pour l'épaisseur de zone non saturée par aire d'alimentation.....	92
Tableau 19 : Répartition de la note de vulnérabilité vis-à-vis de la perméabilité de la zone saturée par aire d'alimentation	94

Tableau 20 : Répartition de la note de vulnérabilité intrinsèque sur l'aire d'alimentation.....	97
Tableau 21 : Paramètres utilisés pour le calcul de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource (Douay, Lardieg, 2010) 99	
Tableau 22 : Classes du paramètre D : accessibilité du milieu aquatique (Douay, Lardieg, 2010).....	100
Tableau 23 : Classes du paramètre IDPR : Indice de persistance et de développement des réseaux (Douay, Lardieg, 2010)	102
Tableau 24 : Classes des indices de battances « IB » (Douay, Lardieg, 2010).....	104
Tableau 25 : Classes du paramètre "Os" : Occupation des sols	106
Tableau 26 : Classes des indices de vulnérabilité « K » (Douay, Lardieg, 2010)	107
Tableau 27 : Classes du paramètre "Pi" : intensité des pentes (Douay, Lardieg, 2010).....	109
Tableau 28 : Matrice d'association de la courbure horizontale et de la courbure verticale (Douay, Lardieg, 2010)	111
Tableau 29 : Classes des indices de vulnérabilité du paramètre « P » (Douay, Lardieg, 2010)	112
Tableau 30 : Classes du paramètre "R" : érosivité des pluies (Douay, Lardieg, 2010).....	113
Tableau 31 : Classes des indices de vulnérabilité de la ressource « Vr » (Douay, Lardieg, 2010).....	116
Tableau 32 : Classes des distances au captage « Dc » (Douay, Lardieg, 2010)	117
Tableau 33 : Classes des indices de vulnérabilité du captage « Vc » (Douay, Lardieg, 2010)	119

Table des annexes

Aucune entrée de table des matières n'a été trouvée.

Glossaire

AAC.....	Aire d'Alimentation de Captage
AEP.....	Alimentation en Eau Potable
BAC.....	Bassin d'Alimentation de Captage
IDPR.....	Indice De Persistance des Réseaux
PNAC.....	Portion de Nappe Alimentant le Captage
SNE.....	Syndicat Nord Est
ZNS.....	Zone Non Saturée
ZOC.....	ZOne de Contribution
BSS.....	Banque de Données du Sous-Sol
BRGM.....	Bureau de Recherche Géologique et Minière
IGN.....	Institut Géographique National
ADES.....	Accès aux Données sur les Eaux Souterraines
OROBAT.....	Résultats des analyses du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine

1 PREAMBULE

1.1 Enjeux

L'objet du marché est la délimitation de l'aire d'alimentation globale des forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdelot (77) et la cartographie de sa vulnérabilité intrinsèque vis-à-vis des pollutions diffuses.

Les enjeux sont de :

- Caractériser le système aquifère capté.
- Schématiser le fonctionnement hydrogéologique du système aquifère capté.
- Délimiter l'aire d'alimentation des deux forages.
- Cartographie la vulnérabilité de l'aire d'alimentation de captage.

Les objectifs sont de partager avec le comité de pilotage le fonctionnement hydrogéologique de l'aire d'alimentation des captages pour :

- Protéger durablement la ressource captée.
- Rétablir la qualité des eaux souterraines dégradées par des pollutions diffuses en comprenant les voies privilégiées de mobilisation dans le cas des pesticides et nitrates.

1.2 Contexte général de la zone d'étude

La commune de Verdelot est située dans le département de la Seine-et-Marne, à 75 km à l'est de Paris.

Tableau 1 : Fiche des forages de Verdelot (Source : Infoterre)

	Le Mont	Basse Croix
Identifiant national de l'ouvrage	BSS000PRCS	BSS000PRCR
Ancien code	01866X0016/F1	01866X0015/FCAP
Département	SEINE-ET-MARNE (77)	
Commune	VERDELOT (77492)	
Adresse ou Lieu-dit	LE MONT	Basse Croix
Coordonnées Lambert-93	X = 726677 m Y = 6863038 m	X = 728718 m Y = 6863120 m
Altitude	142 m	114 m
Nature	Forage	Forage
Profondeur atteinte	71.0 m	38.50 m
Diamètre	311 mm	250 mm
Date fin de travaux	Août 1992	Mars 1988

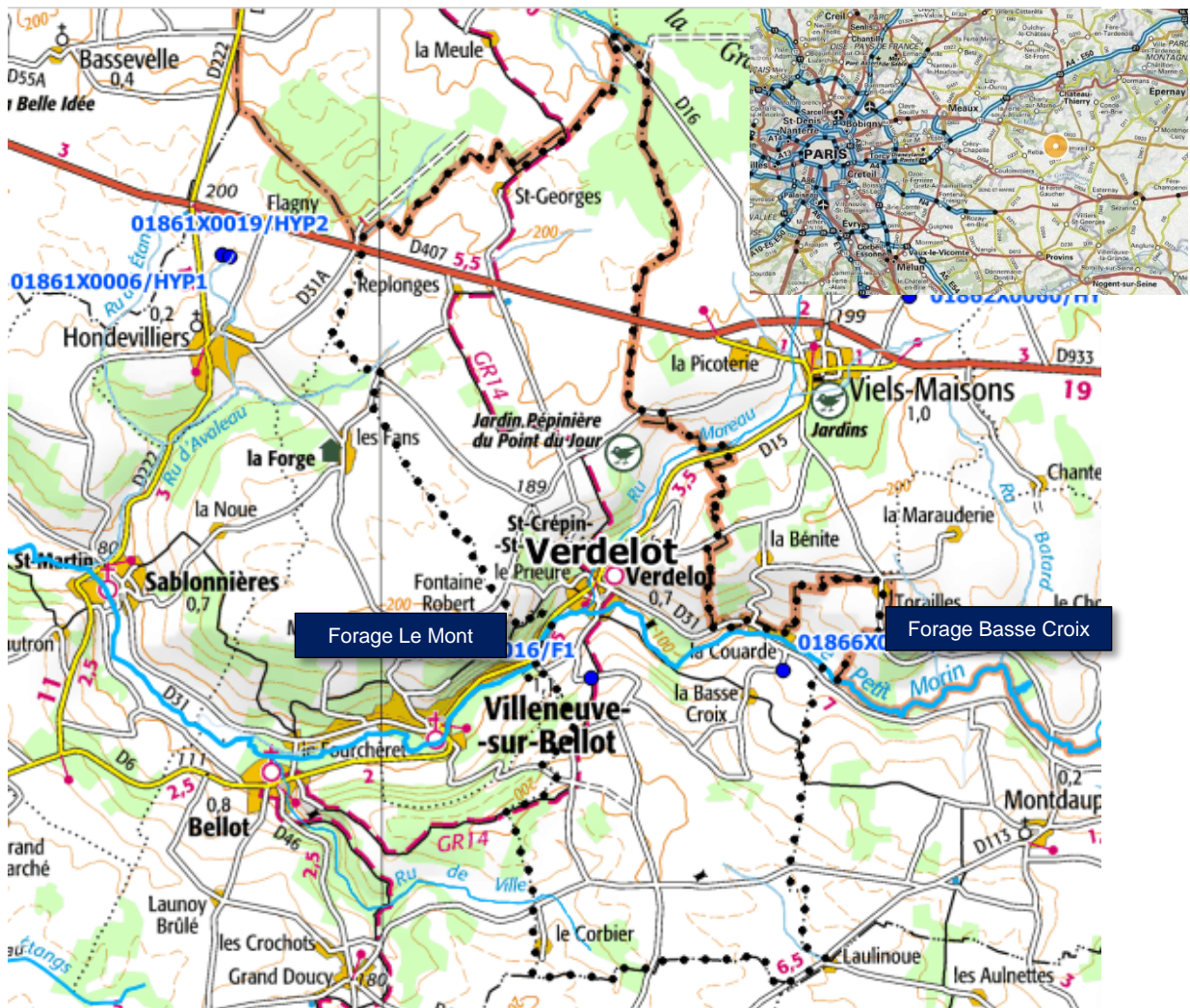


Figure 1 : Localisation de la commune de Verdelot et des 2 forages (Source : IGN)

Le plateau de la Brie s'étend de la vallée de la Marne au Nord à la vallée de la Seine au Sud-Ouest. Le relief est peu marqué et les cours d'eau ont creusés de larges vallées peu profondes de direction principale Est-Ouest : Grand Morin, Petit Morin, Yerres.

Situé sur le plateau de la Brie, le territoire de la commune est traversé par la vallée du Petit Morin qui engendre un important dénivelé en creusant ce plateau. Les forages Le Mont et Basse Croix sont situés en rive gauche du Petit Morin à environ 130 m d'altitude.

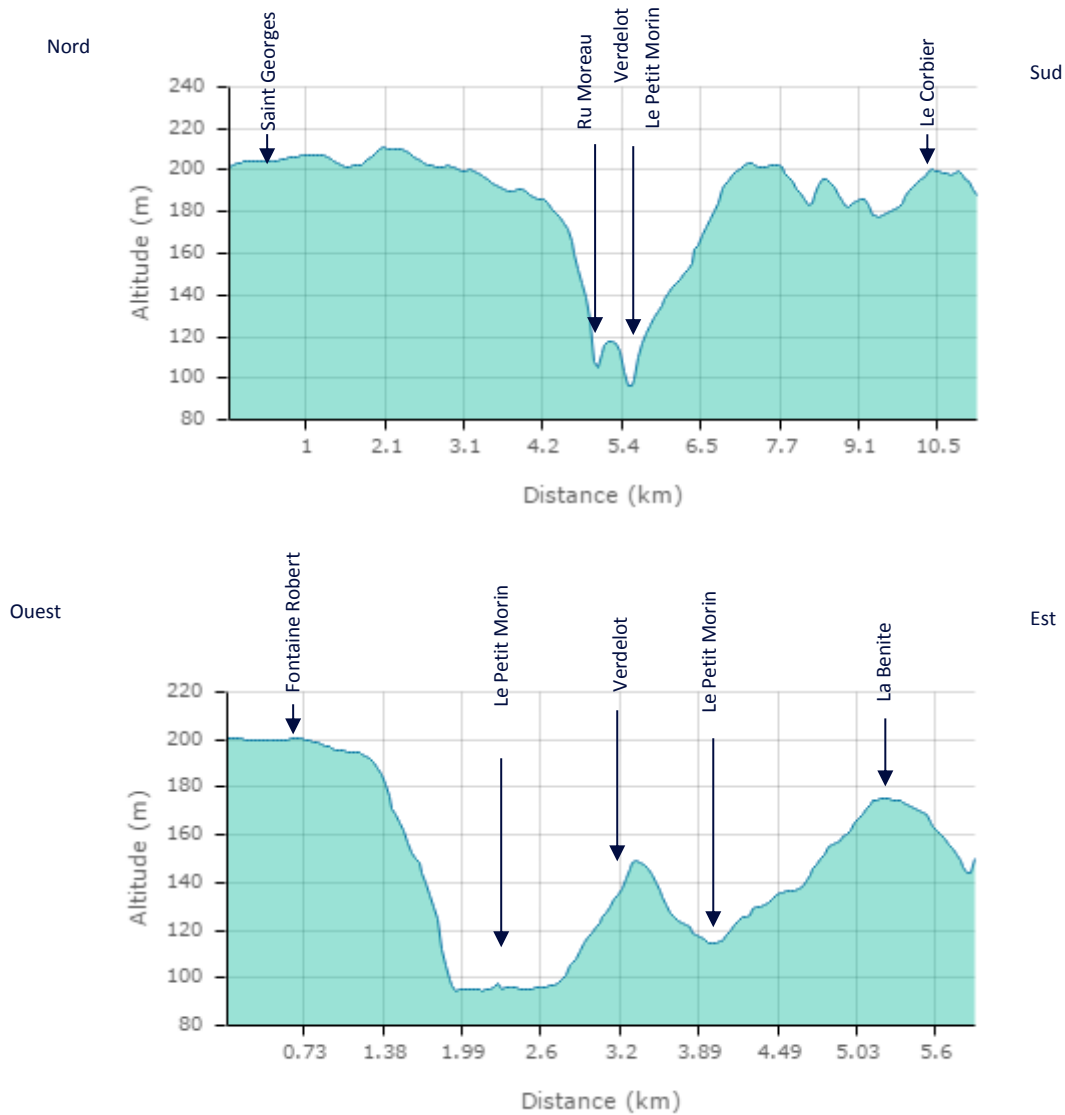


Figure 2 : Profils altimétriques Nord-Sud (en haut) et Ouest-Est (en bas) de la commune de Verdelot (Source : Géoportail)

Le bassin versant hydrographique du Petit Morin jusqu'à la commune de Verdelot représente 500 km². Il concerne 3 départements : la Seine-et-Marne et l'Aisne pour le secteur aval et la Marne pour le secteur Amont.

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdelot (77)
Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

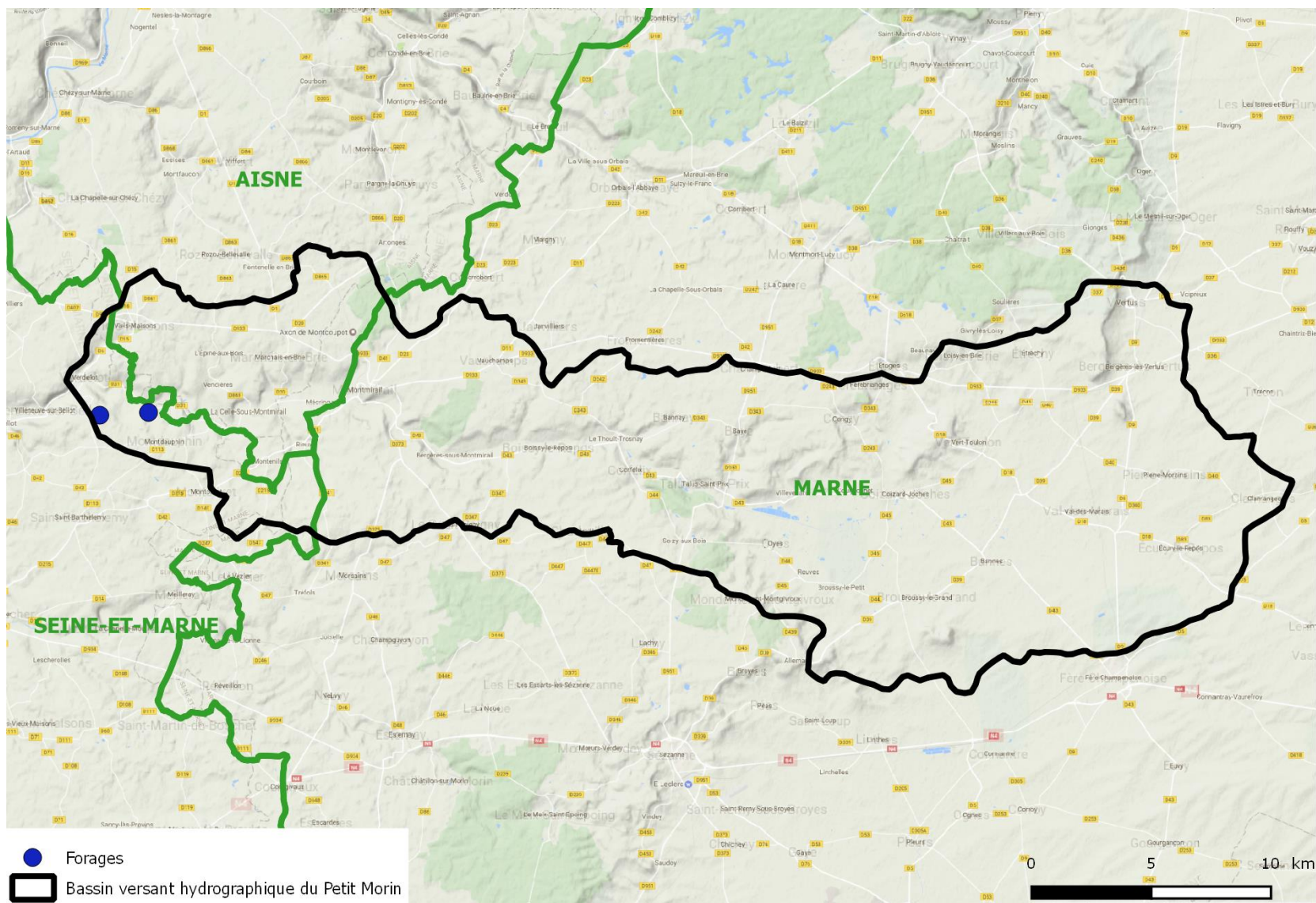


Figure 3 : Bassin versant du Petit Morin à l'amont des forages de la commune de Verdelot (Source : IGN, Google Physical)

1.3 Méthodologie

La méthodologie mise en œuvre suit les préconisations des guides suivants :

- Vernoux J.F., Wulleumier J. Perrin. (2014) - Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Version révisée du Guide méthodologique, rapport BRGM/RP-63311-FR, 133 pages, 69 illustrations, 1 annexe. <http://www.brgm.fr/publication/pubDetailRapportSP.jsp?id=RSP-BRGM/RP-63311-FR>
- Vernoux J.F., Wulleumier A., Dörfliger N. (2007) - Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, rapport BRGM/RP-55874-FR, 75 pages, 14 illustrations. <http://www.brgm.fr/publication/pubDetailRapportSP.jsp?id=RSP-BRGM/RP-55874-FR>
- Catalogne C., Carlier N., Le Henaff G., Vernoux J.F. (2014) – Guide pour la délimitation et la cartographie de la vulnérabilité d'aires d'alimentation de captages à transfert mixtes, IRSTEA ONEMA http://captages.onema.fr/system/files/catalogne_et_al_2014.pdf

L'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant souterrain permettra de définir le type d'aquifère et servira de base à la délimitation de l'aire d'alimentation de captage et à la caractérisation des paramètres de vulnérabilité.

Tableau 2 : Tableau d'aide à la caractérisation des systèmes aquifères (source du BRGM)

Formation	Roches sédimentaires, socle, altéré	Roches sédimentaires et métamorphiques, socle	Roches sédimentaires
Lithologie	Calcaire, sable, grès, craie, arène granitique	Calcaire, grès, craie, granite, schistes, gneiss	Calcaire, dolomie, craie calcaires marneux
Structure	Milieu poreux homogène ou fissurée homogène	Milieu hétérogène : présence de discontinuités délimitant des blocs avec réseaux de fractures	Structure karstique : milieu très hétérogène : réseau de drainage souterrain
Géomorphologie	Absence de zones d'infiltration préférentielle	Présence de zones d'infiltration préférentielle, d'érosion le long de fractures ou d'ouverture importante des systèmes de discontinuité	Présences de zones d'infiltration préférentielles : dolines gouffres, avens, pertes en rivières, bétouirs
Taille du bassin versant souterrain	Variables : pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres	Généralement de petite taille : quelques km ²	Variables : pouvant atteindre plusieurs dizaines voire centaines de km ²
Débit de production	Moyen à élevé : 30 à 200 m ³ /h	Faible < 5 m ³ /h	Peut être très élevé : 1000 m ³ /h
Fluctuation de débit (source)	faibles	fortes	Très fortes : réponse impulsionnelle à un épisode pluvieux
Température	stable	Variations importantes au cours du cycle hydrologique	Variations importantes au cours du cycle hydrologique
Conductivité	stable	Variations importantes au cours du cycle hydrologique	Variations importantes au cours du cycle hydrologique
Hydrochimie	stable	Variations importantes au cours du cycle hydrologique	Variations importantes au cours du cycle hydrologique
Turbidité	rare	Possible après de fortes pluies	Possible après de fortes pluies
Surface piézométrique	Relativement plane	Souvent corrélée à la surface topographique	
Variation du niveau piézométrique	Fluctuations annuelles faibles à moyennes	Fluctuations annuelles faibles	Hétérogène en fonction des vides recoupées ; mise en charge rapide, plusieurs dizaines de mètres
Infiltration	lente	Mixte : rapide au niveau des discontinuités principales et lente ailleurs	Mixte : très rapide au niveau des pertes... et diffuse et lente ailleurs
Perméabilité	Variable mais généralement < 0.1 m/s	Mixte : forte au niveau des fractures, faible ailleurs	
Porosité	D'interstices comprise entre 5 et 30%	Double porosité : interstices et fractures ; porosité d'interstices très faibles < 5%	Double porosité : interstices et fractures ; porosité d'interstices très faibles < 5%
Vitesse de transit	Globalement faible < 1 m/j	Importante : de 1 m/j à 1 m/h	Très importante : de 10-50 m/h voir 100 m/h
Temps de transits entre le captage et les zones du BAC	Augmente globalement à mesure que l'on s'éloigne du captage	Rapides : quelques jours à quelques heures ; n'augmente pas forcément à mesure que l'on s'éloigne du captage	Très rapide : quelques heures
Essai de traçage	Dispersion du pic sur une longue période	Taux de restitution élevé et pic peu dispersé dans le temps en fonction du degré de connexion hydraulique	Taux de restitution élevé et pi peu dispersé dans le temps
Temps de séjour de l'eau dans l'aquifère	Peut-être important sauf dans les alluvions	Mélange des eaux à temps de résidence court et long	Court de manière générale, fonction de l'inertie du système (quelques jours à quelques mois)
Système aquifère	Continu	Discontinu fissuré	Discontinu karstique

Le recueil des données portera sur les informations suivantes, à adapter en fonction du type d'aquifère et du contexte du captage :

Tableau 3 : Informations nécessaires pour la caractérisation d'un système aquifère (source adaptée du BRGM)

Contexte	Informations recherchées
Contexte du captage	Coupe géologique et technique de l'ouvrage
	Description de l'ouvrage : profondeur, état (en particulier, problèmes de colmatage), niveau piézométrique
	Les caractéristiques des prélèvements A.E.P.
	Inventaire des ouvrages situés sur le bassin (en particulier ceux susceptibles de contaminer directement le captage indépendamment de sa vulnérabilité intrinsèque)
Contexte géologique	Cadre géologique (stratigraphie, lithologie, structure,...).
	Coups géologiques interprétatives.
Contexte hydrogéologique	Aquifère concerné.
	Etendue, limites horizontales et verticales, affleurement, épaisseur, niveaux producteurs.
	Profil hydrogéologique du secteur.
	Type de nappe (libre ou captive).
	Type de perméabilité, isotropie des formations géologiques.
	Conditions de recharge (pluie, pluie efficace, affleurements, failles,...). recherche de zones d'infiltration préférentielles
	Modifications anthropiques des conditions naturelles de recharge (canaux, irrigation, bassins d'infiltration, bassins de stockage, exutoires de drainages agricoles ...)
	Piézométrie régionale, piézométrie locale synchrone (hautes eaux et basses eaux), fluctuations piézométriques.
	Sens et vitesse d'écoulement.
	Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité, porosité efficace, coefficient d'emménagement), gradient hydraulique, drainage.
	Résultats d'essai (traçage, pompage, perméabilité, diagraphies,...).
	Chronique de débits (pour une source). Pour une source inconnue à capter, suivi des débits à un pas de temps mensuel pendant un an et de sa sensibilité aux orages.
	Limites de la zone d'appel du forage, ou de l'aire d'alimentation de la source, figurées sur une carte détaillée au 1/5 000° délimitant la zone d'appel du pompage avec la direction et le sens d'écoulement de la nappe
	Relation avec les cours d'eau, distance, alimentation (pourcentage), colmatage,...
	Echanges avec d'autres aquifères.
	Biseau salé (présence, stabilité,...)
Rôle des failles.	
Qualité de l'eau	Historique synthétique des analyses réalisées (sur 5 ans environ, au minimum), pour les ouvrages en exploitation.
	Evolution et fluctuations de la qualité de l'eau, fluctuations hautes eaux / basses eaux, paramètres in situ
	Pour les sources, suivi du débit, de la conductivité et de la température en période de crue
	Interprétation (faciès, anomalies, indices d'infiltration ou de pollution).
	Mesure de contrôle de la qualité de l'eau (paramètres contrôlés, fréquence des mesures).
	Causes probables de pollution (si pollution il y a eu).
Vulnérabilité de la ressource	Cartes de vulnérabilité intrinsèque existantes.
	Nature et épaisseur des couches de protection et/ou de la zone non saturée.
	Localisation des zones d'affleurement
	Etudes et cartes agro-pédologiques.
	Risque d'inondation (hauteur, fréquence).
	Perméabilité des terrains superficiels (nature et résultats des essais).
	Points d'absorption naturels ou artificiels (dolines, puits, pertes,...).
	Degré de colmatage des berges des cours d'eau.
	Réseaux de drainage agricole.

2 BIBLIOGRAPHIE

Le recueil des données de l'étude **géologique et hydrogéologique du bassin versant souterrain** a plus particulièrement pris en compte les références suivantes.

- Cl. Bricon, 1966, Etat de la documentation sur les ouvrages souterrains implantés sur les feuilles topographiques de Coulommiers-Montmirail et synthèse hydrogéologique provisoire, Rapport BRGM 64-DSGR-A-028, <http://infoterre.brgm.fr/rapports/64-DSGR-A-028.pdf>

Ce rapport fait état des connaissances disponibles en 1964 sur le contexte géologique et hydrogéologique du secteur d'étude.

- Sesaer, 2005, Etude préalable à l'instauration des périmètres de protection du forage « Le Mont »

Le rapport concerne l'étude géologique, hydrogéologique et environnementale du forage Le Mont.

- J. Campinchi, 1990, Avis hydrogéologique relatif l'instauration des périmètres de protection du forage « Basse Croix », 89 GA 017 IDF

- Arrêté de DUP 94/DDAF/SHOME/017 relatif l'instauration des périmètres de protection du forage « Basse Croix »

L'arrêté définit 3 périmètres de protection et autorise l'exploitation du captage au débit maximal de 60 m³/h.

- Données de qualité des eaux brutes et des eaux distribuées issues du contrôle sanitaire et du contrôle exploitation des forages Le Mont et Basse Croix

2154 données sont disponibles pour les deux forages.

- 2003, Référentiel pédologique d'Ile-de-France à l'échelle 1/250 000, INRA

Le référentiel pédologique à l'échelle 250 000 n'est pas suffisamment précis à l'échelle de la commune de Verdelot ou de l'étude d'aire d'alimentation de captage.

- Sandra Bellier. Modélisation de la contamination nitrique de la nappe des calcaires de Champigny : Application à la protection des captages prioritaires de la fosse de Melun et de la basse vallée de l'Yerres. Autre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2013. Français. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00973876/document>

Ce rapport précise à l'échelle de l'aquifère des calcaires de Champigny les échanges le fonctionnement du système aquifère, plus particulièrement en terme de bilan général des volumes moyens annuel échangés dans le système. Une valeur de la drainance verticale de l'aquifère des calcaires de Champigny vers l'aquifère Marinésien/Lutétien/Yprésien (Eocène moyen et inférieur) à travers les marnes infraludiennes.

- BAULT.V., BOURGINE.B., LOISELET.C., ANQUETIL.E., 2015, Cartes piézométriques basses eaux 2013 et hautes eaux 2014 des nappes du Lutétien et de l'Yprésien supérieur dans le Bassin Parisien, BRGM, BRGM/RP-64887-FR <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-64887-FR.pdf>

Cette étude cofinancée par l'agence de l'eau Seine Normande, le Syndicat d'Aménagement et de gestion de l'eau du bassin de l'Automne, le Syndicat Interdépartemental du SAGE de la Nonette et le BRGM a pour objet :

- La réalisation de deux campagnes de mesure piézométriques synchrones des nappes des sables de l'Yprésien supérieur et des calcaires du Lutétien en périodes de basses et de hautes eaux.
 - La réalisation d'une campagne de nivellement, au moyen de GPS haute précision des ouvrages ayant fait l'objet d'une mesure périmétrique.
 - Le tracé de cartes piézométriques.
 - La mise en place de capteurs de pression et enregistreurs numériques sur des zones à enjeux.
- Jean-Pierre Gély, Février 2009, LE LUTÉTIEN : une période charnière de l'histoire du Bassin parisien, Saga Information – N° 284 http://www.saga-geol.asso.fr/Documents/Saga_284_Lutetien.pdf

L'article publié en 2009 offre une synthèse générale de l'histoire géologique du Lutétien à l'échelle du Bassin parisien. Il détaille plus particulièrement les trois grands cycles sédimentaires qui ont été à l'origine des formations du Lutétien.

3 CONTEXTE DES CAPTAGES

3.1 Cas du forage Le Mont

3.1.1 Description du captage

Dans le cadre du programme départemental de recherche d'eau et suite à un rapport d'étude faisabilité de juin 1991, le Conseil Général de Seine-et-Marne a financé la réalisation d'un forage de reconnaissance sur le territoire de la commune de Verdelot. L'ouvrage a été réalisé en 1922 par l'Entreprise MASSE et la maîtrise d'ouvrage a été assurée par SAFEGE.

Le forage capte l'aquifère de l'Eocène moyen et inférieur composé des calcaires du Lutétien et des sables de l'Yprésien.

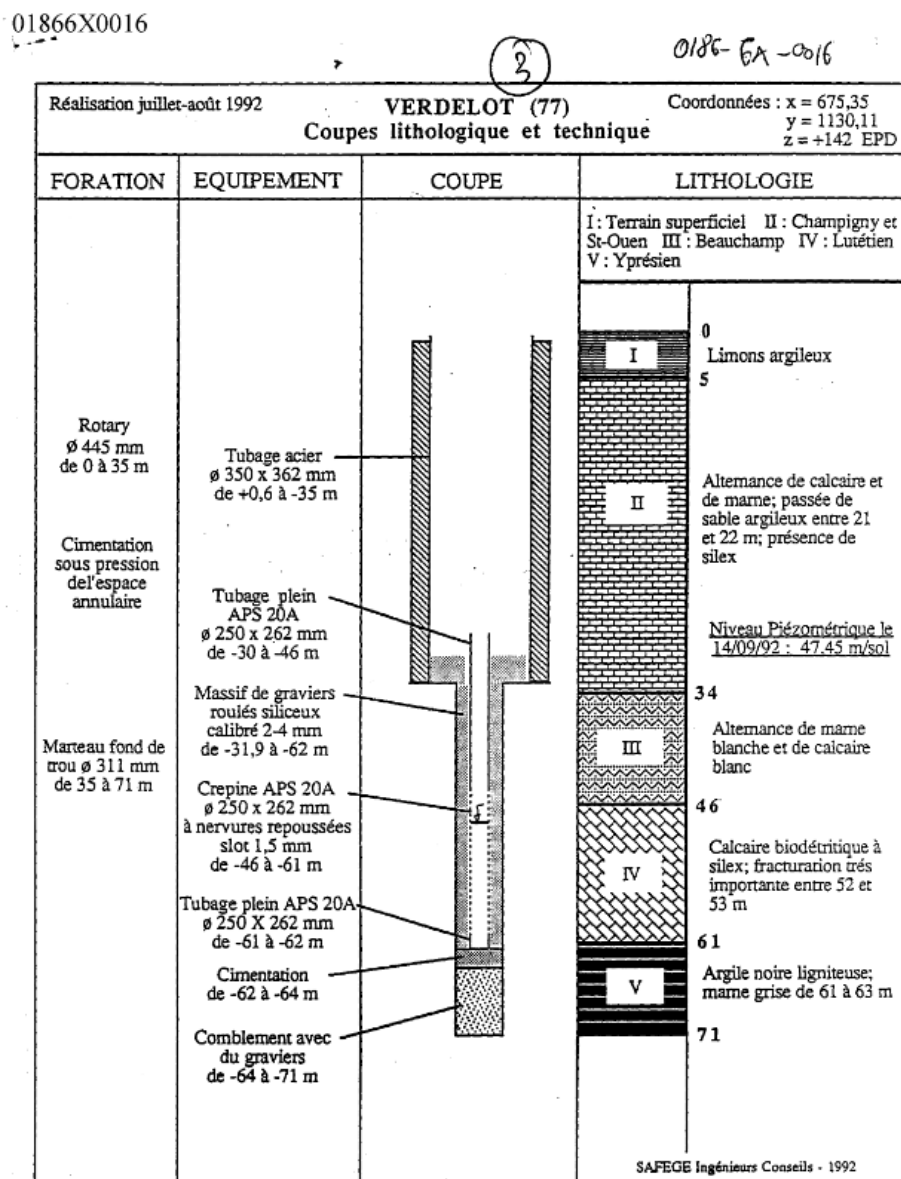


Figure 4 : Coupe technique et géologique du forage Le Mont (source : Infoterre)

3.1.2 Autorisation administrative et production

Le forage Le Mont prélève en moyenne 124 000 m³ par an avec une pointe observée à 148 329 m³ en 2006.

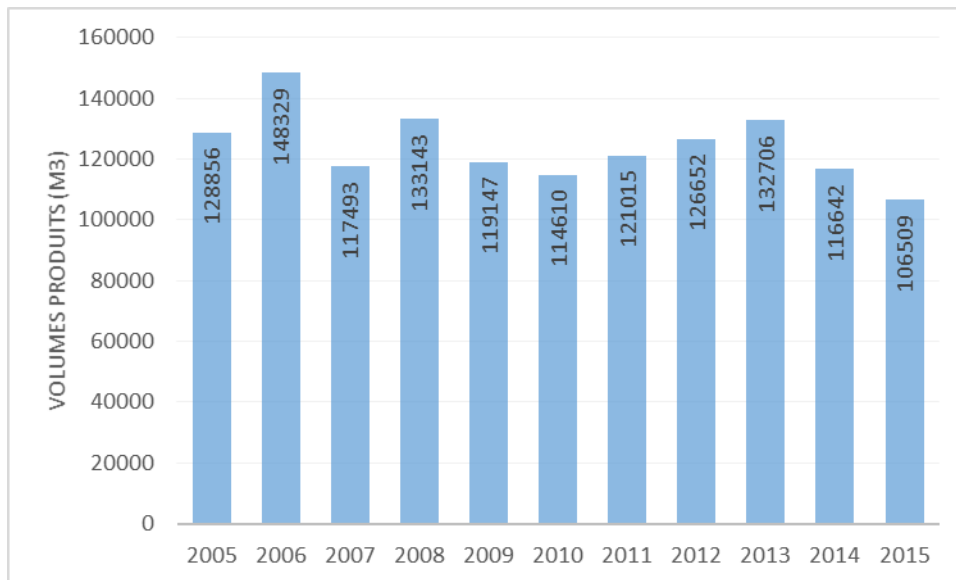


Figure 5 : Prélèvements du forage Le Mont entre 2005 et 2015 (Source : SNE77, 2016)

Le coefficient de pointe journalière correspond au rapport entre le volume maximum produit et le volume moyen produit.

L'analyse des données de production journalière en 2013 a permis de déterminer un coefficient de pointe journalière de l'ordre de 1,55.

À noter cependant que la télégestion du compteur station n'a pas fonctionné correctement entre le 27 juillet et le 6 septembre 2013, ce qui n'a donc pas permis de récupérer les informations et donc l'analyse des volumes journaliers durant cette période.

De plus, des dysfonctionnements ont été observés au niveau du compteur pendant le mois de juin. Ces données ont donc été écartées de l'analyse.

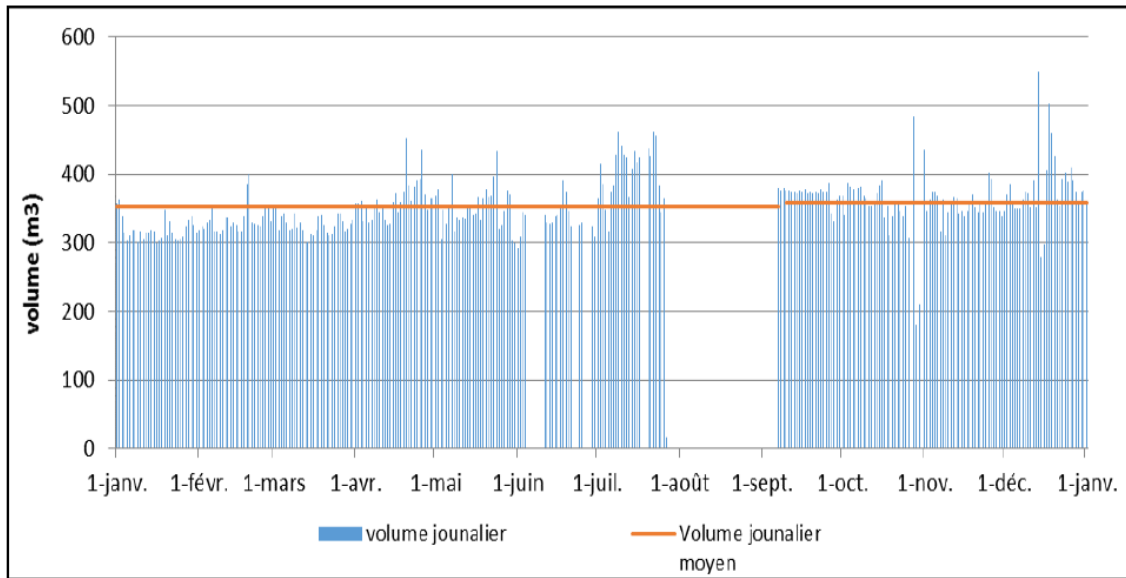


Figure 6 : Évolution du volume journalier mis en distribution en 2013

3.1.3 Unité de distribution F

3.1.3.1 Localisation de l'unité de distribution

L'unité de distribution F est l'unité de distribution du captage Le Mont de Verdelot, qui alimente les communes de Bellot, Villeneuve-sur-Bellot, et les hameaux de quelques communes voisines (Saint-Léger, Verdelot, Jouy-sur-Morin et Sablonnières).

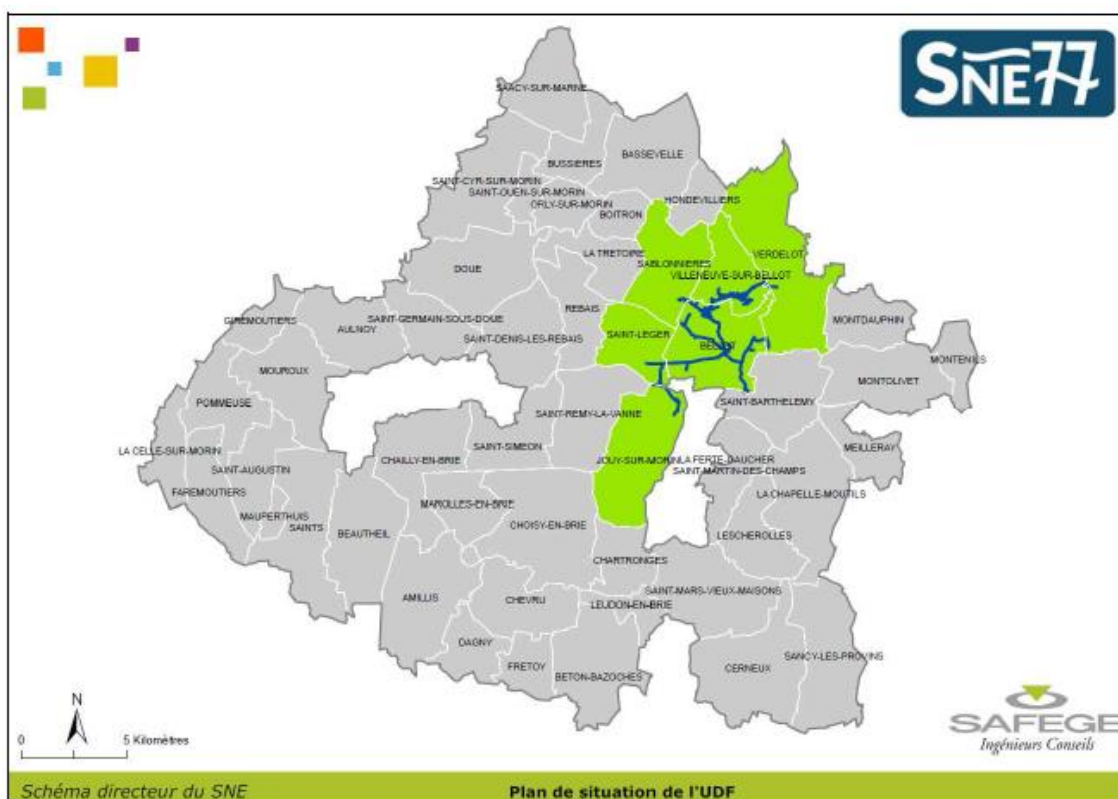


Figure 7 : Plan de situation de l'unité de distribution F (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

3.1.3.2 Fonctionnement du réseau d'alimentation

Le captage Le Mont de Verdelot alimente l'ensemble de la commune de Bellot, le bourg de Villeneuve-sur-Bellot, ainsi que des hameaux des communes voisines.

L'eau prélevée est refoulée, après désinfection au chlore, vers le réservoir de Château Renard.

Lorsque le refoulement n'est pas en fonctionnement, le réservoir de Château Renard alimente gravitairement le bourg de Villeneuve-sur-Bellot (via le réducteur), les réservoirs de Bellot et de Villeneuve-sur-Bellot ainsi que tous les abonnés présents sur ces conduites de transfert.

Le réservoir de Villeneuve-sur-Bellot alimente en eau une partie du bourg, dont la rue de la Nébourg. Le réservoir de Château Renard permet l'alimentation en gravitaire du réseau (secteur du Fourcheret, secteur du Bellot) et l'alimentation du réservoir de Bellot, lorsque le refoulement n'est pas en fonctionnement.

Le réservoir de Bellot dessert une partie du bourg de Bellot et les pompes de reprise qui alimentent le réservoir de Doucy par refoulement pur. Ce dernier alimente gravitairement les secteurs de Retourneloup, Doucy, Saincy, Champ martin, château Renard, Champ Cormolin et Jouy – Pinebard.



Figure 8 : Réseau de l'unité de distribution F (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

L'unité de distribution F est découpée suivant 9 secteurs de distribution, délimités par des compteurs de sectorisation :

- Le secteur 1 qui correspond au refoulement du forage de Verdelot vers les réservoirs de Villeneuve-sur-Bellot et du Château Renard, hors abonnés présents sur les conduites de transfert
- Le secteur 2, alimenté par le réservoir de Villeneuve-sur-Bellot, correspond au secteur de la Nébourg
- Le secteur 3, sectorisé par un compteur et plusieurs vannes fermées, correspond au centre de Villeneuve-sur-Bellot
- Le secteur 4 englobe les hameaux du Fourcheret et de Bellot
- Le secteur 5 correspond au bourg de Bellot (comprenant la piscine municipale de Bellot), alimenté gravitairement à partir du réservoir de Bellot
- Le secteur 6 correspond à un secteur en refoulement pur entre le réservoir de Bellot et celui de Doucy. Ce secteur ne présente donc aucune consommation
- Le secteur 7 englobe les hameaux de Château Renard, Champ Cormolin et Jouy – Pinebard
- Le secteur 8 correspond au bourg de Doucy et au hameau de RetourneLoup
- Le secteur 9 correspond aux hameaux de Champ Martin et de Saincy.

La localisation des différents secteurs et le synoptique de fonctionnement du réseau de l'unité de distribution F sont présentés ci-après.

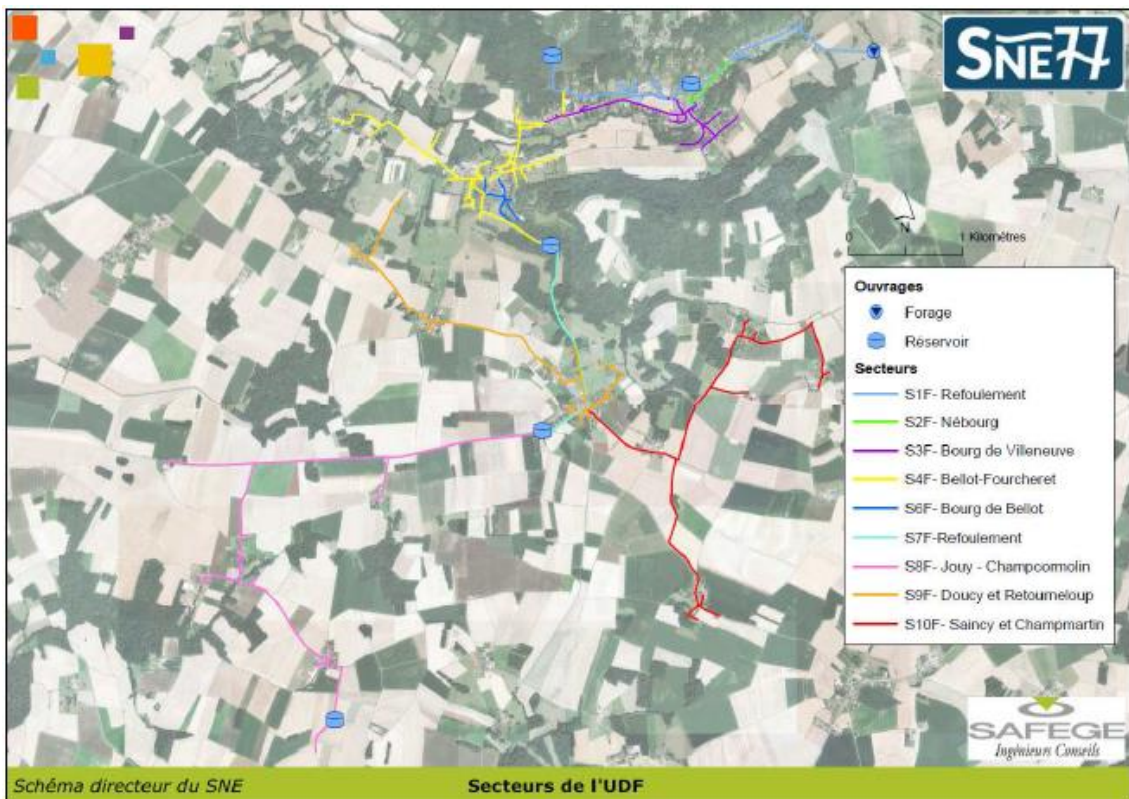


Figure 9 : Localisation des secteurs de l'unité de distribution F (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

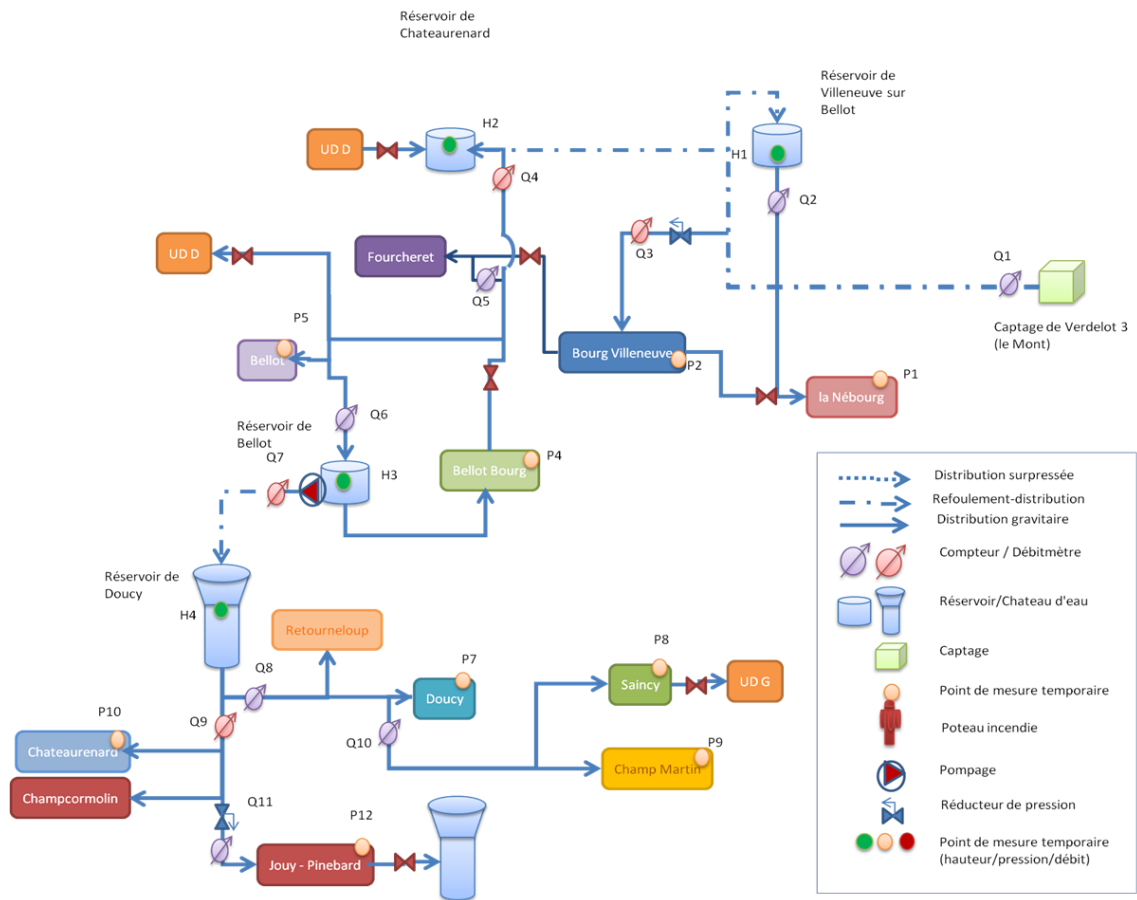


Figure 10 : Synoptique de l'unité de distribution F (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

3.2 Cas du forage Basse Croix

3.2.1 Description du captage

Le forage Basse Croix est aussi désigné Verdelot 2. Le captage a été créé en 1988 et mis en service le 31 mars 1992. Il s'agit d'un forage de 38.5 m de profondeur.

Le forage capte l'aquifère de l'Eocène moyen et inférieur composé des calcaires du Lutétien et des sables de l'Yprésien.

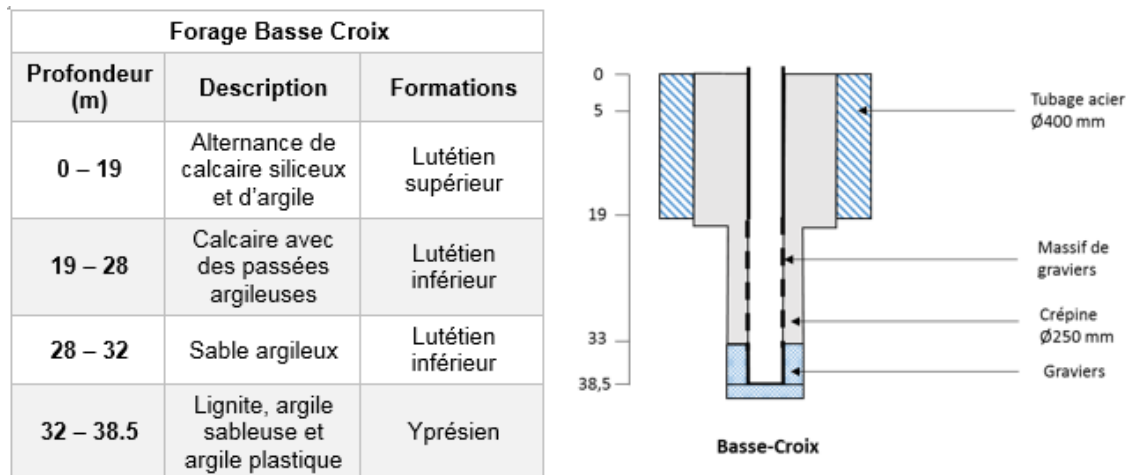


Figure 11 : Coupe technique et géologique du forage Basse Croix (source : Safège)

3.2.2 Autorisation administrative et production

Un rapport d'expertise hydrogéologique a été rédigé le 5 avril 1990 par M. Campinchi.

A la suite de ce dernier, le captage dispose d'une Déclaration d'Utilité publique datant du 10 mai 1994, instaurant 3 périmètres de protection et autorisant l'exploitation pour 60 m³/h. La figure suivante localise les périmètres de protection.

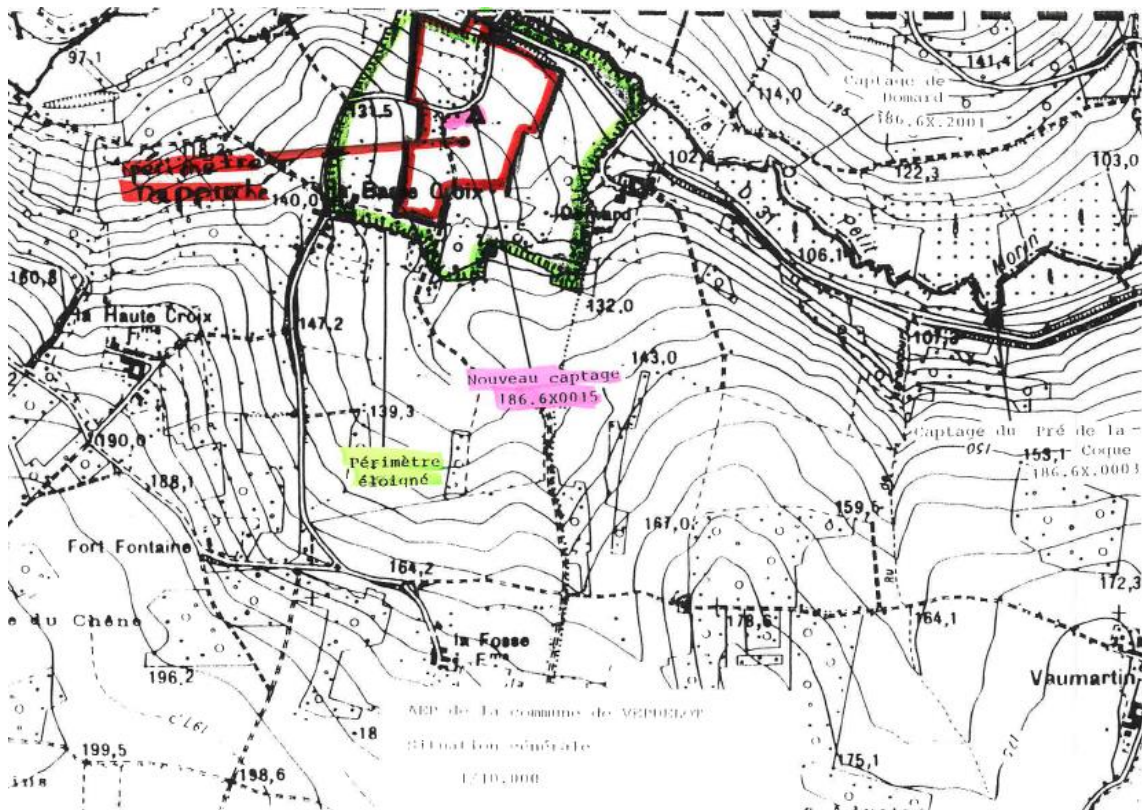


Figure 12 : Délimitation des périmètres de protection du forage Basse Croix (Source : AP DUP, 1994)

Le forage Basse Croix prélève en moyenne 126 000 m³ par an avec une pointe observée à 144 780 m³ en 2008.

Le forage est équipé de deux pompes qui alimentent 2 réservoirs différents appartenant à deux unités de distribution différentes.

Le débit moyen de pompage est de 20 m³/h pour le réservoir La Volée situé sur Verdolot et de 42 m³/h pour le réservoir situé sur la commune de Montdauphin.

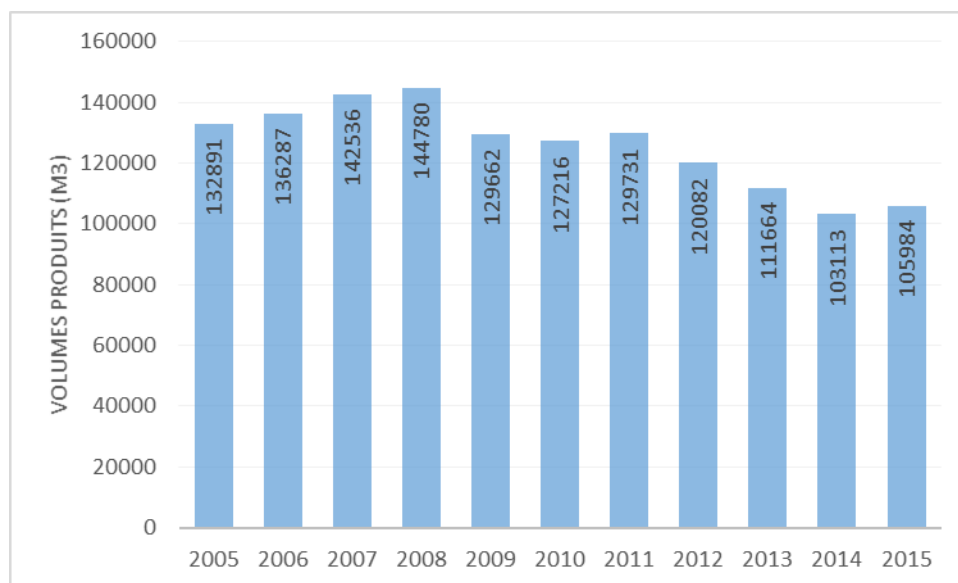


Figure 13 : Prélèvements du forage du Basse Croix entre 2005 et 2015 (Source : SNE77, 2016)

3.2.3 Unité de distribution H (réservoir de Verdelot)

3.2.3.1 Localisation de l'unité de distribution

L'unité de distribution H est l'unité de distribution alimentée par le captage de Basse-Croix et par la station de reprise de la Fontaine Tigé, interconnexion avec l'UDD.

L'unité de distribution H dessert une partie des communes suivantes, située au nord-est du Syndicat :

- Verdelot ;
- Villeneuve sur Bellot.

Une partie des communes de Viels-Maisons et de Vendières ne faisant pas partie du périmètre du syndicat, est aussi alimentée par l'unité de distribution H.

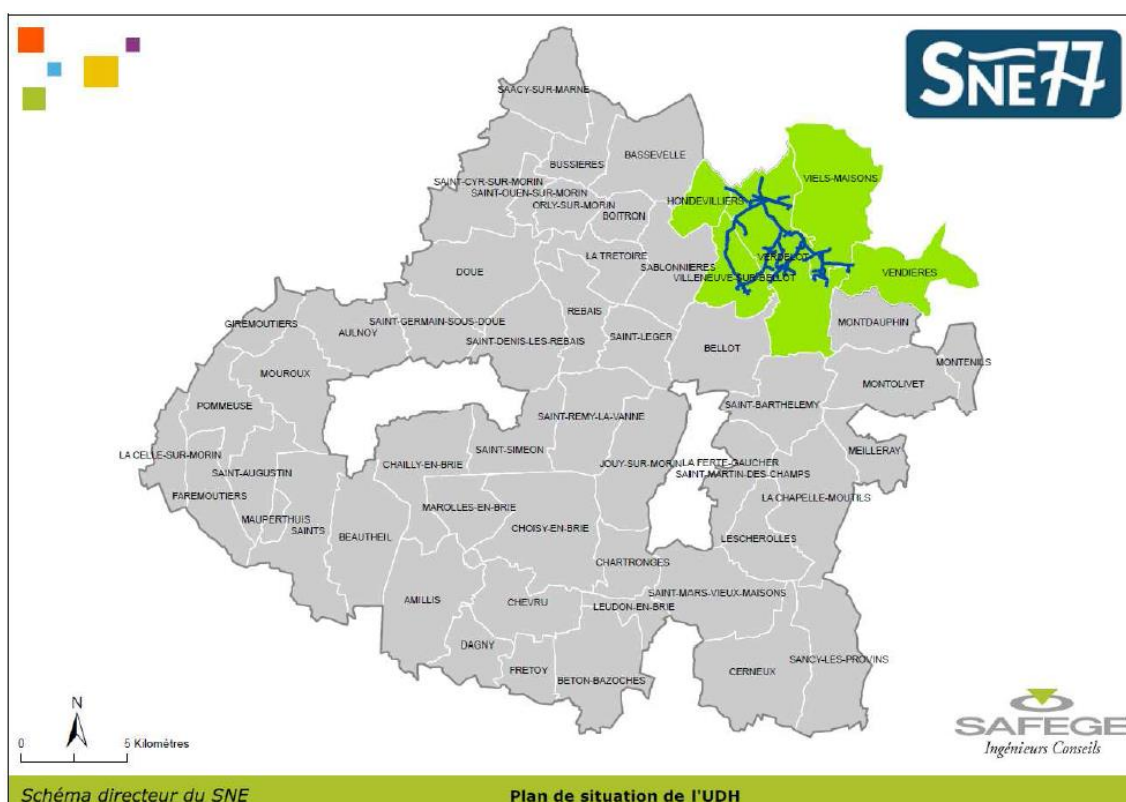


Figure 14 : Plan de situation de l'unité de distribution H (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

3.2.3.2 Fonctionnement du réseau d'alimentation

L'unité de distribution H est alimentée par le sud par le captage de la Basse-Croix et par la station de reprise de la Fontaine Tigé à l'ouest délimitant l'unité de distribution H et l'unité de distribution D. Ces deux alimentations contribuent à la desserte de l'unité de distribution H respectivement entre 16% et 26% pour le captage de la Basse-Croix et entre 74% et 84% pour la station de reprise.

Le captage de la Basse-Croix alimente le réservoir de la Vollée. La station de reprise alimente le réservoir de Replonges, qui est également alimenté par les reprises au réservoir de la Vollée la nuit.

Le réservoir de Verdelot se situe entre le réservoir de la Vollée et de Replonges et est alimenté via le brise charge dit du Cloteau. Le réservoir de Verdelot alimente ensuite gravitairement le bourg de Verdelot.

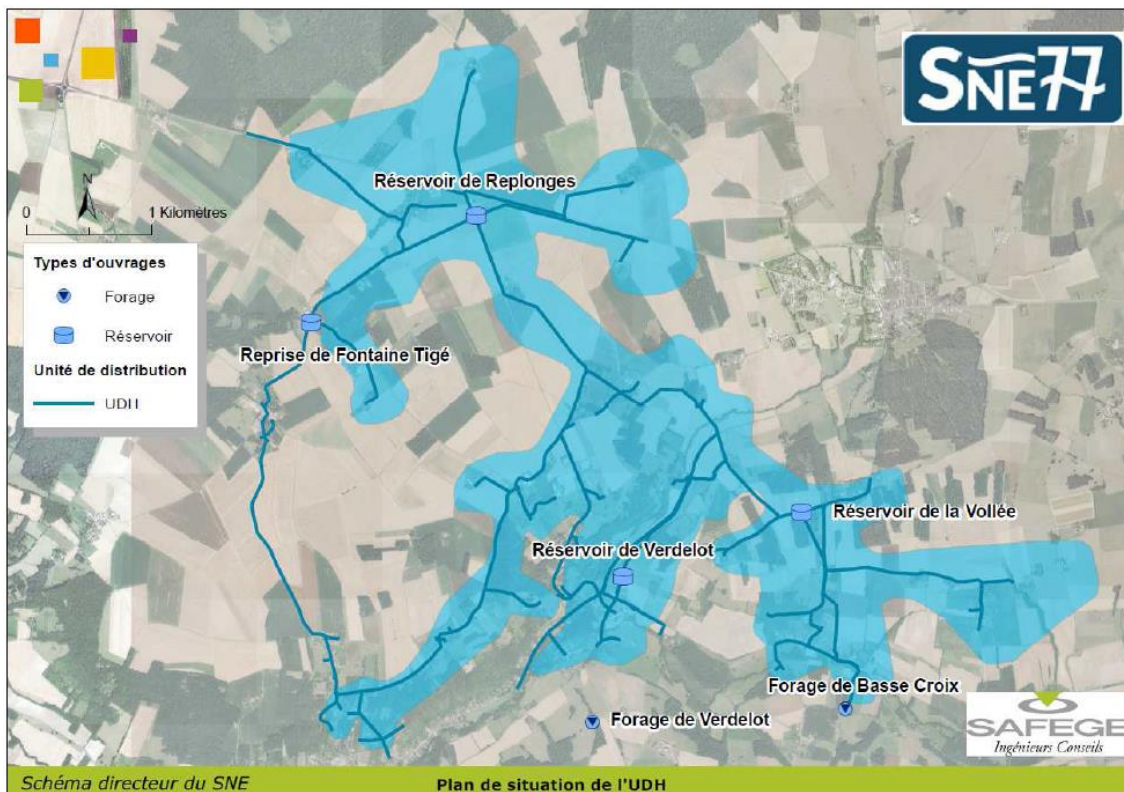


Figure 15 : Réseau de l'unité de distribution H (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

L'unité de distribution H est découpée suivant 13 secteurs de distributions, délimités par des compteurs de sectorisation :

- Le secteur 1 qui correspond au hameau de la Vollée est alimenté par le réseau reliant le réservoir de la Vollée et le réservoir de Replonges ;
- Le secteur 2 correspondant au hameau de Vallery, est alimenté par le réseau reliant le réservoir de la Vollée et le réservoir de Replonges ;
- Le secteur 3 correspond au hameau de la Couarde, alimenté par le réservoir de la Vollée via un stabilisateur aval ;
- Le secteur 4 englobe le réseau compris entre le réservoir de la Vollée, le réservoir de Replonges et deux compteurs de sectorisation ;
- Le secteur 5 correspond au hameau de la Venture compris entre le réservoir de la Vollée et le réservoir de Replonges. Ce hameau est situé en amont du briseccharge de Cloteau.
- Le secteur 6 correspond au bourg de Verdelot situé en aval du réservoir de Verdelot ;
- Le secteur 7 correspond à une partie du réseau desservant Villeneuve sur Bellot ;
- Le secteur 8 englobe le hameau de l'Épinoche et celui du Prieuré ;
- Le secteur 9 correspond au hameau de Fontaine Robert ;
- Le secteur 10 correspondant au hameau de Viels Maisons, est alimenté par le réservoir de Replonges ;

- Le secteur 11 correspond au hameau de Saint-Georges, situé en aval du réservoir de Replonges ;
- Le secteur 12 englobe le hameau de Montflageol, situé en aval de la station de reprise de Fontaine Tigé, alimenté via un stabilisateur aval ;
- Le secteur 13 correspond au hameau de Replonges, alimenté par la station de reprise de Fontaine Tigé.

La localisation des différents secteurs et le synoptique de fonctionnement du réseau de l'unité de distribution H sont présentés ci-après.

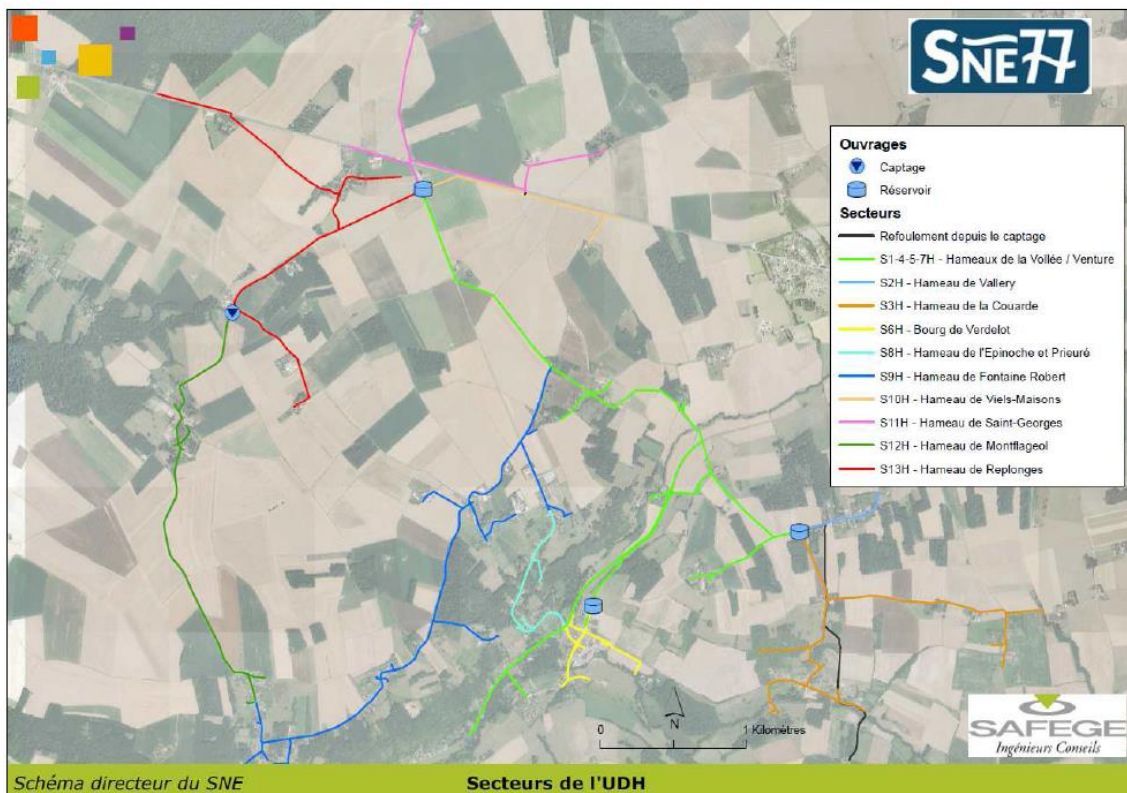


Figure 16 : Localisation des secteurs de l'unité de distribution H (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

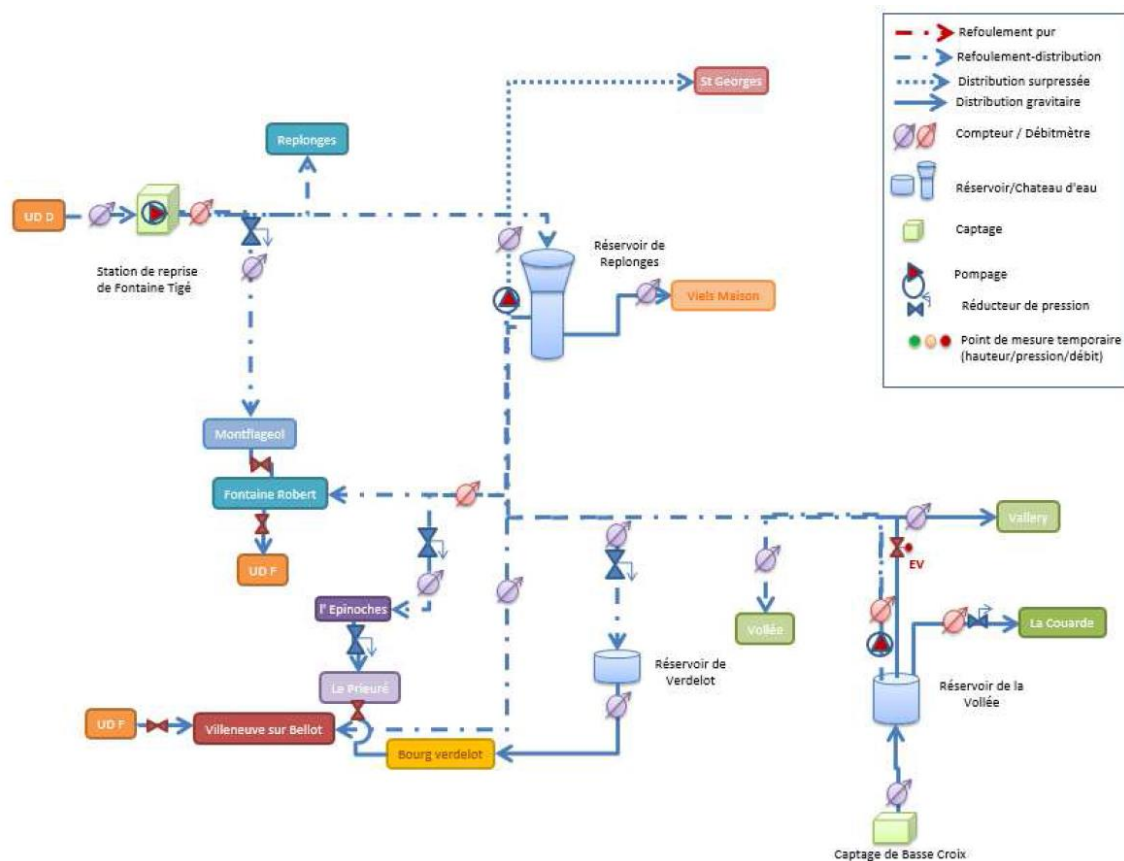


Figure 17 : Synoptique de l'unité de distribution H (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

3.2.4 Unité de distribution G (réservoir de Montdauphin)

3.2.4.1 Localisation de l'unité de distribution

L'unité de distribution G est l'unité de distribution alimentée par le captage de Basse-Croix et qui dessert les six communes suivantes, située au nord-est du Syndicat :

- Montdauphin ;
- Montenils ;
- Montolivet ;
- Saint-Barthélemy ;
- Une partie de Verdelot.

Une partie des communes de la Celle-sous-Montmirail et de La Ferté Gaucher, ne faisant pas partie du périmètre du syndicat, sont aussi alimentées par l'unité de distribution G.

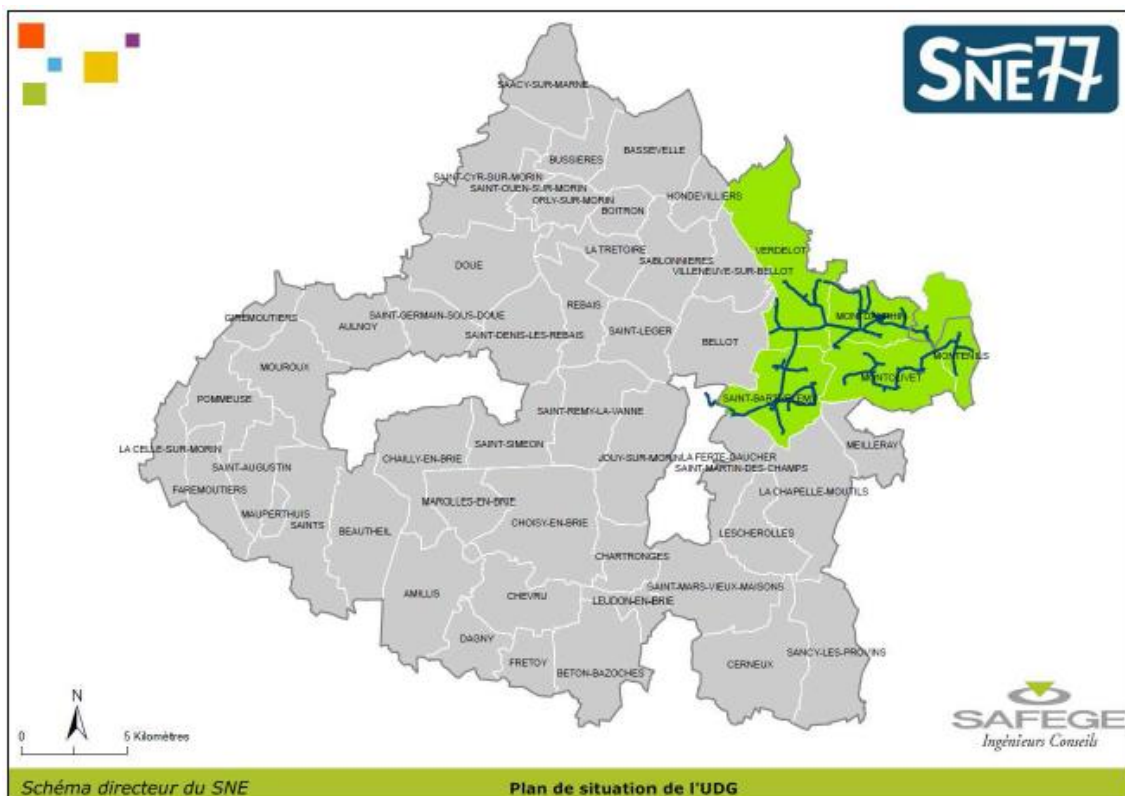


Figure 18 : Plan de situation de l'unité de distribution G (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

3.2.4.2 Fonctionnement du réseau d'alimentation

Le captage Basse Croix alimente l'ensemble de l'unité de distribution G grâce à trois réservoirs sur tour et trois réservoirs semi-enterrés.

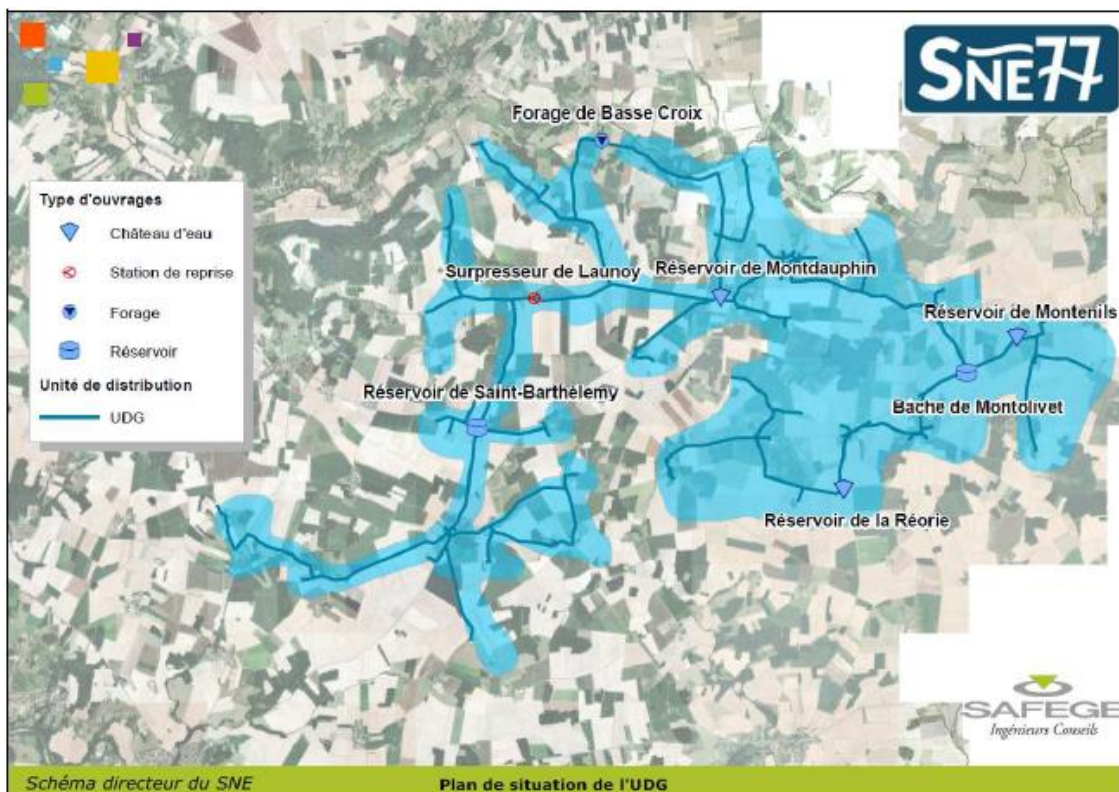


Figure 19 : Réseau de l'unité de distribution G (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

L'unité de distribution G est découpée suivant 12 secteurs de distributions, délimités par des compteurs de sectorisation :

- Le secteur 1, alimenté par le captage Basse Croix et qui dessert le secteur de Vaumartin ainsi que le réservoir de Montdauphin.
- Le secteur 2 qui correspond au secteur de Montdauphin, réseau compris entre la sortie du réservoir de Montdauphin et la bâche de Montolivet.
- Le secteur 3 correspond au refoulement de la bâche de Montolivet vers le réservoir de Montenils. À noter que ce secteur ne présente aucune consommation (refoulement pur).
- Le secteur 4 correspond au hameau de Montenils.
- Le secteur 5 correspond au réseau compris entre la bâche de Montolivet et le réservoir de la Réorie. Il englobe aussi le secteur de Montolivet.
- Le secteur 6 correspond au hameau de Thiercelieux, alimenté par le réservoir de la Réorie.
- Le secteur 7, alimenté par le réservoir de Montdauphin, correspond au secteur de Laulinoue.
- Le secteur 8 correspond au hameau de la Haute croix, alimenté par le réservoir de Montdauphin.
- Le secteur 9 correspond au réseau compris entre le surpresseur de Launoy et le réservoir de Saint-Barthélemy. Il englobe aussi le secteur du Corbier.
- Le secteur 10 correspond au hameau de Saint-Barthélemy.
- Le secteur 11 englobe le hameau des trois maisons.
- Le secteur 12 correspond au hameau du Grenet.

À noter que le secteur 7 et le secteur 8 ont été fusionnés suite à la défaillance d'un compteur de sectorisation.

La localisation des différents secteurs et le synoptique de fonctionnement du réseau de l'unité de distribution G sont présentés ci-après.

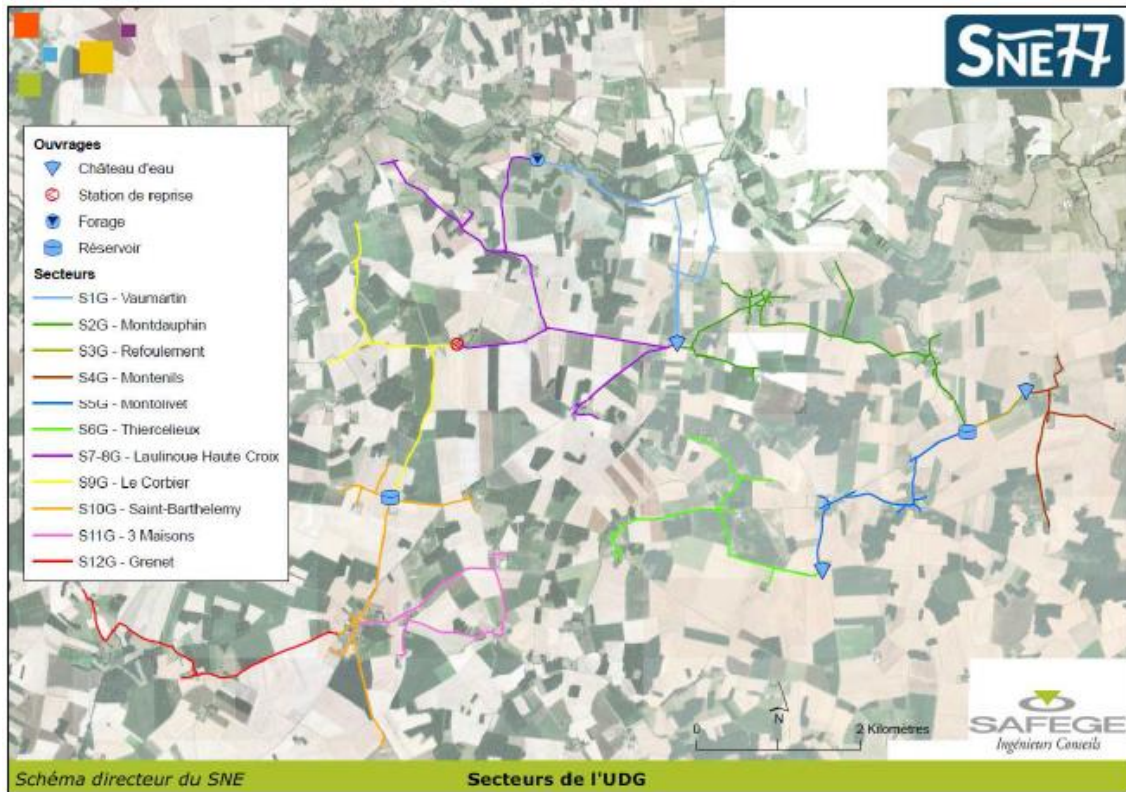


Figure 20 : Localisation des secteurs de l'unité de distribution G (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

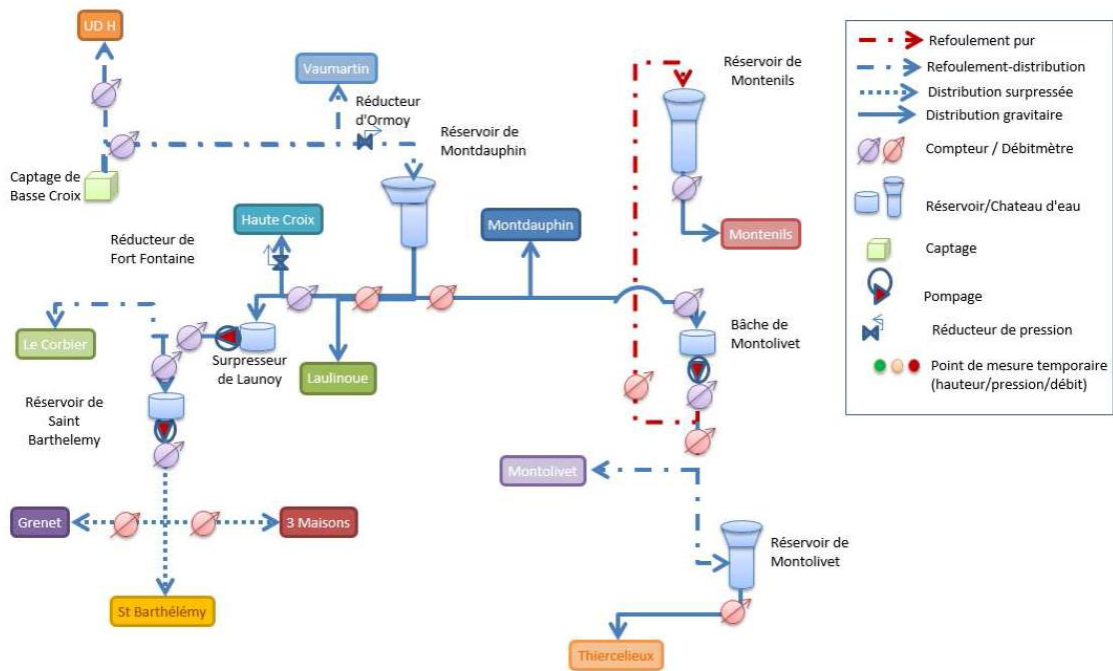


Figure 21 : Synoptique de l'unité de distribution G (Source : SDAEP SNE77, SAFEGE 2015)

4 CARACTERISATION DU SYSTEME AQUIFERE CONCERNE

4.1 Contexte géologique

4.1.1 Cadre géologique

Le soubassement de la plaine de la Brie est formé par les calcaires de Brie du Rupélien. Les vallées de la Seine et de l'Yerres se sont encaissées à la faveur de plis synclinaux (fosse de Melun-Draveil et fossé de Longjumeau) jusqu'aux calcaires de Champigny (Rupélien), celle du Grand Morin jusqu'aux formations du Bartonien, voire localement, du Lutétien dans son cours aval, celles du Petit Morin et du Surléon jusqu'au Lutétien.

La commune de Verdelot repose, suivant l'altitude successivement sur les formations affleurantes suivantes.

Tableau 4 : Contexte géologique général

Cadre National	Contexte de la commune Verdelot	Affleurement sur le secteur d'étude
Grand système multicouche de l'Oligo-Miocène	Sables et grès de Fontainebleau de l'Oligo-Miocène	Formations affleurantes
	Calcaires de Brie du Rupélien (Oligocène inf.)	
Grand domaine hydrogéologique de l'Oligocène inf. à l'Eocène sup. (Sannoisien au Ludien)	Marnes vertes et supragypseuses du Rupélien (Oligocène inf.)	Formations non affleurantes
Grand système multicouche de l'Eocène	Masses et marnes du gypse de l'Eocène	
	Sables de Monceau, de Marines, de Cresnes du Marinésien supérieur (Bartonien inf.)	
	Calcaires de Saint-Ouen du Bartonien inf.	
	Sables du Marinésien (sables de Mortefontaine, Calcaire de Ducy, Sables d'Ezanville) et de l'Auversien (Sables de Beauchamp, d'Auvers)	
	Marnes et caillasses du Lutétien sup.	
Grand domaine hydrogéologique des Argiles de l'Yprésien inf. (Sparnacien)	Calcaires et sables du Lutétien	
	Sables de Cuise de l'Yprésien sup.	
	Argiles, sables et lignites de l'Yprésien inf.	
	Argiles plastiques de l'Yprésien inf.	

Dans la vallée du Petit Morin, les alluvions épaisses de 3 à 7 m sont constituées de sables plus ou moins argileux avec des passées tourbeuses. Les alluvions masquent le Calcaire grossier glauconieux et sableux du Lutétien inférieur, épais d'une vingtaine de mètres, qui surmonte lui-même l'Yprésien à dominante argileuse et qui recèle des passées ligniteuses.

A l'aplomb du plateau, l'horizon constitué par les Calcaires du Lutétien inférieur est surmonté par les Marnes et Caillasses (Lutétien supérieur) épais d'une quinzaine de mètres, puis par les Sables plus ou moins argileux de Beauchamp (Bartonien inférieur) dont la puissance est d'environ 10 m. Au-dessus et jusqu'à la cote +200 se succèdent de bas en haut les horizons alternativement argileux et calcaires allant du Bartonien moyen (Saint-Ouen) au Sannoisien inférieur (Brie).

La série stratigraphique intéressant le bassin versant, de haut en bas, est :

- Glaise verte et Glaise à Cyrènes

De puissance d'environ 5m, l'argile verte compose le substratum imperméable aux calcaires de Brie

- Marnes supragypseuses (Marnes de Pantin et d'Argenteuil)

Les marnes de Pantin sont calcareuses tandis que celles d'Argenteuil sont argileuses. L'épaisseur totale de ces marnes oscille entre 12 et 14m avec prédominance des marnes d'Argenteuil (entre 9 et 11m)

- Marnes et Calcaire de Champigny

Apparaissant sous forme de blocs de meulière, de calcaire siliceux jaune ou encore sous forme de marne, sa puissance varie autour de 20 mètres

- Marnes infra-gypseuses et Marnes à Pholadomyes

Marnes fossilifères d'une épaisseur oscillant entre 2 et 3.5m sur la zone d'étude.

- Calcaire de Saint-Ouen

Principalement composé de marnes et s'étendant sur une épaisseur d'environ 20 mètres. Il constitue une barrière plus ou moins imperméable entre le calcaire de Champigny et l'ensemble aquifère multicouche constitué par les sables de l'Auversien, le calcaire du Lutétien et le faciès détritique de l'Yprésien.

- Sable et Grès de Beauchamp

Sables quartzeux bien classé, homogène, de couleur claire avec une partie supérieure grésifiée. Leur épaisseur peut atteindre la dizaine de mètres.

- Calcaire du Lutétien

Ensemble constitué dans sa partie supérieure d'un calcaire marneux (marnes et caillasses) et dans sa partie inférieure d'un calcaire grossier à silex fortement fracturé. L'épaisseur totale peut atteindre une vingtaine de mètres.

- Sables et argiles de l'Yprésien

Argile franche surplombée par un faciès détritique (sables de Cuise). L'argile forme une barrière imperméable entre l'ensemble multicouche cité précédemment et la craie du Sénonien. L'épaisseur de l'argile et des sables de Cuise est d'une dizaine de mètres au total.

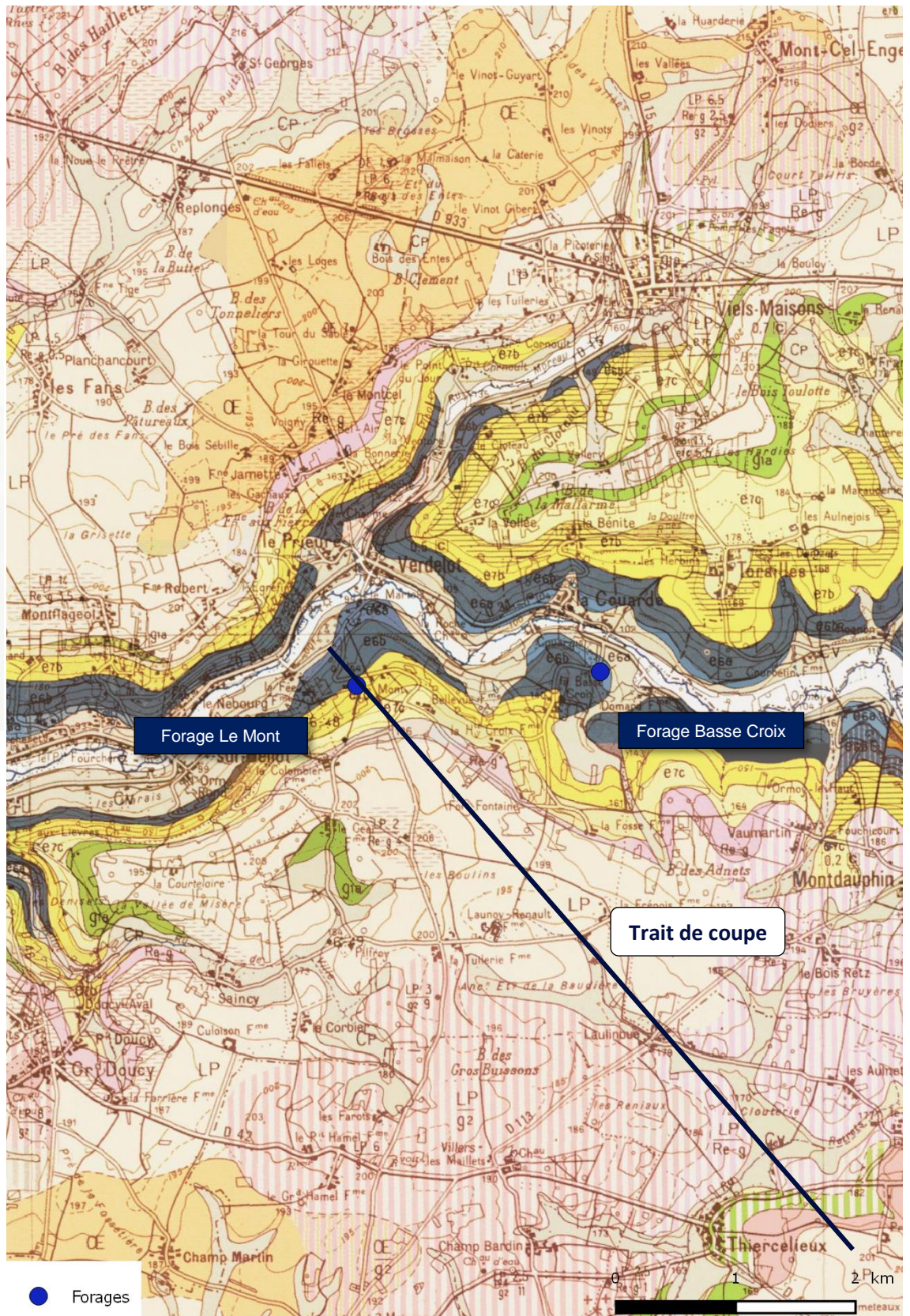
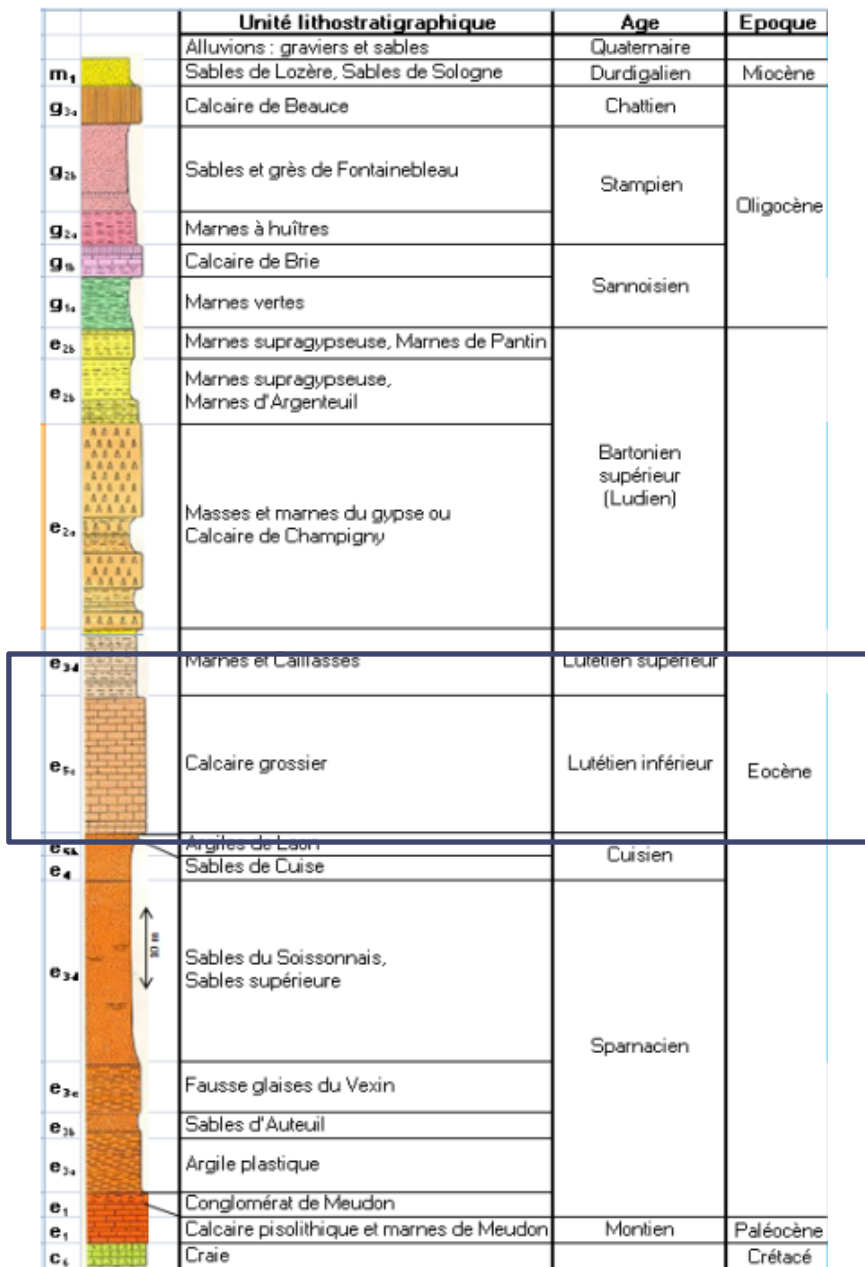


Figure 22 : Contexte géologique de la commune de Verdolot (Source : BRGM)



Formations captées par les forages

Figure 23 : Série Lithostratigraphie de la région Ile-de-France (Source : BRGM/RP-53306-FR, 2004)

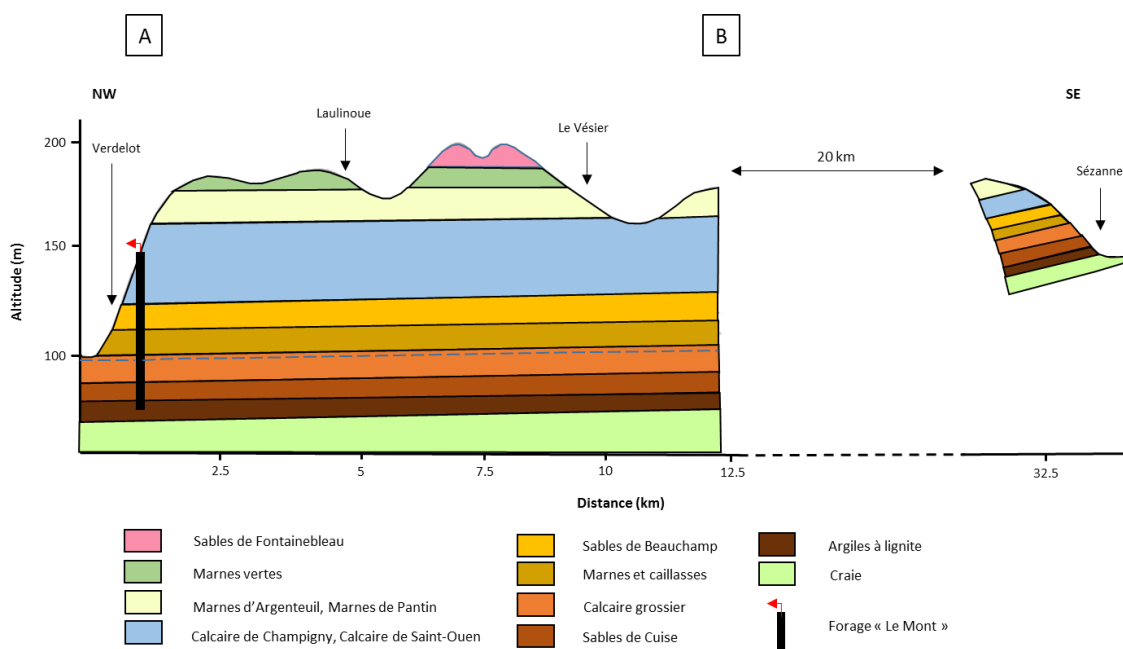


Figure 24 : Coupe géologique synthétique du secteur d'étude

4.1.2 Caractéristiques géologiques des formations de l'Eocène moyen et inférieur

L'Yprésien et le Lutétien sont des étages géologiques occupant respectivement la base et le milieu de l'Eocène.

L'Yprésien comprend deux sous-étages : le Sparnacien à la base, composé essentiellement d'argiles entrecoupées de niveaux sableux, et le Cuisien au sommet représenté par des sables.

Le Lutétien supérieur est formé de marnes et caillasses tandis que le Lutétien moyen et inférieur est caractérisé par des calcaires grossiers, devenant sableux et glauconieux à la base.

L'Eocène moyen et inférieur est donc considéré comme un ensemble multicouche complexe où les modalités de connexions entre les diverses formations varient dans l'espace, les différentes couches perméables pouvant être, par endroit individualisées par lits argileux.

Les forages captent plus particulièrement les calcaires grossiers du Lutétien.

Le Lutétien affleure dans la vallée du Petit Morin entre les communes de Le Thout-Trosnay (Marne) et La Celle-sous-Montmirail (Aisne). Cet étage correspondant à une transgression, il ne comporte pas ici les couches du Lutétien inférieur connues plus à l'Ouest dans le centre du bassin de Paris.

La partie inférieure de la série est constituée par un sable calcaire et siliceux, contenant des grains épars de glauconie, tendre, de couleur ocre. Il contient une faune très abondante et très riche en espèces, datant le dépôt du Lutétien moyen.

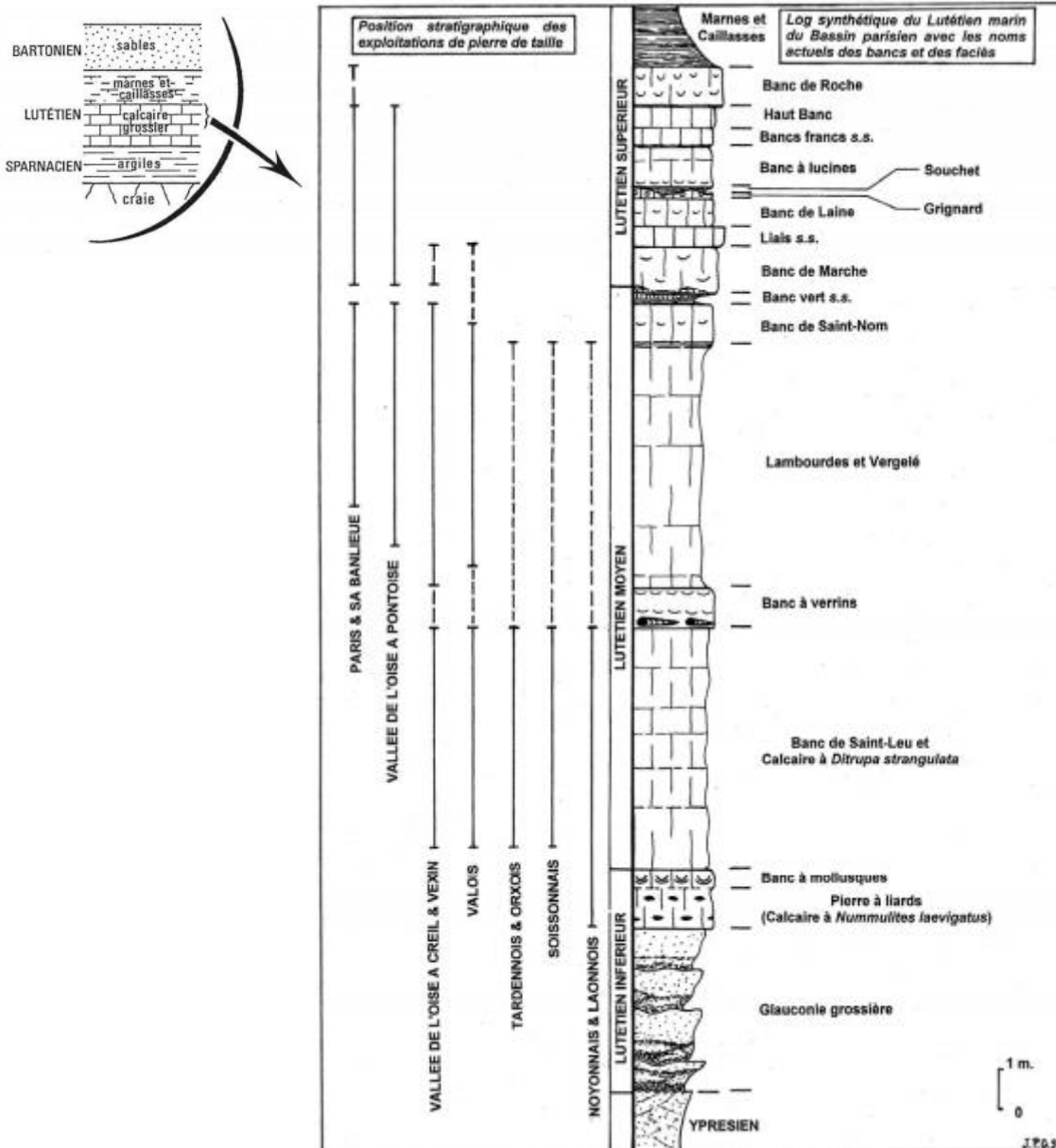


Figure 25 : - Coupe géologique synthétique du Lutétien du Bassin parisien (Source : Jean-Pierre Gély, 2009)

○ Etendue du Lutétien

Ces formations couvrent le centre du bassin parisien de la Champagne jusqu'à la Normandie.



Figure 26 : Carte d'extension actuelle des formations du Lutétien dans le Bassin parisien (Source : Jean-Pierre Gély, 2009)

○ Limites verticales

Les formations perméables du Lutétien moyen et inférieur forment un aquifère épais de 10 à 50 m. Au droit des forages, les calcaires grossiers y sont très fissurés. Leur puissance est d'une quinzaine de mètres.

Le toit de l'aquifère des calcaires et sables du Lutétien peut être considéré comment étant la base :

- Des marnes et caillasses du Lutétien supérieur si l'on considère le contraste de perméabilité verticale / horizontale.
- Des marnes infra-gypseuses du Bartonien, dans le Marinésien, lorsqu'il peut y avoir des échanges hydrauliques au travers des marnes et caillasses, ce qui semble être le cas dans la zone d'étude.
- Les limites de l'aquifère du Lutétien

En l'absence des argiles de Laon continues et épaisses, les calcaires inférieurs du Lutétien sont en communication hydraulique direct avec les sables de l'Yprésien supérieur. Ils ne peuvent alors en être dissociés sur le plan hydraulique.

Le mur de l'aquifère est séparé de la craie par les argiles de la base de l'Yprésien.

○ Niveaux producteurs

Il n'est cependant pas possible de considérer les marnes et caillasses comme totalement imperméable puisqu'il est admis dans la littérature que ce niveau augmente les transmissivités lorsqu'il est capté en plus des formations sous-jacentes.

De plus, l'atlas des aquifères de la région parisienne indique la possibilité de circulations horizontales et verticales au sein de ces marnes. Des échanges par drainance sont donc possibles. Enfin, les coupes foreurs signalent des faciès plutôt calcaire pour le niveau des marnes et caillasses.

La porosité est de plusieurs types : à la fois fissurale et interstitielle pour les calcaires grossiers et les marnes et caillasses, puis essentiellement interstitielle pour les sables de Cuise.

Ce réservoir est connu dans la région pour offrir des débits spécifiques souvent supérieurs à 5 m3/h/m.

4.1.3 Coupe géologique interprétative

La coupe géologique suivante est située à l'Ouest du secteur d'étude. Elle reste cependant cohérente avec le contexte Nord-Sud de la commune de Verdelot.

En dehors des alluvions quaternaires des vallées et des limons de pentes ou de plateaux, la série stratigraphique est, de haut en bas, la suivante.

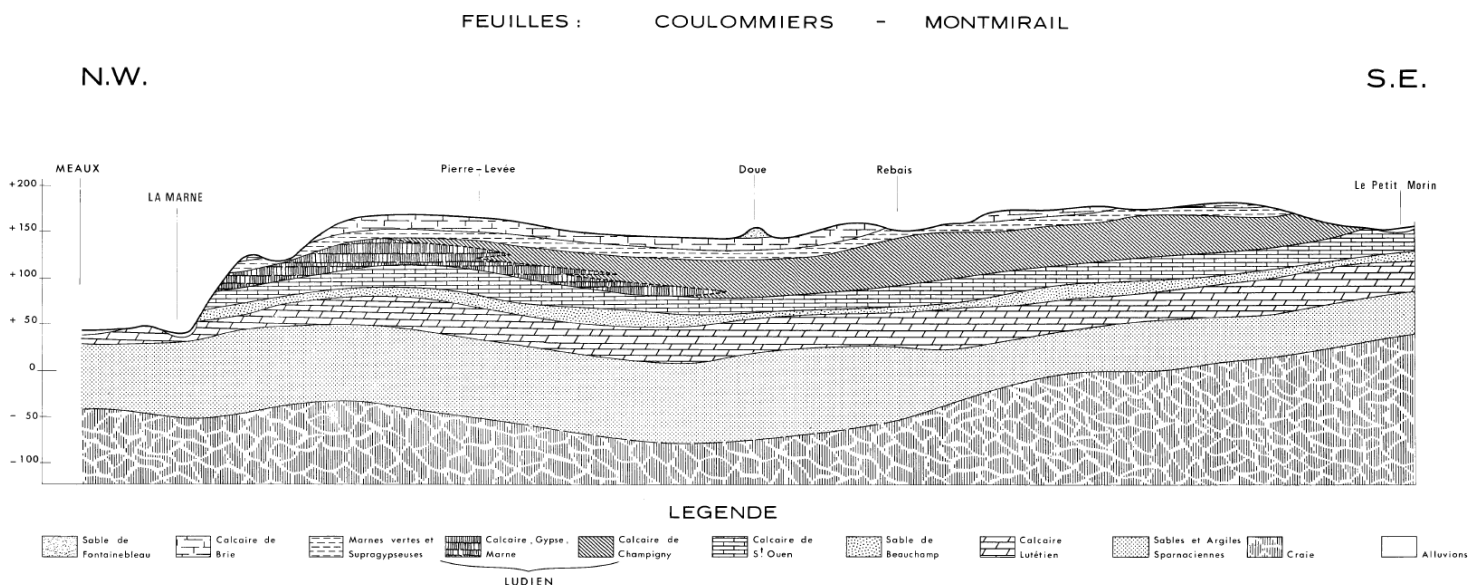


Figure 27 : Coupe géologique schématique (Source : Rapport BRGM 64-DSGR-A-028, 1964)

4.1.4 Contexte structural

Les couches géologiques sont effectuées d'un pendage général de 0.7% s'enfonçant dans une direction Ouest (vers le centre du bassin parisien). L'effet de ce pendage est particulièrement visible avec la vallée du Petit Morin qui met à l'affleurement des formations de plus en plus anciennes d'Ouest en Est.

Le contact entre les calcaires du Lutétien et les argiles et sables de l'Yprésien est assez net pour pouvoir être apprécié au mètre près à l'échelle régionale. Elle permet donc une représentation précise des différents plis. L'étude de ce contact montre que les forages se situent entre l'anticlinal de « Rebaïs-Montmirail » et le synclinal de la « Ferté Gaucher ».

Les plis structuraux ne semblent pas jouer sur l'épaisseur des couches géologiques à petites échelles.

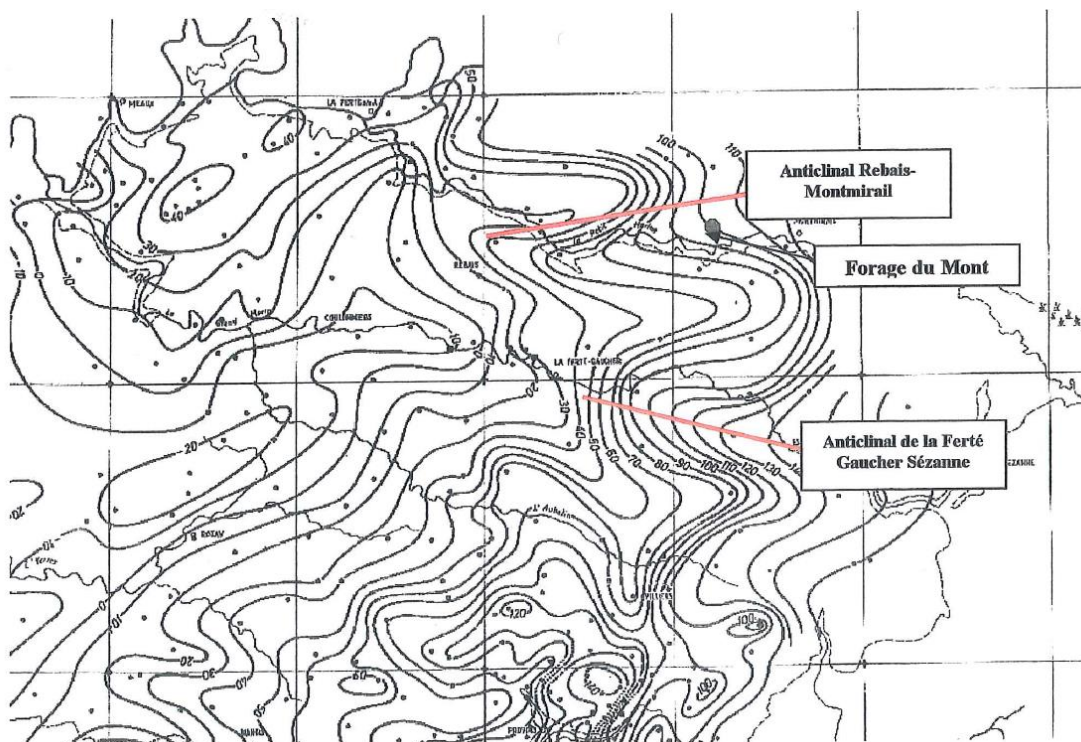


Figure 28 : Structure du contact du Lutétien et de l'Yprésien (Source : Mégnien, 1979)

4.1.5 Contexte géologique du bassin versant du Petit Morin

Le bassin versant du Petit Morin trace 2 grands secteurs géologiques.

La partie amont du bassin versant est située dans la champagne où la craie cénomaniennne affleure.

La partie aval du bassin versant du Petit Morin est située dans le plateau de la Brie Champenoise où les formations tertiaires affleurent.

Les calcaires du Lutétien sont globalement recouverts par les formations de l'Eocène supérieur (Sables de Beauchamp, Calcaires de Champigny). Cependant, ils affleurent dans la vallée sous les alluvions (récentes et anciennes) du Petit Morin entre les communes de Le Thout-Trosnay (Marne) et La Celle-sous-Montmirail (Aisne).

A ce stade, nous n'avons pas trouvé d'informations concernant le contact alluvions/calcaires du Lutétien.

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdelot (77)

Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

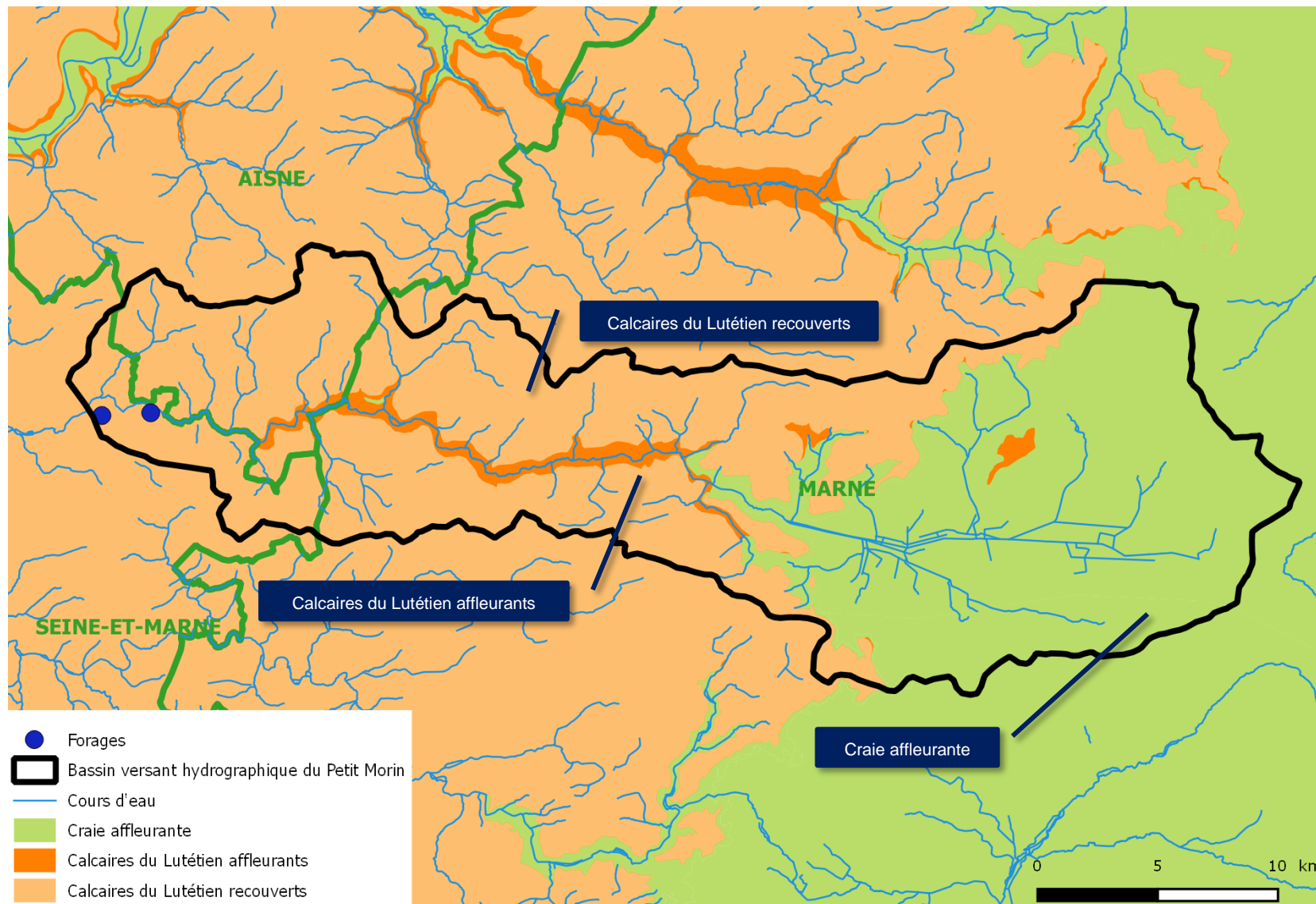


Figure 29 : Contexte géologique du bassin versant du Petit Morin à l'amont des forages de la commune de Verdelot (Source : BDcarthage, BRGM BDLISA)

4.2 Contexte hydrogéologique

4.2.1 Aquifères régionaux

A l'échelle régionale, on distingue plusieurs aquifères :

- L'aquifère des sables et grès de Fontainebleau ou de l'Oligocène

Il renferme une nappe perchée. Elle est peu importante et n'existe que plus au Sud de notre zone d'étude, dans la vallée du Grand Morin. Le mur de l'aquifère est constitué par les séries marneuses de la base du Stampien. La nappe est exploitée pour l'alimentation en eau du bétail et de quelques fermes isolées.

- L'aquifère de Champigny ou de l'Eocène supérieur

Cet aquifère, est un ensemble multicouche regroupant notamment les calcaires de Champigny, les calcaires de Saint-Ouen et les formations sableuses du Bartonien. Des épontes existent entre les formations constituant cet ensemble multicouche, mais celles-ci sont d'épaisseurs variables dans l'espace et peuvent autoriser des échanges entre les diverses formations aquifères. Le mur de cet ensemble aquifère du Champigny est communément représenté par les marnes et caillasses du Lutétien supérieur.

- L'aquifère de l'Eocène inférieur et moyen

Il est considéré comme un ensemble multicouche complexe où les modalités de connexions entre les diverses formations varient dans l'espace, les différentes couches perméables pouvant être, par endroit individualisées par lits argileux. Le système regroupe les marnes et caillasses de la partie supérieure du Lutétien, les calcaires grossiers du Lutétien, puis les sables du Lutétien inférieur.

La porosité est de plusieurs types : à la fois fissurale et interstitielle pour les calcaires grossiers et les marnes et caillasses, puis essentiellement interstitielle pour les sables de Cuise.

Cet aquifère est communément séparé de celui du Champigny par les marnes et caillasses. Il n'est cependant pas possible de considérer cet horizon comme totalement imperméable puisqu'il est admis dans la littérature que ce niveau augmente la transmissivité lorsqu'il est capté en plus des formations sous-jacentes. De plus l'atlas des aquifères de la région parisienne indique la possibilité de circulations horizontales et verticales au sein de ces marnes. Des échanges par drainance sont donc possibles. Enfin, les coupes foreurs signalent des faciès plutôt calcaire pour le niveau des marnes et caillasses. Le mur de l'aquifère est caractérisé par les argiles de la base de l'Yprésien. Ce réservoir est connu dans la région pour offrir des débits spécifiques souvent supérieurs à 5 m³/h/m.

Au droit des forages, les calcaires grossiers y sont très fissurés. Leur puissance est d'une quinzaine de mètres

- L'aquifère des alluvions du Petit Morin

Les alluvions récentes, de nature limono-argileuses déposés par le Petit Morin contiennent une nappe dont l'extension est réduite du fait de l'encaissement de la vallée. Elle semble déconnectée de la nappe de l'éocène moyen et inférieur.

Le schéma suivant donne la succession des formations aquifères au regard de la colonne lithostratigraphique.

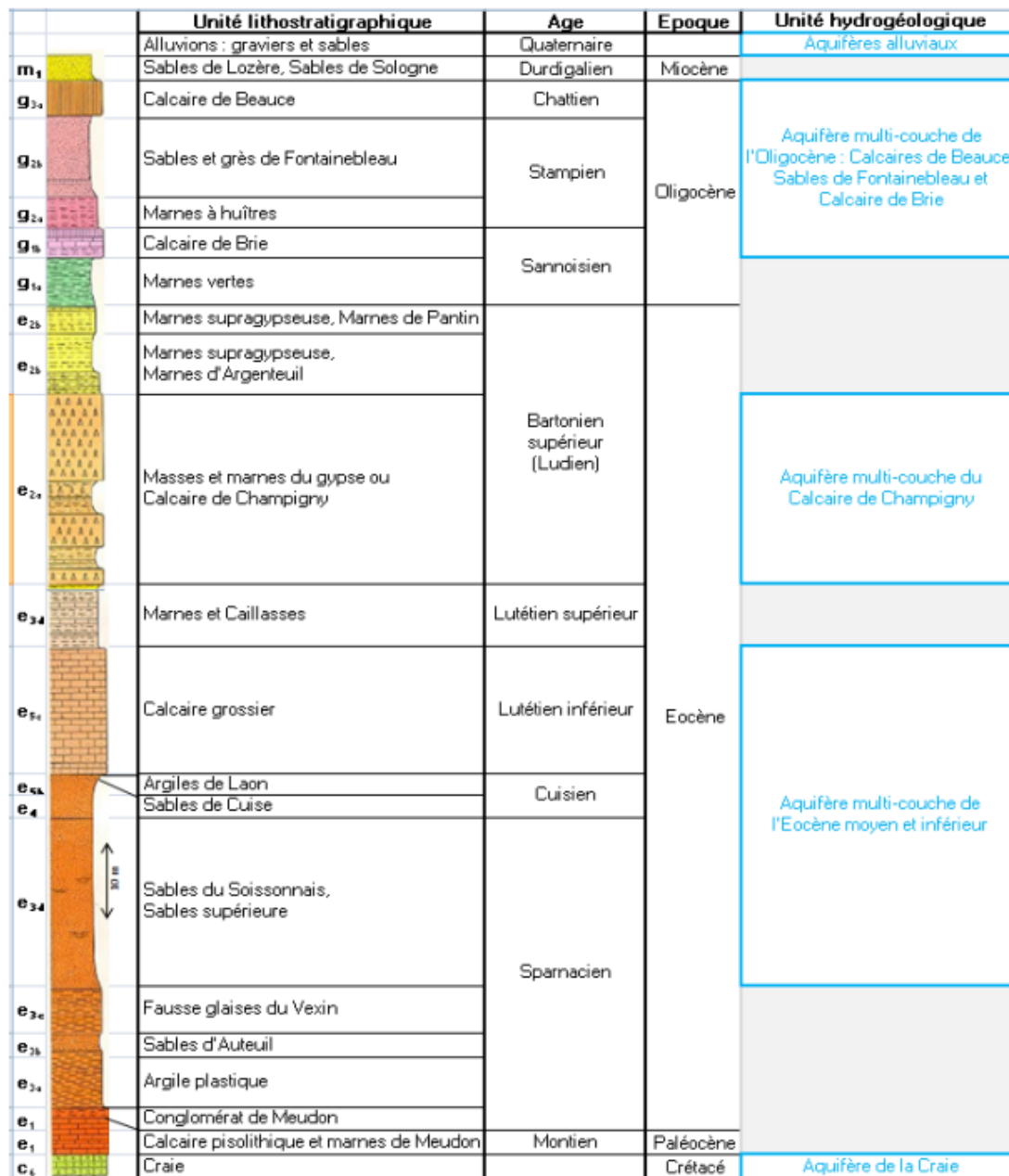


Figure 30 : Echelle stratigraphique et aquifère du Bassin parisien. (Source : BRGM/RP-53306-FR, 2004)

4.2.2 Aquifère concerné : Eocène moyen et inférieur

Le système aquifère de la Brie est complexe, formé d'un multicouche de réservoirs, séparés par des terrains géologiques semi-perméables. L'aquifère continu du Lutétien et de l'Yprésien supérieur est individualisé de l'aquifère sus-jacent du Bartonnien par les marnes et caillasses et les sables peu perméables de Beauchamp, au travers duquel les communications sont possibles, soit par disparition de ces horizons, soit par percolation ou drainance verticale.

Les nappes supérieures recelées dans les Calcaires du Brie ou dans ceux du Champigny (Bartonnien moyen) donnent naissance à quelques petites sources. Il y a une nappe relativement puissante dans le Lutétien. Cette nappe est drainée par la vallée du Petit Morin ; elle s'écoule sensiblement vers le Nord-Ouest dans la commune de Verdelot en rive gauche du Petit Morin ;

son niveau piézométrique est voisin de la cote + 100 et se trouve donc sensiblement au niveau du fil de l'eau de la rivière.

En amont du secteur d'étude dans la vallée du Petit Morin, nous pouvons supposer que les alluvions et le Petit Morin sont en relation avec l'aquifère du Lutétien.

A l'échelle locale, les forages étudiés montrent que les formations du Marinésien sont à dominante marneuse.

Ces formations jouent donc, ici, un rôle d'un terrain semi-perméable séparant, plus ou moins parfaitement, l'aquifère des calcaires du Champigny, d'un **ensemble regroupe les sables de l'Auver sien, les calcaires du Lutétien, les calcaires grossiers et les sables de l'Yprésien**.

Ce faciès semi perméable est confirmé par :

- Les sources liées à la présence des marnes supragypseuses à la cote 170-180 m NGF
- Les sources liées à la présence des formations à dominante marneuse du Marinésien. Ce sources, plus productives que les précédentes vidangent l'aquifère formé par les calcaires de Champigny. Elles sont situées à la cote 140-150 m NGF.

L'aquifère capté par les forages est donc l'ensemble l'aquifère de l'Eocène moyen et inférieur composé des sables de l'Auver sien, des calcaires du Lutétien et des sables de l'Yprésien.

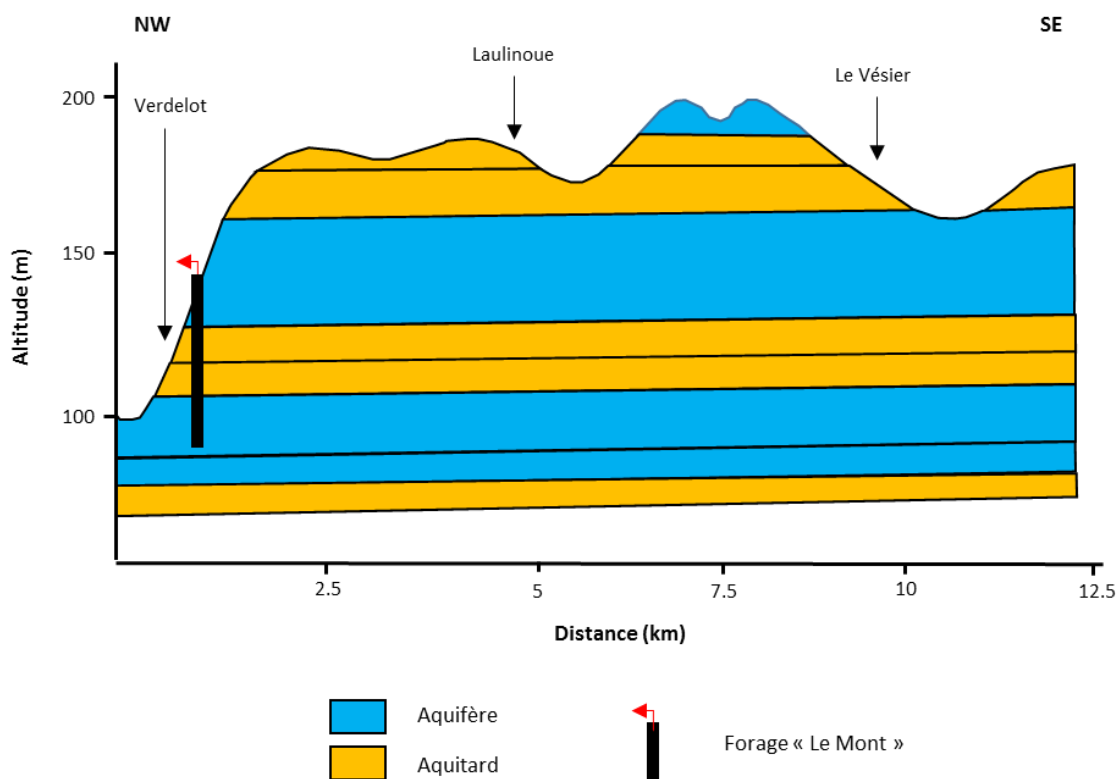


Figure 31 : Coupe hydrogéologique synthétique du secteur d'étude

4.2.3 Conditions de recharge

L'aquifère multicouches de l'Eocène inférieur et moyen non affleurant sur le secteur d'étude est alimenté par la drainance verticale des aquifères sus jacents.

Le modelé karstique caractérise un paysage affectant les régions calcaires. Il est principalement dû à la dissolution des carbonates par les eaux météoritiques chargées en gaz carbonique. On

distingue communément l'endokarst et l'exokarst, le second étant la manifestation des phénomènes de dissolution à la surface du sol (doline, mardelles et dépressions).

Peu de traces du modelé karstique ont été mise en évidence dans le secteur d'étude.

Cependant, les calcaires de Champigny qui affleurent à flanc de coteaux sont connus pour être fissurés, certaines fissures s'ouvrant en de véritables conduits karstiques.

Les bancs calcaires constitutifs du faciès Marnes et caillasses sont aussi connus pour être parcourus par des fissures d'ouverture décimétriques.

Enfin, le commentaire de la coupe stratigraphique du forage réalisé par SAFEGE mentionne des zones très fracturées dans les calcaires grossiers du Lutétien.

Une continuité des conduits karstiques ouverts dans les calcaires de Champigny avec les fissures des formations sous-jacentes pourrait conduire les eaux d'infiltration des sources jusqu'à la ressource captée par des transferts verticaux très rapides.

En amont du secteur d'étude dans la vallée du Petit Morin, nous pouvons supposer que les alluvions et le Petit Morin sont en relation avec l'aquifère du Lutétien.

Des modifications anthropiques des conditions naturelles de recharge sont constatées sur le secteur d'étude. En effet, quelques parcelles agricoles peuvent être drainées.

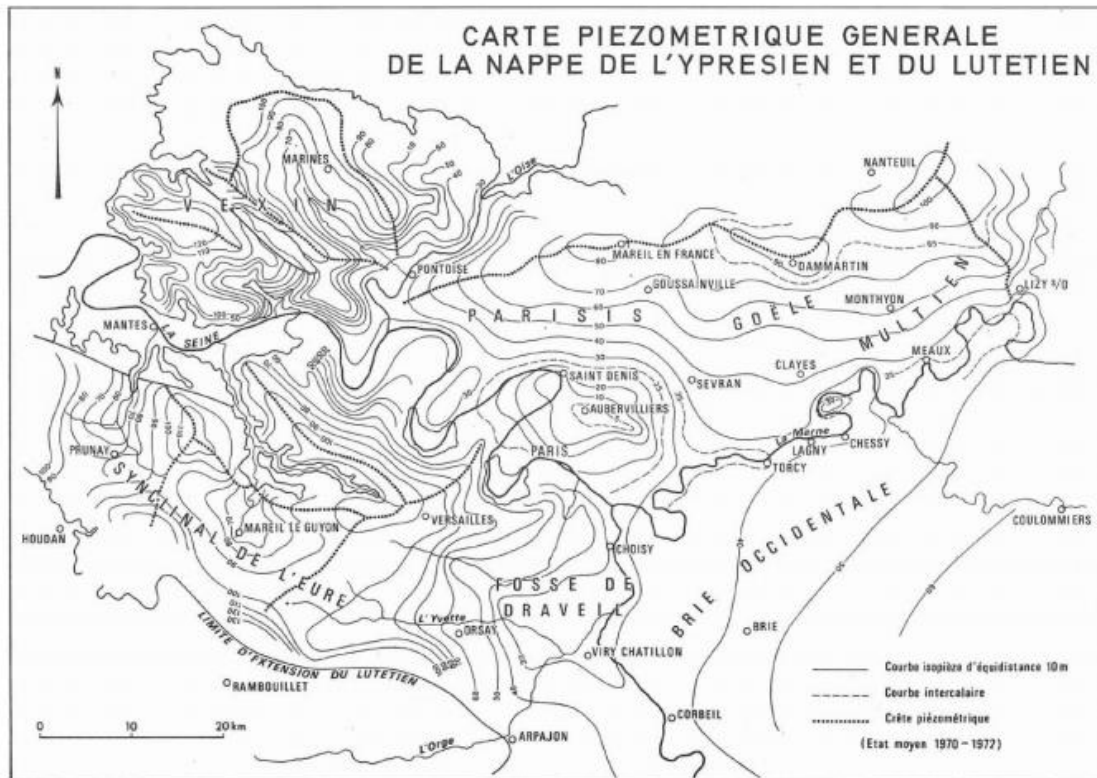
4.2.4 Piézométrie

Les cartes piézométriques de référence de la nappe de l'Eocène moyen et inférieur ont été réalisées à trois périodes :

Sur l'ensemble du Bassin parisien, les cartes piézométriques disponibles du Lutétien et de l'Yprésien supérieur ont été réalisées entre 1962 et 1975, par carte géologique au 1/50000. Chaque carte a fait l'objet d'une recherche de point d'eau et de mesures sur une année. Ces piézométries ne sont donc pas synchrones et ne distinguent pas les nappes du Lutétien et de l'Yprésien supérieur, lorsqu'elles sont individualisées. En effet, ces cartes piézométriques ainsi que leurs synthèses régionales présentent la piézométrie d'un système unique dit de « l'Eocène moyen et inférieur » regroupant les formations du Lutétien et de l'Yprésien supérieur.

- Carte générale de la nappe du Lutétien-Yprésien, de 1970 à 1972 *source : Hydrogéologie du centre du bassin de Paris : contribution à l'étude de quelques aquifères principaux. Thèse Université Paris VI. Mémoires du BRGM n° 98 (C. Mégnien, 1979)*

La carte ne couvre pas le secteur d'étude.



Forages

Source : Mégnier C., 1976 (p416)

Figure 32 : Carte générale de la nappe du Lutétien-Yprésien, de 1970 à 1972 (Source : Cl. Mégnier, Atlas des aquifères du bassin parisien, 1976)

○ Carte de la nappe de l'Éocène inférieur dans le secteur de la Brie, année 1974 source : *Alimentation en eau potable des villes nouvelles du sud-est de la région parisienne. Note technique n°6 - Relations entre la nappe des calcaires de Champigny et celle de l'Yprésien, Rapport BRGM - NOTE/74-BDP-005.*

La première carte date de 1974 et représente les hautes eaux estimées par BURGEAP-BRGM [Mégnier et al., 1979]. Le sens d'écoulement des eaux est orienté Est-Ouest. La vallée du Petit Morin est l'exutoire principal de cette nappe dans la zone d'étude.

La carte concerne uniquement la rive gauche du Petit Morin. Les forages sont situés en limite de la zone couverte par la carte. Elle est peu précise à l'échelle des forages, elle ne sera pas retenue pour la suite du projet.

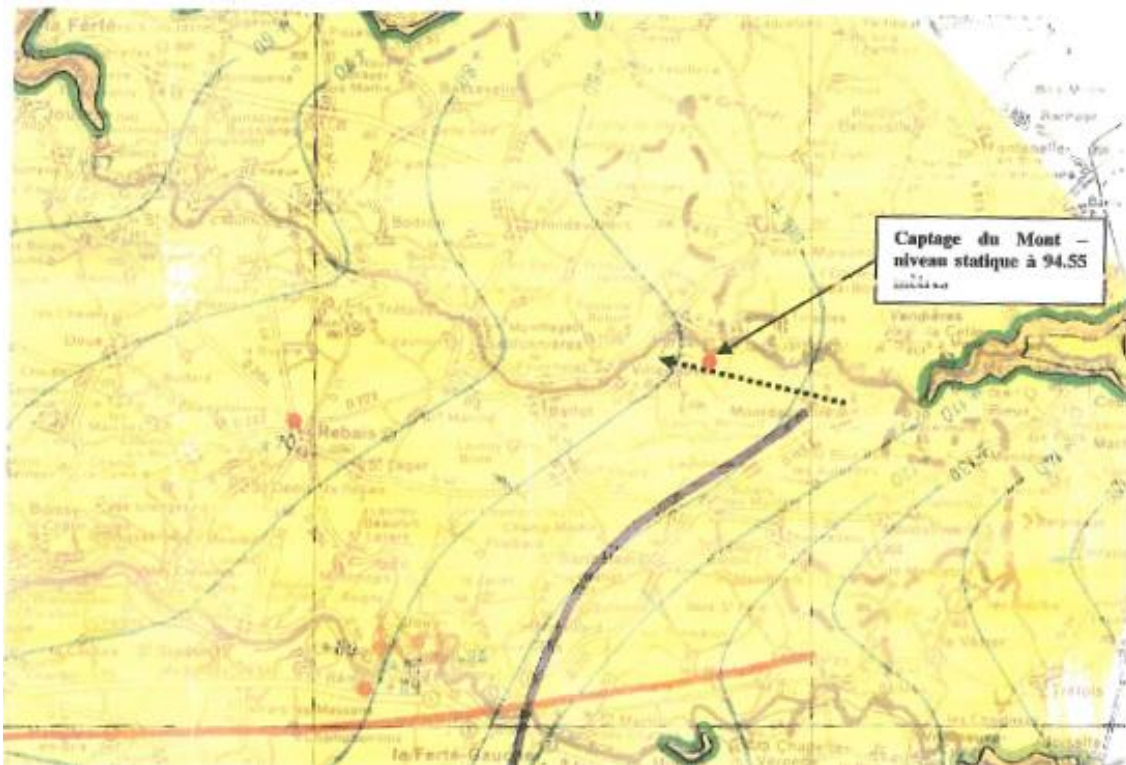


Figure 33 : Carte de la nappe de l'Éocène inférieur dans le secteur de la Brie, année 1974 (Source : Cl. Mégien, Atlas des aquifères du bassin parisien, 1979)

○ Cartes piézométriques basses eaux 2013 et hautes eaux 2014 des nappes du Lutétien et de l'Yprésien supérieur dans le Bassin Parisien. source : Rapport BRGM/RP-64887-FR

La carte de la nappe du Lutétien hautes eaux 2014 couvre largement la zone d'étude.

Les situations de basses eaux et de hautes eaux sont identiques sur le secteur d'étude nous retiendrons la situation de basses eaux pour délimiter la portion de nappe du captage.

Cependant, il faut noter que les points d'eau sont principalement situés dans les vallées de la Marne, du Petit Morin et du Grand Morin où les calcaires du Lutétien sont les moins profonds. Les isopièzes sur les plateaux sont donc fiables.

Il est difficile de distinguer les surfaces piézométriques du Lutétien et de l'Yprésien supérieur puisqu'en général les niveaux statiques s'équilibrent. Les argiles de Laon ne seraient présentes qu'à l'extrême nord-est de la Brie et les nappes du Lutétien et de l'Yprésien sont souvent considérées comme étant en continuité.

Le sens d'écoulement général s'effectue vers l'ouest et fait ressortir la forte influence des vallées de la Seine et de la Marne et des structures synclinales qu'elles empruntent : fosse de Draveil Melun d'un part et fosse de Saint-Denis d'autre part. De manière générale, les crêtes piézométriques sont présentes sous les plateaux et les cours d'eau jouent un rôle important de drainage de la nappe.

La nappe est très plate et les gradients hydrauliques demeurent faibles. Au droit des captages, le gradient hydraulique est d'environ 3‰.

En amont du secteur d'étude au droit de la commune de Montmirail dans la vallée du Petit Morin, l'interprétation de la piézométrie par le BRGM laisse penser à une zone de recharge significative de l'aquifère des calcaires du Lutétien affleurants. Toutefois à ce stade, nous ne disposons pas d'informations de relation entre cette zone de recharge des calcaires du Lutétien et les forages de la commune de Verdelot.

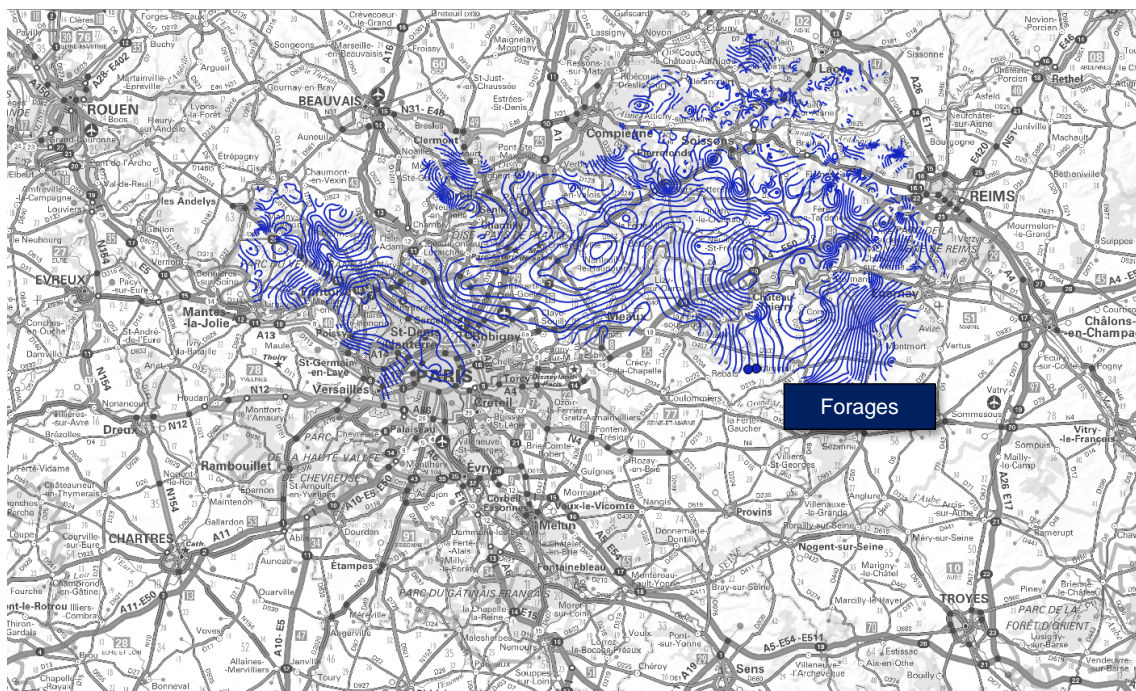


Figure 34 : Carte piézométrique de l'aquifère du Lutétien basses eaux 2013 (Source : RP-64887-FR, 2015)

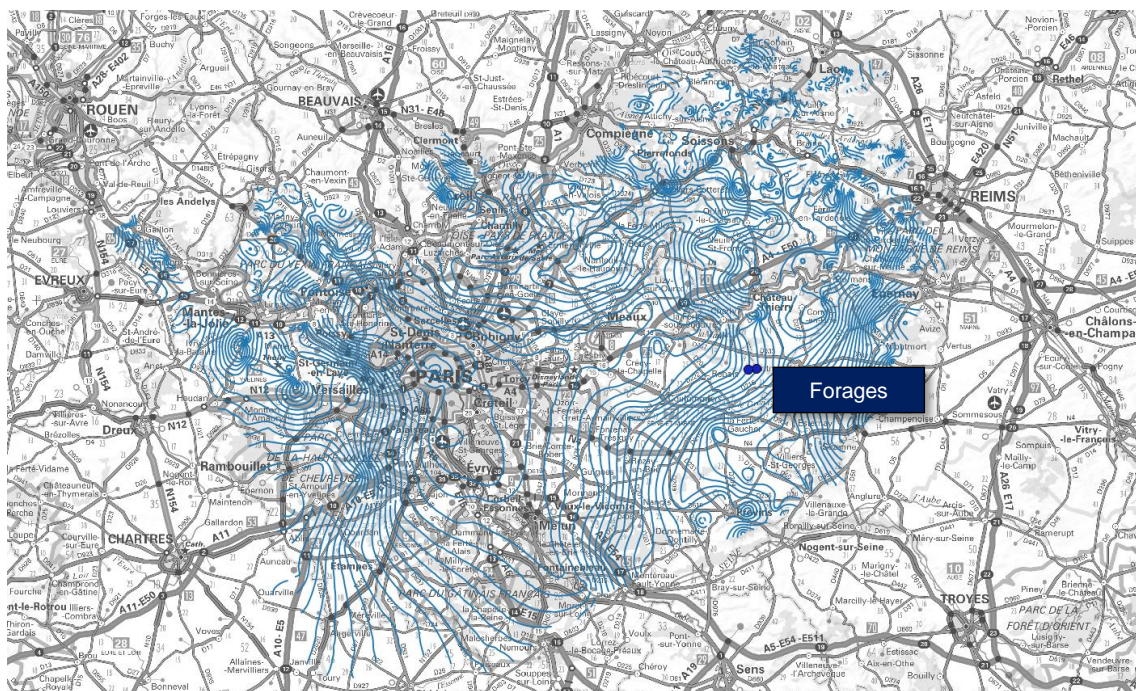


Figure 35 : Carte piézométrique de l'aquifère du Lutétien hautes eaux 2014 (Source : RP-64887-FR, 2015)

Il n'existe pas de périmètre à proximité du secteur d'étude permettant d'apprécier les fluctuations piézométriques de la nappe.

4.2.5 Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère

4.2.5.1 Résultats d'essai

○ Pompage MASSE, octobre 1992, essais par paliers

Deux essais par paliers ont été réalisés sur le captage Le Mont en octobre 1992 : le premier avant l'acidification de l'ouvrage et le second après. L'essai retenu par la suite est le second, après l'acidification. Cet essai a comporté quatre paliers de 1 heure non enchaînés avec une durée de remontée d'aussi 1 heure. Les caractéristiques de l'essai sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Essai de pompage par paliers suite à la création de l'ouvrage (1992)

Débit (m3/h)	Niveau initial (m)	Niveau dyn. (m)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m3/h/m)	Rabattement spécifique (m/m3/h)	Pertes de charge quadratique (% rabatement)
14.6	48.05	48.26	0.21	69.5	1.43E-2	30%
30.5	48.05	48.60	0.55	55.5	1.80E-2	47%
46.3	48.05	49.10	1.05	44.1	2.27E-2	58%
59.6	48.05	49.68	1.63	36.6	2.68E-2	64%

Les conclusions de l'essai par paliers après acidification sont :

- Débit critique non atteint à 59.6 m3/h.
- Débit spécifique de 36.5 m3/h à 59.6 m3/h.
- Equation de perte de charge de l'ouvrage : $s = 0.00975*Q + 0.000288*Q^2$

En novembre 1992, un pompage complémentaire a été réalisé afin de mieux cerner le débit critique de l'ouvrage. Cette opération a comporté deux paliers d'une heure, chaque palier étant suivi d'une remontée d'une durée équivalente. Les résultats des essais sont présentés ci-dessous.

Tableau 6 : Essai de pompage par paliers suite à la création de l'ouvrage (1992)

Débit (m3/h)	Niveau dyn. (m)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m3/h/m)
46	48.61	0.91	50.5
65	49.38	1.68	38.7

Les nouvelles conclusions apportées sont :

- Débit critique en-deçà de 65 m3/h.
- Rabattement maximal admissible inférieur à 5 m.

○ Pompage MASSE, octobre 1992, essai de longue durée

Pendant la même année, un essai de longue durée a été réalisé sur le captage Le Mont pendant 49.5 heures à un débit de 59.6 m3/h. Cet essai a fait l'objet d'un suivi de niveaux uniquement sur l'ouvrage de pompage. On ne peut donc en déduire un coefficient d'emménagement. Ce dernier a donc été évalué à l'aide du pompage d'essai par paliers en ne prenant en compte que les pertes de charges de la nappe (linéaires).

Les paramètres hydrodynamiques retenus lors de cet essai sont ;

- $T = 1.5.E-2 \text{ m}^2/\text{s}$
- $S = 5.E-3$

4.2.5.2 Synthèse des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère

Nous retiendrons les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère suivantes.

Tableau 7 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère

Paramètre	Valeurs	Commentaire
Transmissivité	10^{-2} à $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	Donnée de terrain mesurée au droit du captage de Doue considérée comme homogène sur le bassin versant
Porosité efficace	5%	Donnée bibliographique
Coefficient d'emmagasinement	$5 \cdot 10^{-3}$	Donnée bibliographique
Gradient hydraulique	4‰	Données mesurées sur la base de la carte piézométrique CEMAGREF de 1981
Drainance	-	Drainance verticale des calcaires de Champigny vers l'aquifère capté
Vitesse moyenne	126 m/an	

4.2.6 Relation avec les cours d'eau, distance, alimentation (pourcentage), colmatage,...

Pour rappel, les essais de pompage n'ont pas montré de relation avec des cours d'eau.

4.2.7 Echanges avec d'autres aquifères

Le schéma hydrogéologique du secteur d'étude confirme une drainance verticale des aquifères sus jacent des calcaires de Champigny vers l'aquifère capté. Il s'agit d'une drainance verticale gravitaire.

L'aquifère capté est rechargé par drainance verticale uniquement.

4.2.8 Rôle des failles

Pour rappel, aucune faille n'a été identifiée sur le secteur d'étude.

4.3 Pluie efficace ou drainance

D'après [S. Bellier, 2013], la drainance verticale de l'aquifère des calcaires de Champigny vers l'aquifère Marinésien/Lutétien/Yprésien (Eocène moyen et inférieur) à travers les marnes infraludiennes est estimée à 42 mm/an.

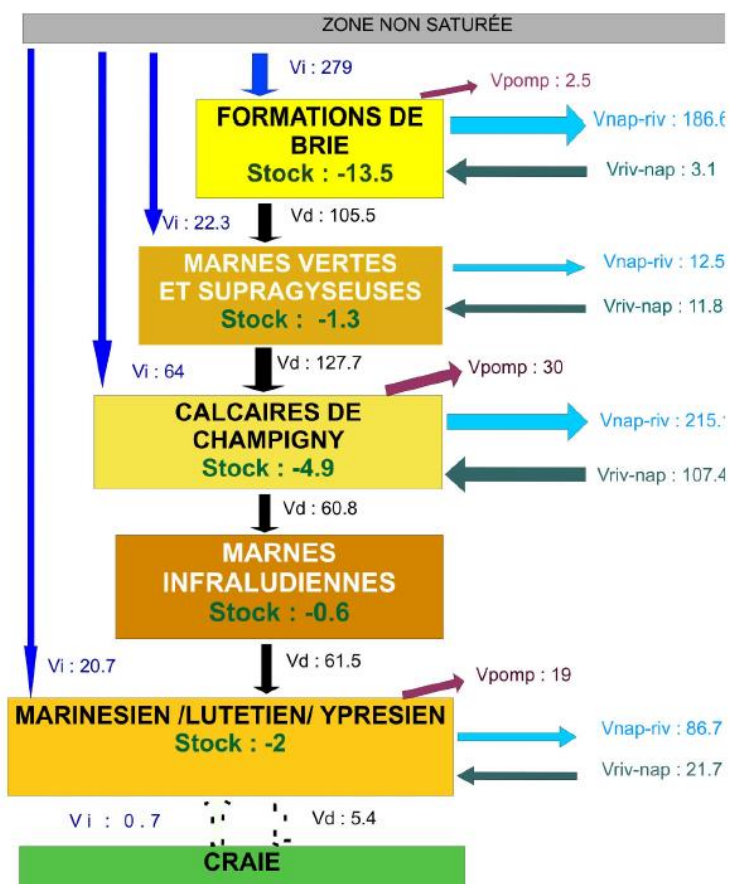


Figure 36 : Bilan en Mm3.an-1 sur l'ensemble de la zone d'étude entre 1971 et 2011. (Source : S. Bellier, 2013)

Vi : volume provenant des zones d'affleurements, *Vpomp* : volume pompé, *Vnap-riv* volume sortant par les rivières, *Vriv-nap* volume échangé entre les rivières et les nappes, *Vd* : volume échangé par drainance descendante, *Vstock* volume d'eau déstocké (< 0) ou stocké dans l'aquifère (> 0).

4.4 Qualité des eaux

4.4.1 Mesures de contrôle de la qualité de l'eau

L'eau prélevée par les forages présente régulièrement des non-conformités aux nitrates et aux pesticides d'après les relevés de l'ARS disponible sur la banque de données ADES pour la période 1997-2014.

Le forage Le Mont dispose de 9 prélèvements d'eau brute durant la période du 19/06/1997 au 13/06/2013, soit 831 analyses disponibles.

Le forage Basse Croix dispose de 9 prélèvements d'eau brute durant la période du 24/06/1998 au 29/05/2012, soit 830 analyses disponibles.

Les forages prélèvent au maximum 500 m3/j. Conformément à l'arrêté du 21 janvier 2010 modifiant l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution, la fréquence des prélèvements d'échantillons d'eau et d'analyses à effectuer chaque année est :

- sur la ressource :
 - une analyse de type RP tous les deux ans.

- 2 analyses de type RS.
- 4 analyses de type RSadd.
- Sur la distribution :
 - 3 analyses de type P1.
 - 1 analyse de type P2.
 - 9 analyses de type D1.
 - 1 analyse de type D2.

Pour le forage Basse Croix, nous avons complété les données d'eau brute, avec certaines données d'eau distribuée issues de la base de données OROBNAT à partir de 2000 (historique complet pour les nitrates). En effet, ce complément est acceptable en raison de l'absence de traitement avant distribution, à l'exception d'une désinfection par chloration. Etant le forage le plus proche du Petit Morin, nous avons cherché à identifier en priorité des indices des variations importantes au cours du cycle hydrologique mais aussi d'éventuels indices de relation avec le cours d'eau Petit Morin.

Pour le forage Le Mont, nous avons uniquement compléter les données d'eau brute, avec toutes les données disponibles d'eau distribuée issues de la base de données OROBNAT.

4.4.2 Caractérisation de l'aquifère

Pour rappel, un aquifère continu se caractérise par des paramètres stables ou des variations limitées au cours du cycle hydrologique. Un aquifère discontinu fissuré ou karstique se caractérise par des variations importantes au cours du cycle hydrologique.

4.4.2.1 Température

L'évolution de la température des eaux captées par les forages montre une évolution stable, caractéristique d'un aquifère continu.

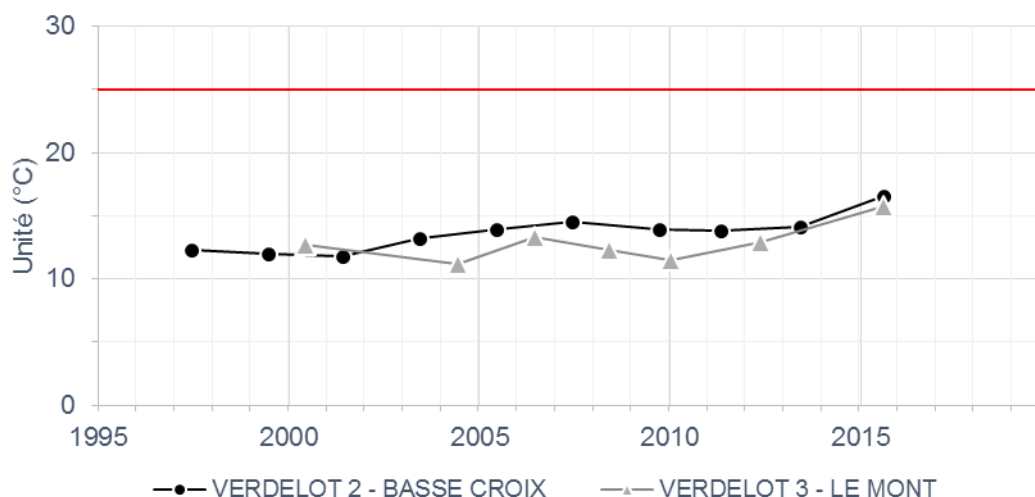


Figure 37 : Evolution des températures des eaux brutes des forages (Source : ADES)

4.4.2.2 Conductivité

L'évolution de la conductivité des eaux captées par les forages montre une évolution stable, caractéristique d'un aquifère continu.

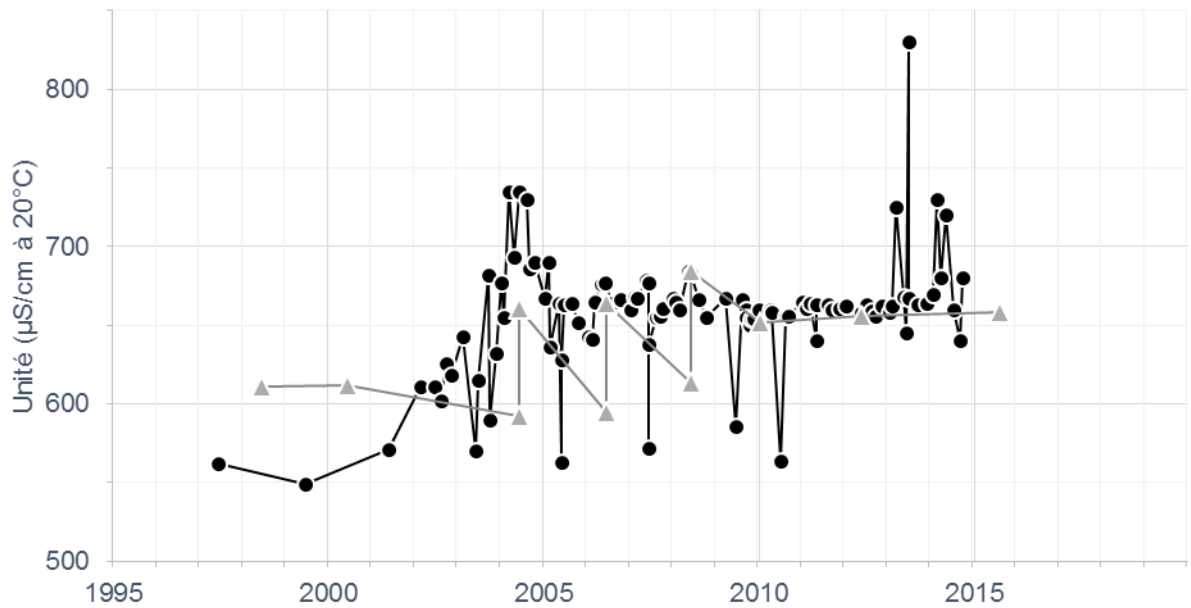


Figure 38 : Evolution de la conductivité des eaux brutes des forages (Source : ADES)

4.4.2.3 Turbidité

L'évolution de la turbidité des eaux captées par les forages montre une évolution stable, caractéristique d'un aquifère continu.

Les valeurs élevées observées sur le forage Basse Croix entre 2013 et 2015 sont dues au réseau de distribution.

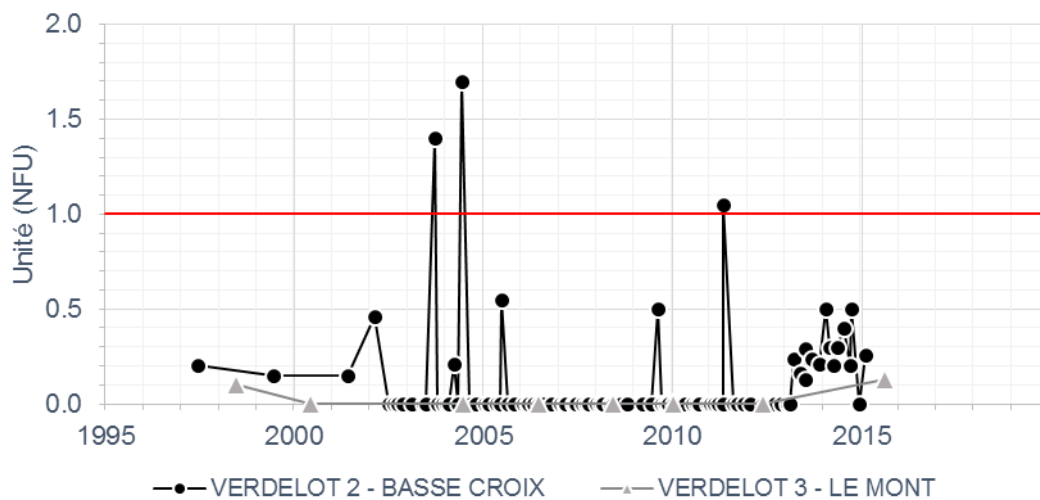


Figure 39 : Evolution des teneurs en turbidité des eaux brutes des forages (Source : ADES)

4.4.2.4 Hydrochimie

L'évolution de l'hydrochimie des eaux captées par les forages montre une évolution stable, caractéristique d'un aquifère continu. Elles sont conformes à la qualité de la nappe du Lutétien.

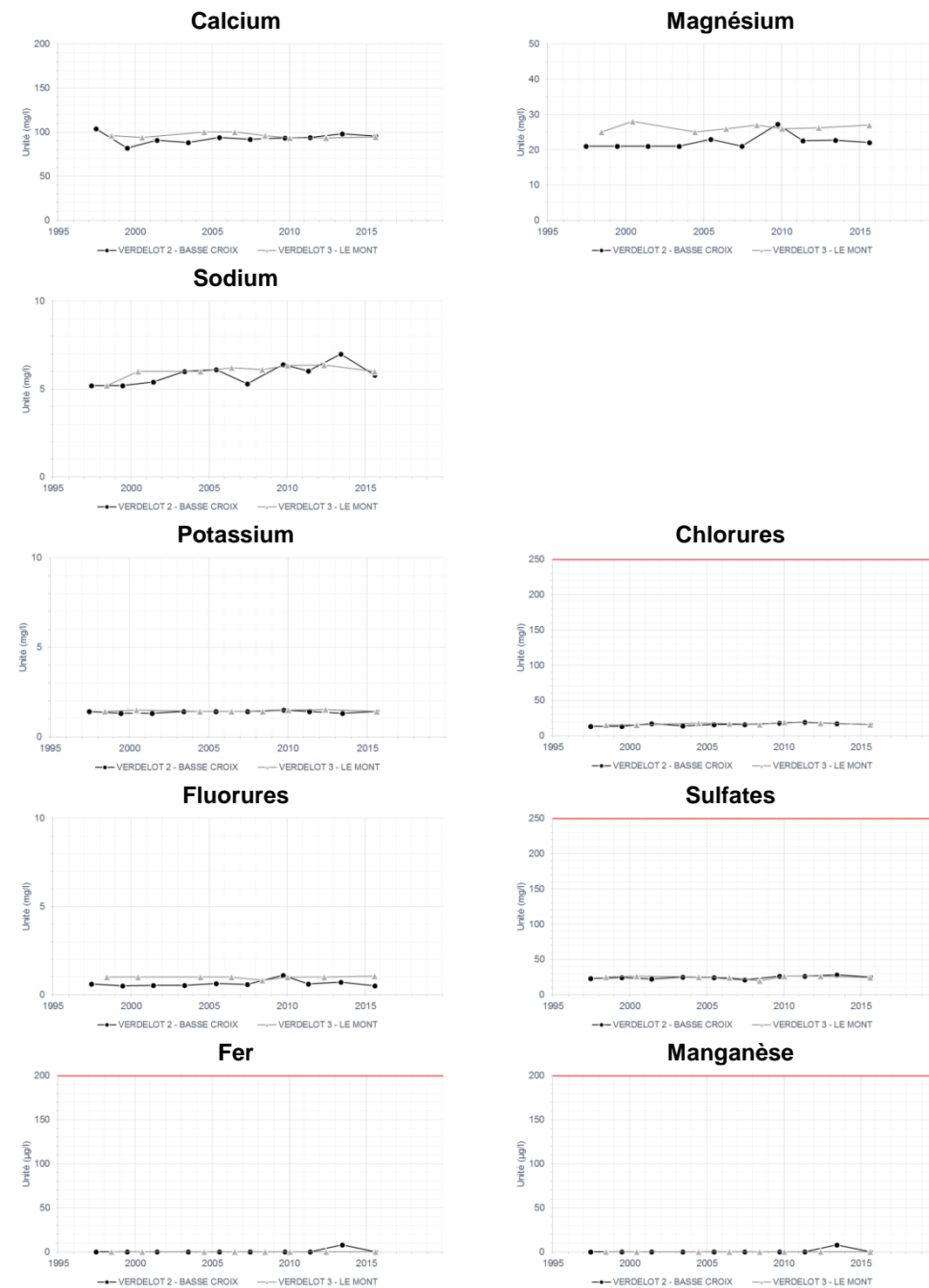


Figure 40 : Evolution de la minéralisation et des ions majeurs des eaux brutes des forages (Source : ADES)

4.4.3 Caractérisation des pollutions diffuses

4.4.3.1 Cas des nitrates

L'évolution des teneurs en nitrates des eaux captées par le forage Le Mont montre une évolution stable, caractéristique d'un aquifère continu. La valeur moyenne des teneurs en nitrates est de 20 mg/l.

L'évolution des teneurs en nitrates des eaux captées par le forage Basse Croix montre des variations ponctuelles importantes au cours du cycle hydrologique pouvant atteindre 5 à 10 mg/l, caractéristique d'un aquifère discontinu ou karstique ou en relation avec un cours d'eau. Ces variations sont plus particulièrement observées au mois d'avril à mai et en octobre. Ce comportement est un indice potentiel de l'influence de la zone de recharge de la nappe par le cours d'eau. La valeur moyenne des teneurs en nitrates est de 25 mg/l.

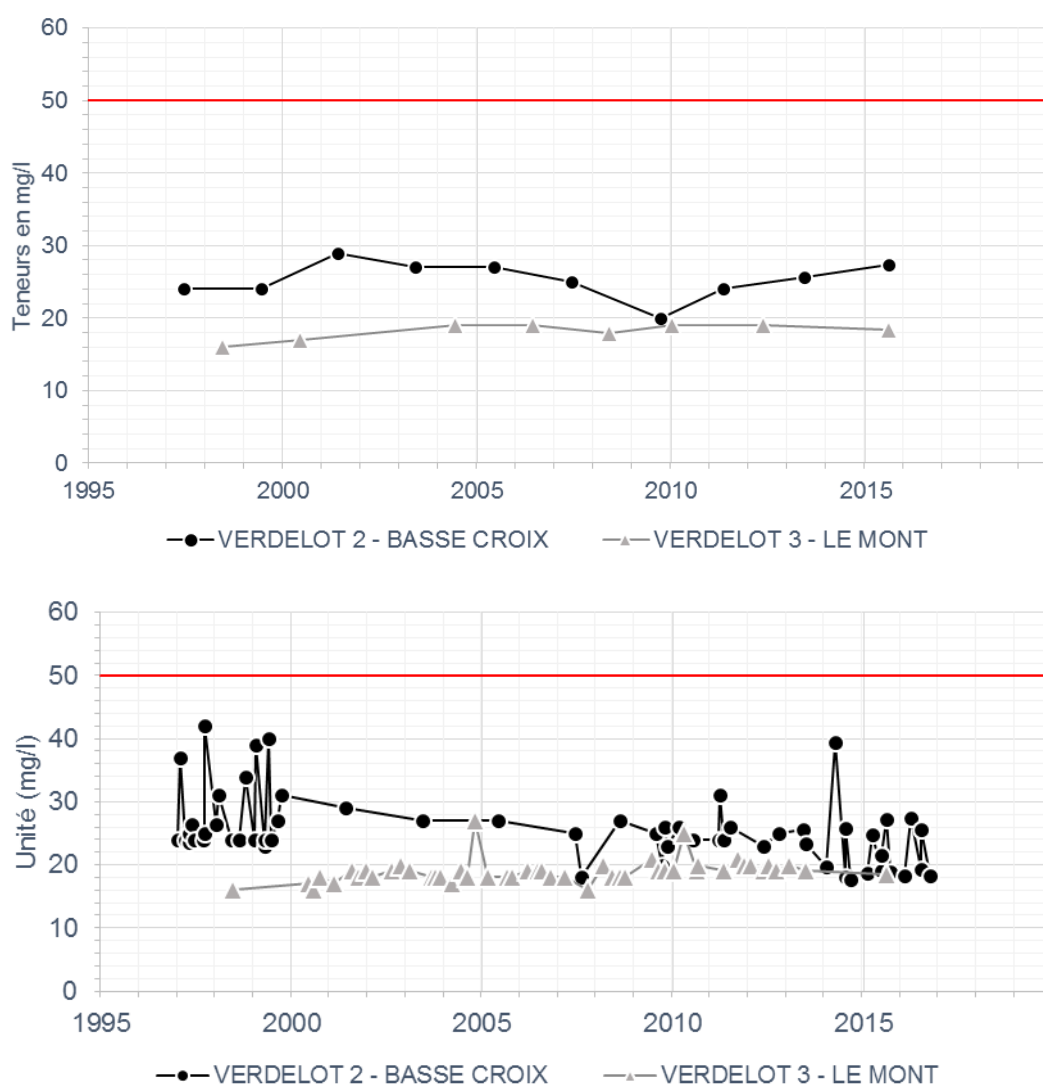


Figure 41 : Evolution* des teneurs en nitrates des eaux brutes des forages (Source : ADES)

(*) Graphique haut uniquement les données ADES / Graphique bas données ADES et OROBNAT

4.4.3.2 Cas des pesticides

Les eaux brutes des forages sont concernées par la présence d'Atrazine et de Déséthyl Atrazine, signes d'une pollution diffuse.

4.4.3.2.1 Atrazine

L'évolution des teneurs en Atrazine des eaux captées par les forages montre une évolution stable à la baisse depuis les années 2010, caractéristique d'un aquifère continu.

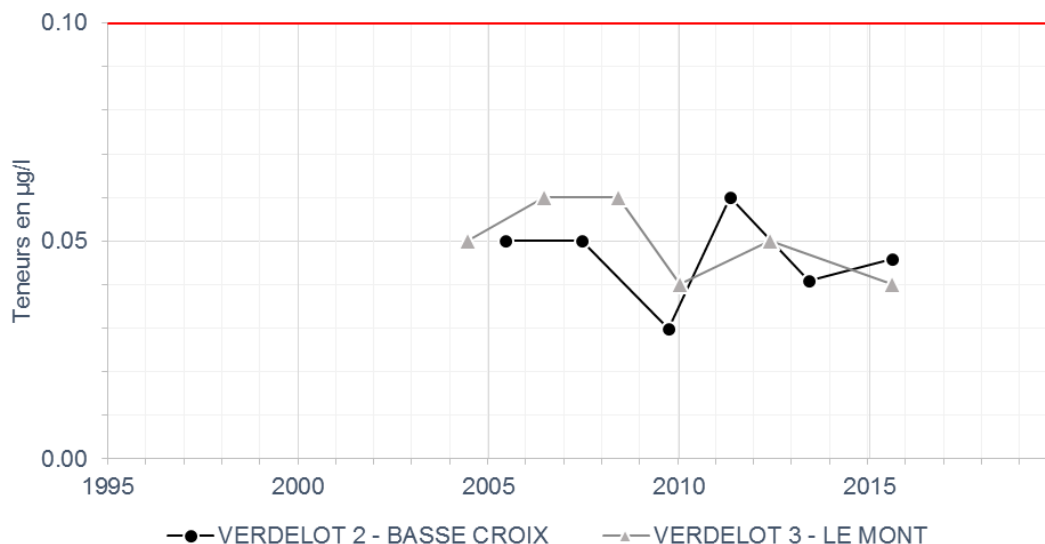


Figure 42 : Evolution des teneurs en Atrazine des eaux brutes des forages (Source : ADES)

4.4.3.2.2 Déséthyl atrazine

L'évolution des teneurs en Déséthyl Atrazine des eaux captées par les forages montre une évolution stable indépendante du cycle hydrologique, caractéristique d'un aquifère continu. Les valeurs sont élevées et supérieures à la limite de qualité.

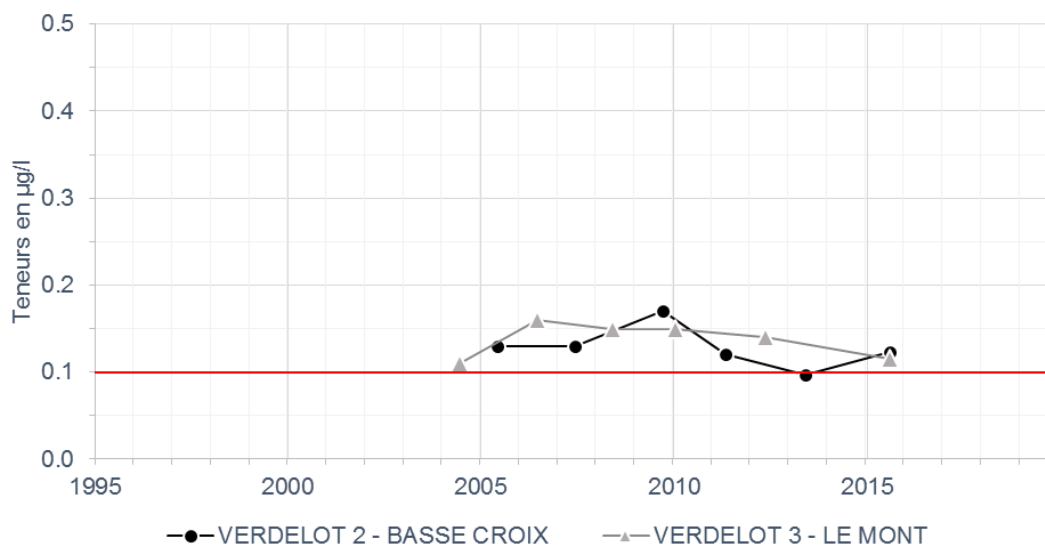


Figure 43 : Evolution des teneurs en Déséthyl Atrazine des eaux brutes des forages (Source : ADES)

4.4.3.3 Sélénium

L'évolution des teneurs en sélénium des eaux captées par les forages montre une variation importante. Dans le cas des forages, l'origine du Sélénium est géologique et naturelle. Les variations sont le reflet de modification de condition d'exploitation des ouvrages ou de lessivage d'horizons à Sélénium.

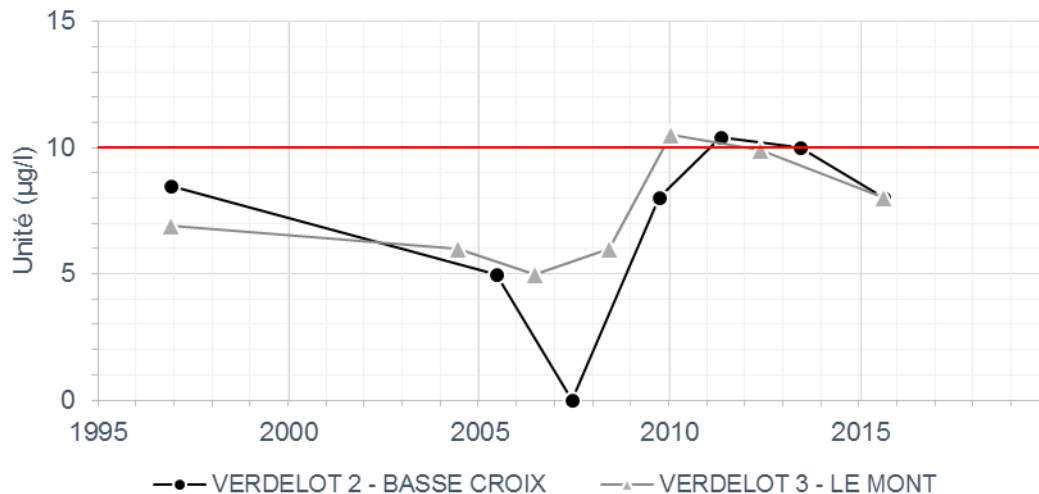


Figure 44 : Evolution des teneurs en Sélénium des eaux brutes des forages (Source : ADES)

4.4.4 Causes probables de pollution

Les causes probables de la pollution observée sont :

- Anthropique
 - pour les nitrates : pratiques agricoles et/ou pratiques d'assainissement individuel ou collectif.
 - Pour les pesticides : pratiques agricoles et/ou pratiques privées.
- Naturelle et géologique pour les teneurs en Sélénium.

4.5 Vulnérabilité de la ressource

4.5.1 Cartes de vulnérabilité existantes

Le secteur d'étude est concerné par les cartes de vulnérabilité suivantes :

- Carte de vulnérabilité des nappes d'Ile-de-France (source : carte de synthèse établie par la DRE, à partir d'études du BRGM, numérisée par l'IAURIF et complétée par la DIREN).
- Carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Seine-Normandie

Compte-tenu de ces méthodologies et des retours d'expérience qui leurs sont associés, la carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Seine-Normandie s'est basée sur la combinaison de deux critères :

L'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) : déduite de l'approche régionale des niveaux d'eau souterraine comparée au modèle numérique de terrain au pas de 50 m.

L'indice de développement et de persistance des réseaux (IDPR) qui tend à unifier et simplifier l'approche géomorphologique relative à la nature des formations de couverture des premières nappes rencontrées. Il permet une analyse régionale simplifiée de la vulnérabilité des eaux qui en l'absence de données précise du milieu saturé, s'applique aux nappes dites phréatiques.

La carte réalisée correspond à une combinaison 50/50 des critères ZNS et IDPR, à laquelle s'ajoute :

- un seuil, lorsque la ZNS est inférieure à 3 m, pour lequel la vulnérabilité intrinsèque est classée très forte
- le recensement de cavités, gouffres, dolines (exprimé par une densité de cavités au km²)

Ces cartes localisent les forages dans des zones vulnérables à très vulnérables pour la première ressource rencontrée. Pour rappel, les forages captent un aquifère semi captif sous la première nappe rencontrée.

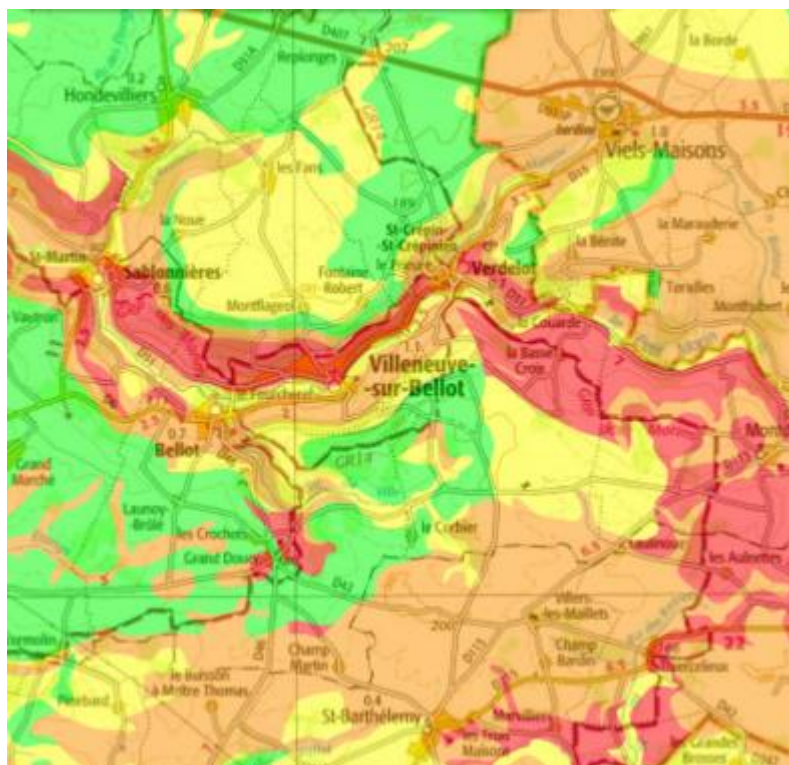


Figure 45 : Carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Seine-Normandie (Source : BRGM)

4.5.2 Nature et épaisseur des couches de protection

A l'aplomb du plateau et au droit des captages, l'horizon constitué par les Calcaires du Lutétien inférieur est surmonté par les Marnes et Caillasses (Lutétien supérieur) épais d'une quinzaine de mètres, puis par les Sables plus ou moins argileux de Beauchamp (Bartonien inférieur) dont la puissance est d'environ 10 m.

Au vu des teneurs en nitrates mesurées entre 20 et 30 mg/l sur les captages, nous considérons que ces couches forment une bonne protection de l'aquifère des calcaires du Lutétien.

4.5.3 Points d'absorption naturels ou artificiels

Aucune cavité souterraine, points d'absorption naturels ou artificiels n'est recensé sur la commune de Verdelot ou les communes limitrophes.

4.5.4 Contexte pédologique

La zone d'étude est couverte par deux cartes pédologiques à l'échelle 1/ 250 000 couvrant l'Île-de-France et la Marne.

Nous disposons des données de l'Île de France et nous sommes en cours d'acquisition de la carte de la Marne.

Dès réception, nous pourrions harmoniser les deux cartes (temps supplémentaire à prévoir) sous réserve de l'accord du comité de pilotage (cf. Chapitre 6).

4.5.5 Réseaux de drainage agricole

A ce stade, nous sommes toujours en cours de collecte d'information (Communes, Chambre d'agriculture et DDT).

4.6 Typologie du système aquifère

L'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant souterrain a permis de définir le type d'aquifère concerné par le captage en répondant aux principales questions suivantes :

- Quelle est la nature du captage ?
- Quel type d'aquifère captée par l'ouvrage ?
- Le système considéré est-il libre, semi captif, ou captif ?
- Quelles sont les limites du bassin versant hydrogéologique à l'intérieur duquel se trouve le captage ?
- L'écoulement des eaux souterraines dans l'aquifère est-il unidirectionnel
- En cas de présence avec un cours d'eau, quelle est la nature de la relation nappe rivière ?
- Des phénomènes de drainance peuvent ils se produire et alimenter l'aquifère ?
- La protection naturelle de l'aquifère capté a-t-elle été modifiée par l'homme ?

Les priorités des cellules en **trame verte** gras ont été mises en évidence par l'étude.

Les propriétés des cellules en **trame orange** n'ont pas été mises en évidence par l'étude.

Le système aquifère concerné par les forages de Verdelot est de type continu, fissuré faiblement hétérogène, même si l'aquifère est susceptible de développer aussi un caractère karstique.

Tableau 8 : Tableau d'aide à la caractérisation des systèmes aquifères (source du BRGM)

Formation	Roches sédimentaires, socle, altéré	Roches sédimentaires et métamorphiques, socle	Roches sédimentaires
Lithologie	Calcaire, sable, grès, craie, arène granitique	Calcaire, grès, craie, granite, schistes, gneiss	Calcaire, dolomie, craie calcaires marneux
Structure	Milieu poreux homogène ou fissurée homogène	Milieu hétérogène : présence de discontinuités délimitant des blocs avec réseaux de fractures	Structure karstique : milieu très hétérogène : réseau de drainage souterrain
Géomorphologie	Absence de zones d'infiltration préférentielle	Présence de zones d'infiltration préférentielle, d'érosion le long de fractures ou d'ouverture importante des systèmes de discontinuité	Présences de zones d'infiltration préférentielles : dolines gouffres, avens, pertes en rivières, bétouilles
Taille du bassin versant souterrain	Variables : pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres	Généralement de petite taille : quelques km ²	Variables : pouvant atteindre plusieurs dizaines voire centaines de km ²
Débit de production	Moyen à élevé : 30 à 200 m ³ /h	Faible < 5 m ³ /h	Peut être très élevé : 1000 m ³ /h
Fluctuation de débit (source)	faibles	fortes	Très fortes : réponse impulsionnelle à un épisode pluvieux
Température	stable	Variations importantes au cours du cycle hydrologique	Variations importantes au cours du cycle hydrologique
Conductivité	stable	Variations importantes au cours du cycle hydrologique	Variations importantes au cours du cycle hydrologique
Hydrochimie	stable	Variations importantes au cours du cycle hydrologique	Variations importantes au cours du cycle hydrologique
Turbidité	rare	Possible après de fortes pluies	Possible après de fortes pluies
Surface piézométrique	Relativement plane	Souvent corrélée à la surface topographique	
Variation du niveau piézométrique	Fluctuations annuelles faibles à moyennes	Fluctuations annuelles faibles	Hétérogène en fonction des vides recoupées ; mise en charge rapide, plusieurs dizaines de mètres
Infiltration	lente	Mixte : rapide au niveau des discontinuités principales et lente ailleurs	Mixte : très rapide au niveau des pertes... et diffuse et lente ailleurs
Perméabilité	Variable mais généralement < 0.1 m/s	Mixte : forte au niveau des fractures, faible ailleurs	
Porosité	D'interstices comprise entre 5 et 30%	Double porosité : interstices et fractures ; porosité d'interstices très faibles < 5%	Double porosité : interstices et fractures ; porosité d'interstices très faibles < 5%
Vitesse de transit	Globalement faible < 1 m/j	Importante : de 1 m/j à 1 m/h	Très importante : de 10-50 m/h voir 100 m/h
Temps de transits entre le captage et les zones du BAC	Augmente globalement à mesure que l'on s'éloigne du captage	Rapides : quelques jours à quelques heures ; n'augmente pas forcément à mesure que l'on s'éloigne du captage	Très rapide : quelques heures
Essai de traçage	Dispersion du pic sur une longue période	Taux de restitution élevé et pic peu dispersé dans le temps en fonction du degré de connexion hydraulique	Taux de restitution élevé et pi peu dispersé dans le temps
Temps de séjour de l'eau dans l'aquifère	Peut-être important sauf dans les alluvions	Mélange des eaux à temps de résidence court et long	Court de manière générale, fonction de l'inertie du système (quelques jours à quelques mois)
Système aquifère	Continu	Discontinu fissuré	Discontinu karstique

5 DELIMITATION DE L'AIRE D'ALIMENTATION DE CAPTAGE

5.1 Méthodologie, cas d'un système aquifère continu

Conformément au guide méthodologique, la délimitation de l'aire d'alimentation de captage passe par :

- La détermination de la surface approximative de l'aire d'alimentation de captage par un bilan hydrique annuel
- La délimitation de la zone d'appel du captage en pompage par une approche analytique (logiciel BRGM ZAPPEL) et la fermeture de la courbe enveloppe en amont par la crête piézométrique.
- L'identification de la zone en surface susceptible d'influer sur la qualité de l'eau du captage.

5.2 Bilan hydrologique simplifié

Un bilan hydrologique simplifié permet d'estimer la surface nécessaire à l'alimentation du captage, en supposant une alimentation intégralement par la craie du coteau.

Considérant des prélèvements moyens annuels des deux forages de 250 000 m³ (maximum observé sur les 5 dernières années et une recharge annuelle moyenne de 42 mm (drainance verticale à travers les marnes infraludiennes), **la surface théorique nécessaire pour alimenter les forages est estimée à environ 60 ha.**

5.3 Zone d'appel

Les paramètres suivants ont été pris en compte pour les calculs :

- Épaisseur mouillée de l'aquifère = 15 m,
- Transmissivité = 1.5×10^{-2} m²/s,
- Porosité cinématique : 5 %,
- Gradient hydraulique local = 4 ‰,
- Débit d'exploitation = 60 m³/h pour le forage Le Mont et pour le forage Basse Croix.

Une zone d'appel théorique du pompage a été calculée à l'aide de la méthode de Wyssling dont les formules sont rappelées ci-dessous, avec :

b = épaisseur de l'aquifère (m)

K = perméabilité de l'aquifère (m/s)

i = gradient piézométrique

Q = débit de pompage (m³/s)

B, la largeur du front d'appel est égale à $B = \frac{Q}{Kbi}$ (en m).

x₀, le rayon d'appel est égale à $x_0 = \frac{Q}{2\pi Kbi}$ (en m)

B', la largeur du front d'appel à la hauteur du captage $B' = \frac{B}{2}$ (en m)

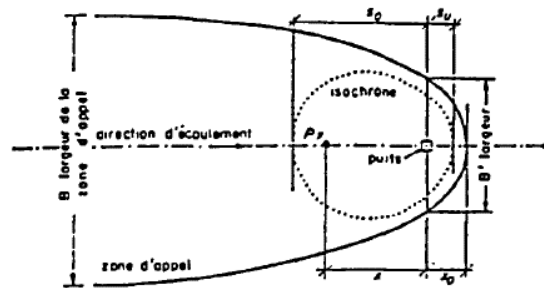


Figure 46 : Illustration des paramètres de la méthode de Wyssling (Source : BRGM)

Nous retiendrons les résultats suivants pour la délimitation de la zone d'influence des captages. La zone d'appel des forages est en limite de la vallée du Petit Morin.

Tableau 9 : Caractéristiques de la zone d'appel des captages selon la méthode de Wyssling

Paramètres	Valeur calculée	Dénomination
Largeur du front d'appel	278	B
Rayon d'appel	44	xo
Largeur du front d'appel à la hauteur du captage	139	B'

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdelot (77)

Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

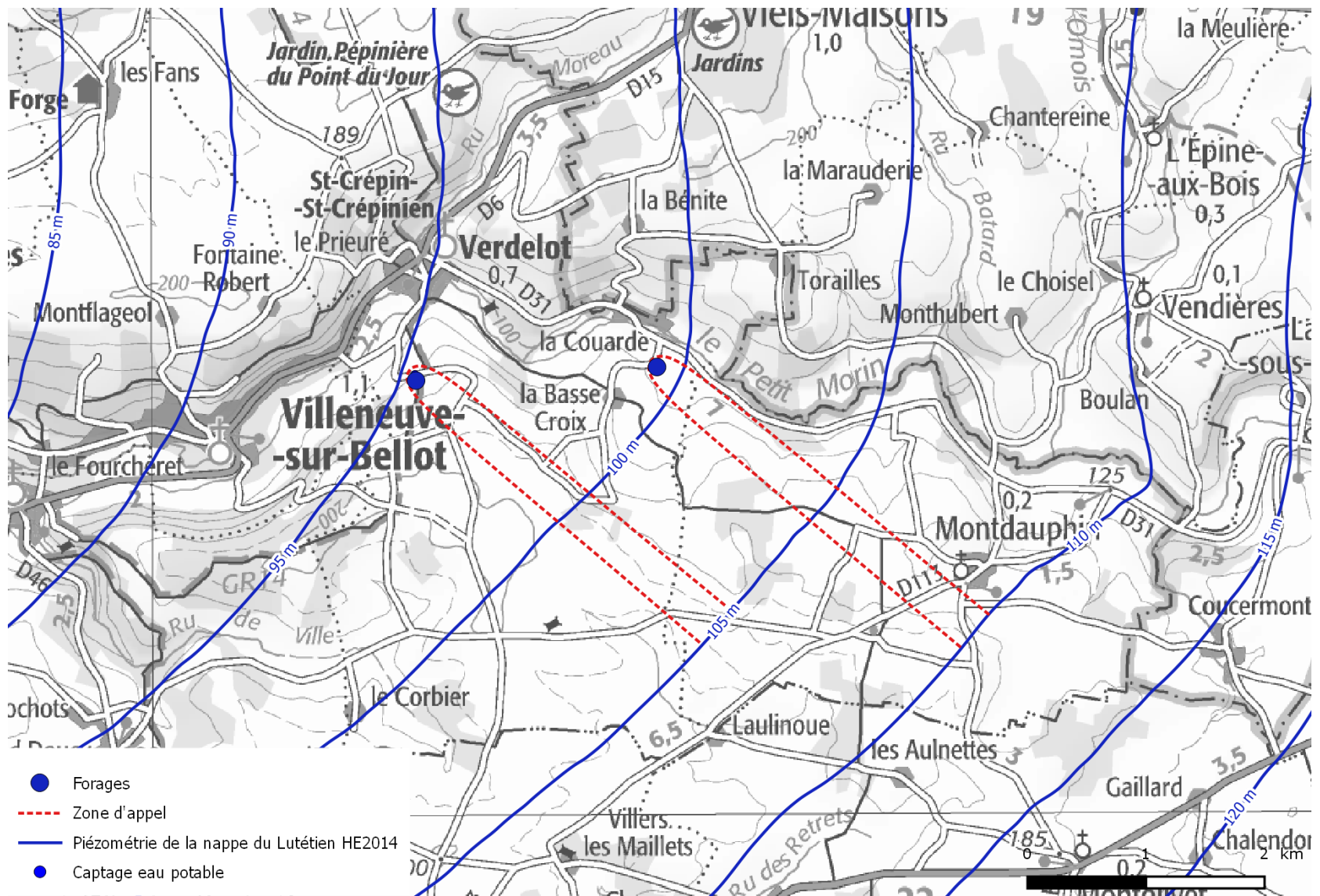


Figure 47 : Délimitation des zones d'appel des forages (Source : IGN, BRGM RP-64887-FR)

5.4 Contours de la portion de nappe alimentant les captages

La portion de nappe alimentant les captages (PNAC) est délimitée selon les critères de la zone d'appel précédemment déterminés pour la carte piézométrique de la nappe du Lutétien Hautes Eaux 2014 (BRGM RP-64887-FR) et du bassin versant topographique du captage. Elle présente les contours suivants.

Les limites A vers B sont tracées à partir du rayon d'appel et de la largeur du front d'appel déterminés par la méthode de Wyssling. L'outil ZAPPEL du BRGM a été utilisé pour calcul et dessiner cette zone d'appel. Elles correspondent à la limite aval de la portion de nappe alimentant le captage. L'indice de confiance de cette limite présente une faible incertitude.

La limite B vers C est tracée sur les isopièzes de la carte piézométrique de la nappe des calcaires du Lutétien Hautes Eaux 2014 (BRGM RP-64887-FR). Elle correspond à la ligne de partage des eaux souterraines Nord de la portion de nappe du forage Basse Croix. L'indice de confiance de cette limite présente une faible incertitude. Nous signalons que le tracé de cette limite ne concerne pas la vallée du Petit Morin.

La limite C vers D correspond à la limite amont des portions de nappe alimentant les captages. Elle se ferme par la crête piézométrique de la nappe des calcaires du Lutétien. Elle correspond à la limite d'extension des calcaires du Lutétien. L'indice de confiance de cette limite présente une faible incertitude.

La limite D vers A est tracée sur les isopièzes de la carte piézométrique de la nappe des calcaires du Lutétien Hautes Eaux 2014 (BRGM RP-64887-FR). Elle correspond à la ligne de partage des eaux souterraines Nord de la portion de nappe du forage Basse Croix. L'indice de confiance de cette limite présente une faible incertitude. Nous signalons que le tracé de cette limite ne concerne pas la vallée du Petit Morin.

Les deux portions de nappe représentent une superficie totale d'environ 2 400 ha. Les besoins de production des captages représentent 2.5% de cette superficie.

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdolot (77)
 Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

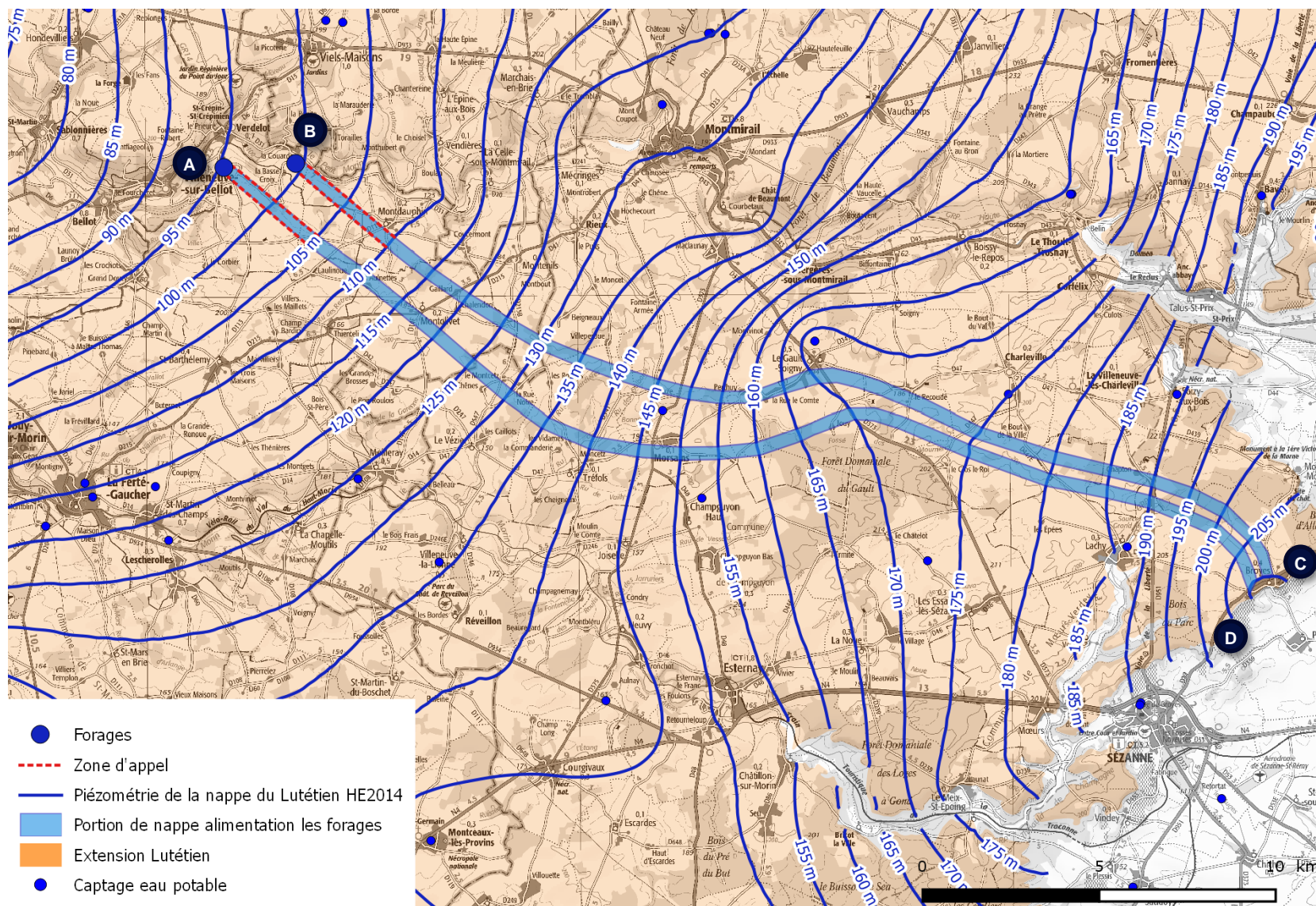


Figure 48 : Délimitation de la portion de nappe alimentant les forages (Source : IGN, BRGM RP-64887-FR)

5.5 Délimitation de l'aire d'alimentation des captages

L'aire d'alimentation des forages de Verdelot correspond :

- A la **superficie participant à l'alimentation par les eaux souterraines** soit le **bassin versant hydrogéologique** (portion de nappe alimentant les captages précédemment délimitée) **étendu à la limite du bassin versant topographique** (Figure 49)
- A la **superficie participant à l'alimentation par les eaux superficielles** soit l'**extension au bassin versant amont du Petit Morin** (Figure 50).

L'aire d'alimentation des forages de Verdelot représente une superficie totale de 568 km² (en bleu sur la Figure 50) dont 100 km² correspondant à la surface participant à l'alimentation des forages par eaux souterraines (en rouge sur la Figure 50).

Les besoins de production des captages de Verdelot représentent 0.1% de l'aire d'alimentation globale et 0.6% de la surface participant à l'alimentation des forages par eaux souterraines.

L'aire d'alimentation des captages couvre tout ou partie des communes suivantes (les communes en gras appartiennent à la surface participant à l'alimentation par eaux souterraines) :

- de l'Aisne (02) :
 - MONTLEVON (2518)
 - DHUYS-ET-MORIN-EN-BRIE (2458)
 - VIELS-MAISONS (2798)
 - VENDIERES (2777)
 - L'EPINE-AUX-BOIS (2281)
- de la Seine-et-Marne (77) :
 - **VERDELOT (77492)**
 - **MONTDAUPHIN (77303)**
 - **MONTENILS (77304)**
 - **MONTOLIVET (77314)**
- de la Marne (51) :
 - **TREFOLS (51579)**
 - **MECRINGES (51359)**
 - **MONDEMENT-MONTGIVROUX (51374)**
 - **CHARLEVILLE (51129)**
 - **LE VEZIER (51618)**
 - **LES ESSARTS-LES-SEZANNE (51235)**
 - **LA VILLENEUVE-LES-CHARLEVILLE (51626)**
 - **SOIZY-AUX-BOIS (51542)**
 - **LACHY (51313)**
 - **RIEUX (51460)**
 - **BROYES (51092)**
 - **CHAMPGUYON (51116)**
 - **MORSAINS (51386)**
 - **LE GAULT-SOIGNY (51264)**

- BROUSSY-LE-GRAND (51090)
- BANNES (51035)
- VERT-TOULON (51611)
- ECURY-LE-REPOS (51226)
- VAL-DES-MARAIS (51158)
- PIERRE-MORAINS (51430)
- BERGERES-SOUS-MONTMIRAIL (51050)
- VAUCHAMPS (51596)
- BOISSY-LE-REPOS (51070)
- JANVILLIERS (51304)
- LE THOULT-TROSNAY (51570)
- FROMENTIERES (51263)
- CHAMPAUBERT (51113)
- ALLEMANT (51005)
- MONTMIRAIL (51380)
- CONGY (51163)
- FERRE-CHAMPENOISE (51248)
- FEREBRIANGES (51247)
- OYES (51421)
- ETOGES (51238)
- CORFELIX (51170)
- BANNAY (21034)
- TALUS-SAINT-PRIX (51563)
- BAYE (51042)
- REUVES (51458)
- BROUSSY-LE-PETIT (51091)
- VILLEVENARD (51641)
- COURJEONNET (51186)
- COIZARD-JOCHES (51157)
- BEUNAY (51045)
- LOISY-EN-BRIE (51327)
- ETRECHY (51239)
- GIVRY-LES-LOISY (51273)
- SOULIERES (51558)
- VERTUS (51612)
- BERGERES-LES-VERTUS (51049)

Dans l'extension de l'aire d'alimentation de captage, il faut noter la présence de captages d'eau potable dont deux inclus dans la superficie contribuant à l'alimentation par les eaux souterraines :

- Captage n°01868X0057 situé sur la commune de Morsains (51).
- Captage n°01875X0022 situé sur la commune de Charleville (51).

Au vu de la superficie de l'aire d'alimentation des captages, il est nécessaire de délimiter des sous-zones de contribution prioritaire.

Suite à la réunion du comité de pilotage du 10 avril 2018, il a été décidé de cartographier la vulnérabilité intrinsèque uniquement sur la surface contribuant à l'alimentation par les eaux souterraines (Figure 49).

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdelot (77)
 Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

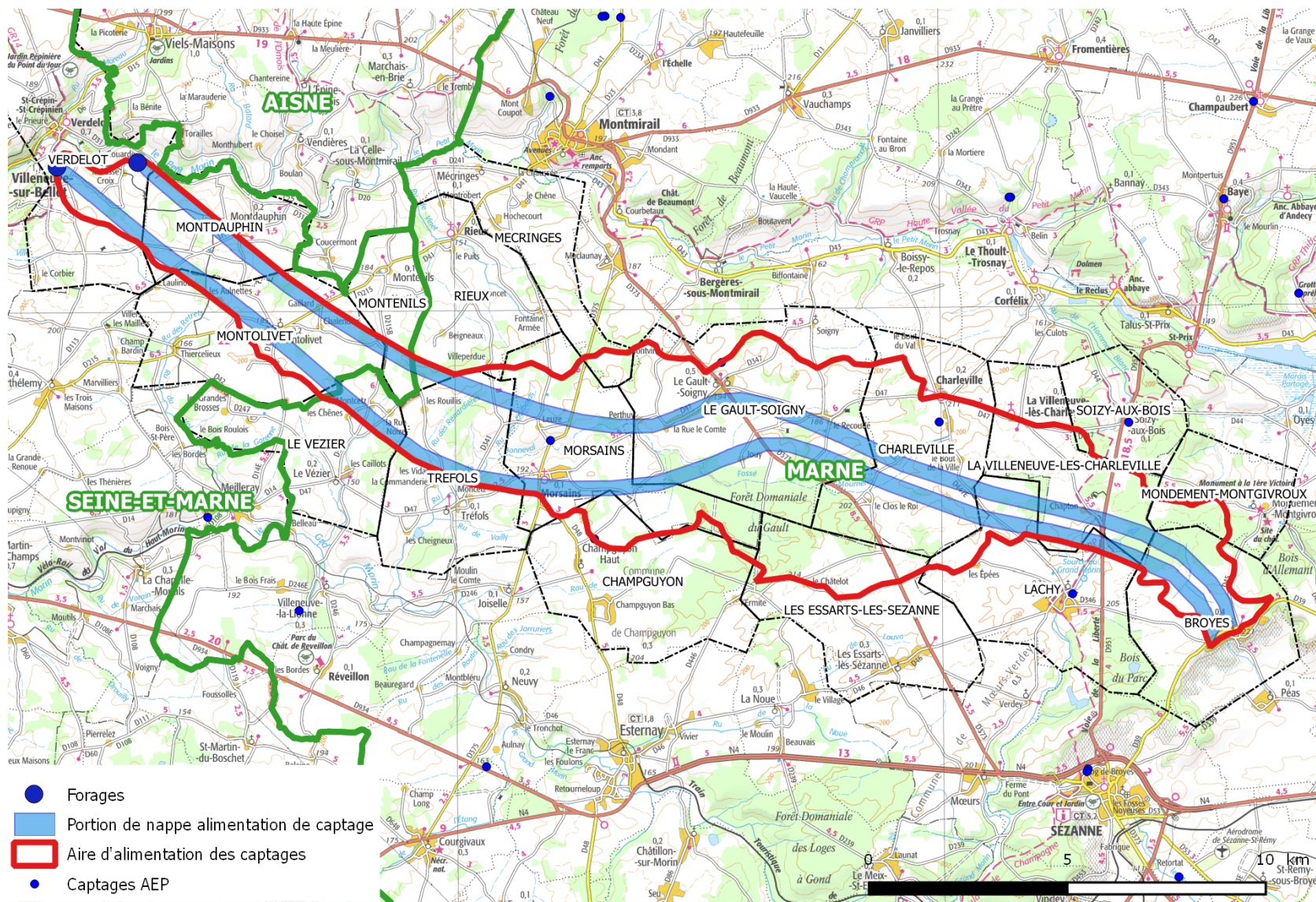


Figure 49 : Bassin versant hydrogéologique étendu au bassin versant topographique (Source : IGN, BRGM)

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdolot (77)
Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

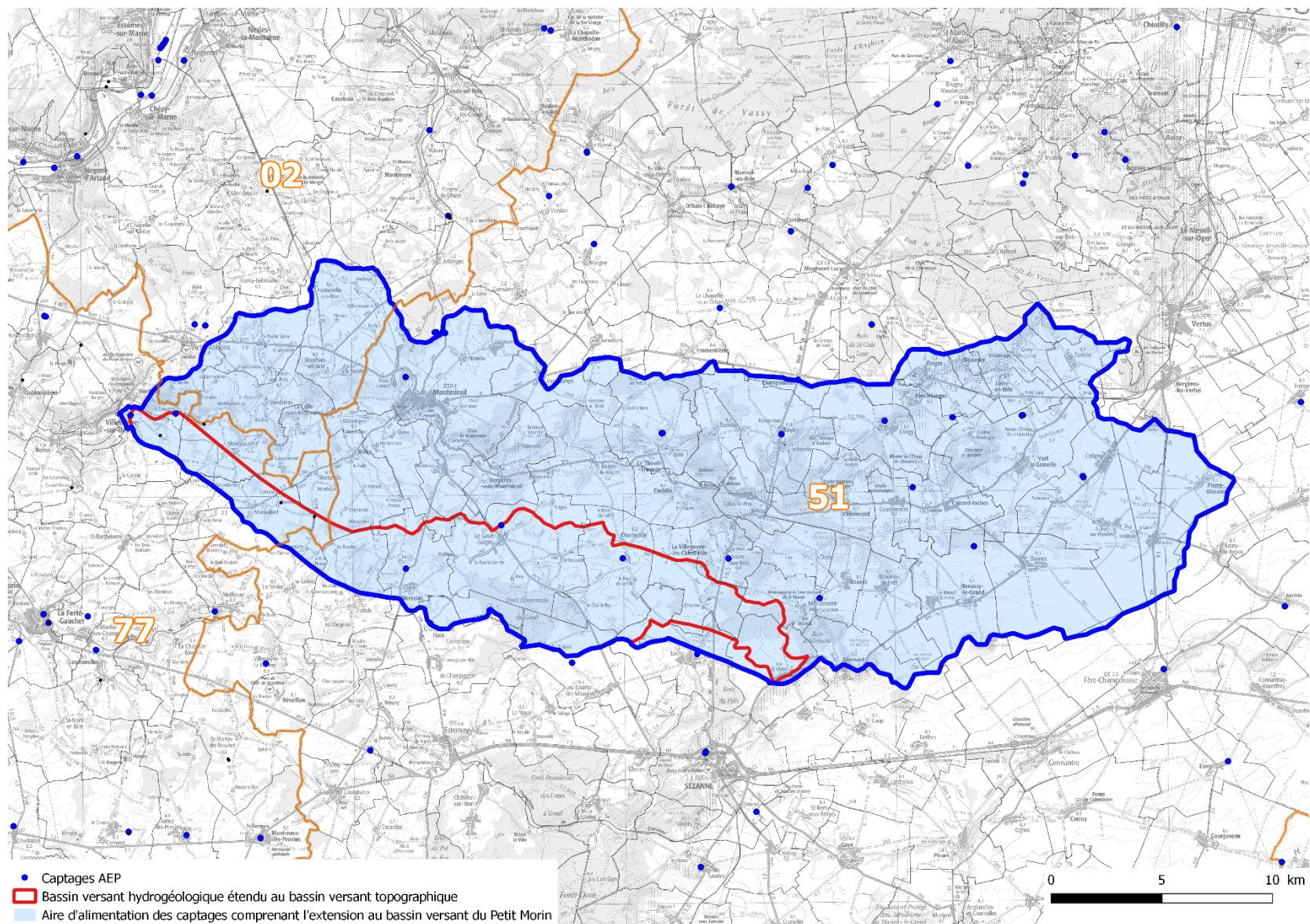


Figure 50 : Délimitation de l'aire d'alimentation des captages de Verdolot étendue au bassin versant du Petit Morin (source : Suez Consulting 2018)

6 ETUDE PEDOLOGIQUE

6.1 Méthodologie

La carte des sols sur le territoire de l'aire d'alimentation du captage (hormis l'extension au bassin versant du Petit Morin) a été réalisée d'après :

- La carte pédologique de la Marne à l'échelle 1/250 000. Cette carte présentait 6 Unités Cartographiques de Sols (UCS) regroupant 43 Unités Typologiques de Sols (UTS).
- Le référentiel pédologique d'Ile de France à l'échelle 1/250 000. Cette carte présentait 7 UCS regroupant 22 UTS.

Des extraits de cartes des sols au 1/25 000 étaient disponibles sur les communes de la Marne mais ne couvraient pas un territoire assez important pour réaliser la carte des sols sur l'aire d'alimentation de captage. Ces extraits de cartes présentaient 26 types de sols différents.

Les cartes disponibles ont donc permis d'extraire 13 unités de sols principales.

L'objectif est de déterminer des zones homogènes du point de vue des types de sol et du fonctionnement hydrologique dominant (ruissellement et écoulements latéraux, infiltration) ainsi que la vitesse de la circulation de l'eau.

Les facteurs observés portent donc sur :

- La réserve utile

Les différents critères pour déterminer la réserve en eau du sol sont : la profondeur, la texture (taux d'argile, limon et sable) et le taux de cailloux.

La texture des horizons du sol est évaluée selon le triangle de texture de Jamagne.

La texture et le taux de cailloux déterminent la perméabilité du sol et sa capacité à maintenir les éléments minéraux à portée des racines.

Les réserves utiles des sols sont calculées grâce à des références de réserve en eau par texture, adaptées aux profils de sol rencontrés en fonction de leur profondeur et de leur teneur en cailloux.

Quatre critères (battance, hydromorphie, présence de drain et rupture de perméabilité) permettent de caractériser la sensibilité d'un type de sol au risque de pollution des eaux superficielles par les produits phytosanitaires.

- L'hydromorphie

Un sol hydromorphe est rapidement saturé en eau en période pluvieuse. S'il n'est pas drainé, un ruissellement superficiel par refus d'infiltration apparaît fin de printemps-début d'été. On considère un sol hydromorphe lorsque des traces d'oxydo-réduction apparaissent à partir de 25 cm de profondeur ou moins.

- La présence ou non d'une rupture de perméabilité (semelle de labour)

La présence d'une rupture de perméabilité, créée par un tassement en profondeur lors du travail du sol (semelle de labour) ou par un horizon imperméable, se traduit par un ruissellement hypodermique.

- La battance en surface

La présence d'une croûte de battance en surface témoigne des caractéristiques des sols à former une croûte sous l'effet de l'impact des gouttes de pluie. La formation d'une croûte de battance est caractéristique des sols riches en limons. Elle témoigne de phénomènes de ruissellement.

A partir de l'ensemble de ces critères (réserve utile, hydromorphie, rupture de perméabilité, battance en surface), le mode de circulation de l'eau est déterminé.

- Mode de circulation des eaux

Les propriétés des sols identifiés ont été exploitées pour caractériser les circulations de l'eau dans les sols et pouvoir déterminer le pouvoir de limitation ou pouvoir épurateur des flux vers les formations géologiques aquifères.

L'eau circulant est le principal vecteur de transfert des produits appliqués sur les parcelles. Selon son mode de circulation, le risque de transfert des nitrates et produits phytosanitaires est variable, et dépend également du type de précipitations (pluies régulières remplissant la réserve en eau du sol ou pluies orageuses occasionnant la formation d'une croûte de battance).

L'eau des précipitations, après avoir reconstitué la réserve hydrique du sol et avoir été évapotranspirée par les plantes, est susceptible de :

- Ruisseler en surface par refus d'infiltration (présence d'une croûte de battance, prise en masse) ;
- Ruisseler en surface par saturation en milieu hydromorphe ;
- Ruisseler de manière hypodermique sur un horizon peu perméable ;
- S'infiltrer rapidement ;
- S'infiltrer lentement.

Le schéma suivant illustre ces différentes circulations possibles de l'eau dans les sols.

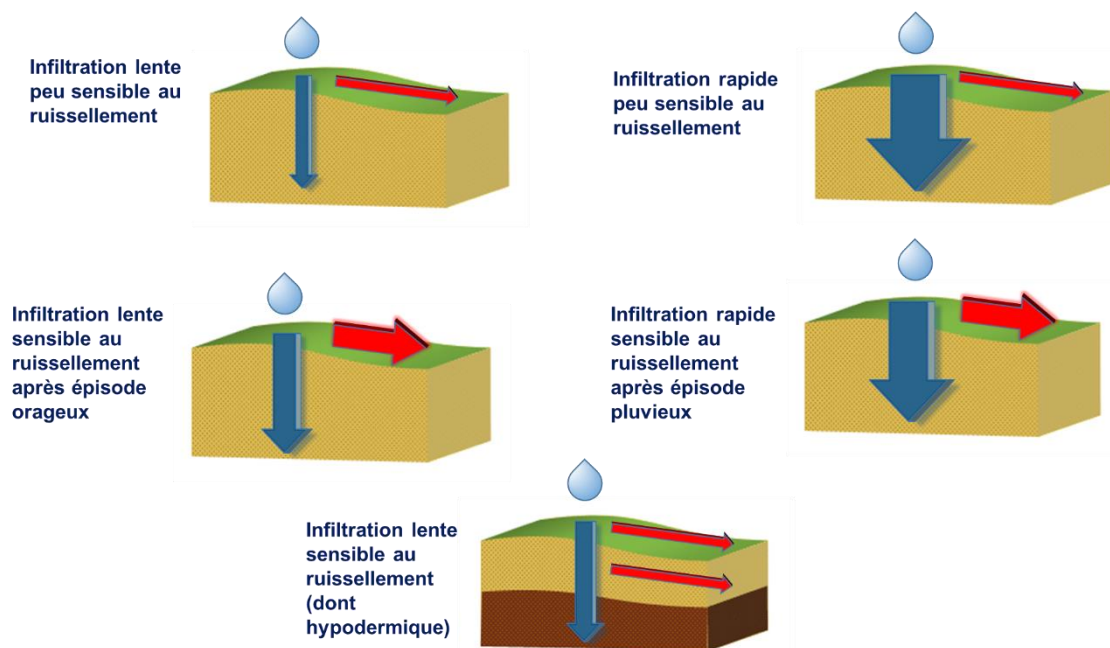


Figure 52 : Mode de circulation des eaux (CORPEN)

6.2 Description des sols

Au total, les cartes des sols de la Marne et d'Ile-de-France ont permis de définir 13 unités de sol correspondant aux UCS des deux cartes pédologiques. Ces sols sont issus de différents matériaux parentaux présentés dans le Tableau 10 (cartes géologiques de Montmirail, Montmort et Sézanne).

Les sols limoneux à limono-argilo-sableux rédoxiques (unité de sol 11) recouvrent majoritairement les formations sous-jacentes.

La profondeur, texture majoritaire et le pourcentage de pierrosité ont été estimés à partir des caractéristiques des différentes UTS et UCS issues des deux cartes pédologiques de la Marne et d'Ile-de-France.

A noter



La carte des sols de l'aire d'alimentation de captage étant réalisée à partir de deux cartes pédologiques différentes, la frontière entre les deux départements de la Marne et de la Seine-et-Marne est marquée par une différence de sols. La continuité des sols n'a pas pu être mise en évidence, les sols n'étant pas décrits de la même manière sur les deux cartes pédologiques.

Tableau 10 : Sols présents sur l'aire d'alimentation

Unité de sol	UCS (Marne)	UCS (Ile-de-France)	Type de sol	Matériau parental	Profondeur (cm)	Pierrosité (%)	Texture majoritaire	Mode de circulation des eaux	Superficie (ha)	%
1	-	4	Sols limoneux très humides, épais à substrat d'argile imperméable ; plateaux céréaliers de Rebais, Saint Barthelemy et des forêts de feuillus de Crécy, Malvoisine et Mans	Limons éoliens	110	0 – 15	L	Infiltration lente et sensible au ruissellement après un épisode pluvieux ou au ruissellement hypodermique	29,2	0,3
2	-	10	Sols limono-argileux et argilo-limoneux caillouteux, calcaires, peu épais de pentes faibles à moyennes	Calcaire	45	0 – 15	L	Infiltration lente et sensible au ruissellement après un épisode pluvieux ou au ruissellement hypodermique	45,1	0,4
3	-	15	Sols limoneux et limono-sableux caillouteux, le plus souvent hydromorphes, moyennement épais à substrat d'argile caillouteuse parfois de marne, sur pente	Limons et marne	50	0 – 15	L	Infiltration rapide sensible au ruissellement après un épisode pluvieux, pouvant également présenter un ruissellement hypodermique	597,6	5,9
4	-	17	Sols très argileux, calcaires, localement humides, épais à substrat de marnes ; pentes à ravines marquées, quelques recouvrements sableux	Marne	70	0 – 15	L	Infiltration lente sensible au ruissellement dont hypodermique	66,5	0,7
5	-	18	Sols très argileux, vertiques, humides, épais sur argile à passées calcaires ; replats ou pentes faibles	Argile et marne	100	0 – 15	L	Infiltration lente sensible au ruissellement dont hypodermique	84,7	0,8
6	-	20	Sols limono-argileux, érodés, humides, épais à substrat d'argile et/ou de calcaire ; pentes assez fortes	Limons, argile et calcaire	140	0 – 15	L	Infiltration lente et sensible au ruissellement après un épisode pluvieux ou au ruissellement hypodermique	831,9	8,3
7	-	101	Sols limoneux généralement peu à moyennement humides, épais, le plus souvent non calcaires ; colluvions et/ou alluvions	Limons, colluvions et alluvions	120	0 – 15	L	Infiltration lente et sensible au ruissellement après un épisode pluvieux	22,2	0,2
8	1232	-	Limons argilo-sableux lessivés	Alluvions anciennes	110	0 – 15	S	Infiltration lente et sensible au ruissellement après un épisode pluvieux	497	4,9
9	1512	-	Argiles-limono-sableuses à argiles	Alluvions ou colluvions récents	125	0 – 15	L	Infiltration lente sensible au ruissellement dont hypodermique	11,4	0,1
10	3111	-	Sols limoneux à limono-sableux faiblement lessivés à lessivés	Limons éoliens	125	0 – 15	L	Infiltration pouvant être rapide et sensible au ruissellement après un épisode pluvieux	1954,9	19,4
11	3112	-	Sols limoneux à limono-argilo-sableux rédoxiques	Limons éoliens ou colluvions	180	0 – 15	L	Infiltration lente et sensible au ruissellement après un épisode pluvieux	5187,1	51,6
12	3121	-	Sols très sableux parfois sablo-argileux, rédoxiques	Matériaux sableux	120	0 – 15	S	Infiltration rapide peu sensible au ruissellement	6,7	0,1
13	3212	-	Sols argilo-limono-sableux caillouteux	Calcaires, marnes et argiles	90	0 – 15	L	Infiltration plus ou moins rapide selon la texture majoritaire et la pierrosité locale, pouvant être sensible au ruissellement, dont hypodermique	724,5	7,2

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdolot (77)



Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

Sous-titre de la mission

Insertion > QuickPart > Champs > RefStyle > choisir le style Titre 1 OU Titre Partie

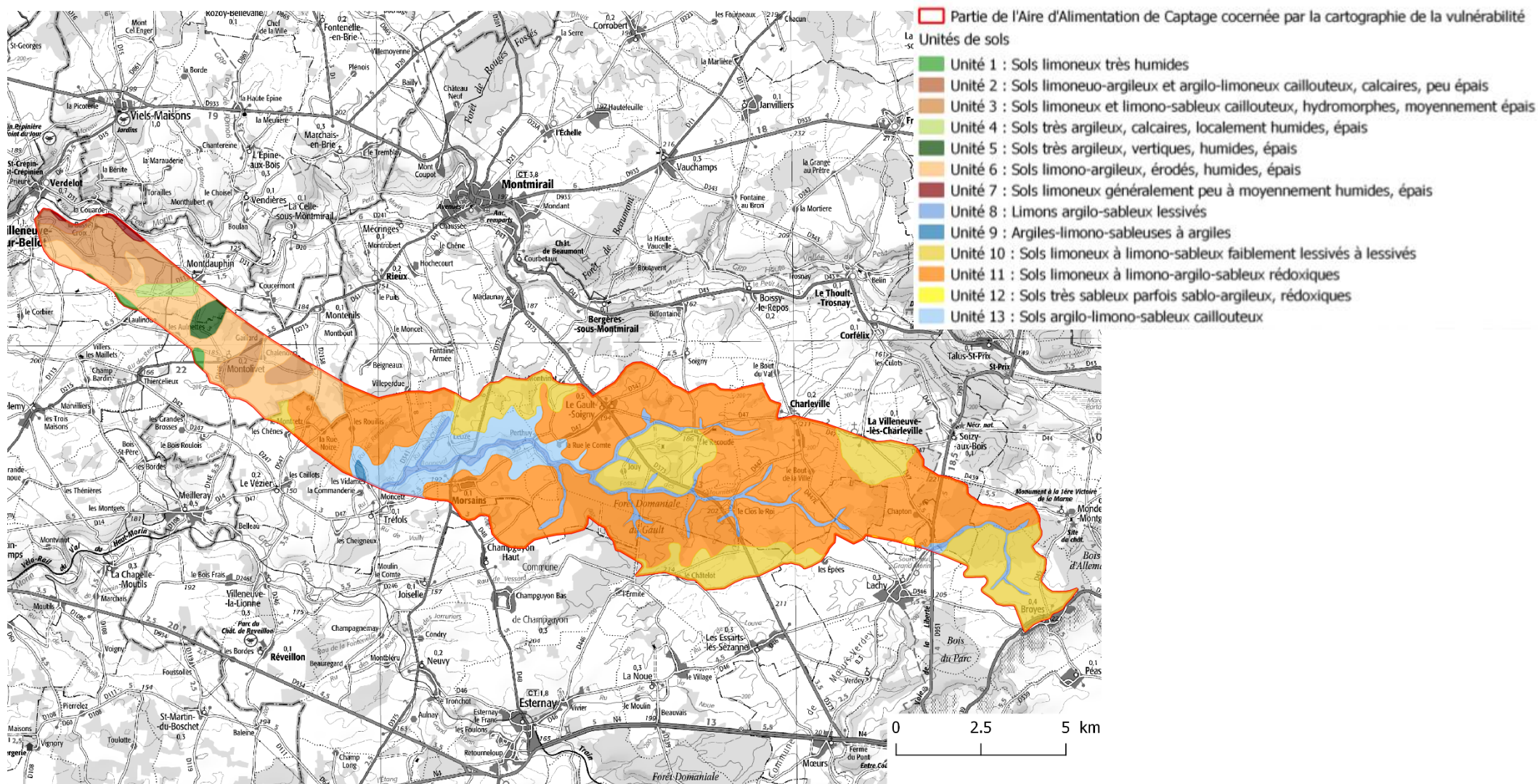


Figure 53 : Carte des sols (Suez Consulting, 2018)



7 CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE DE LA PARTIE CONTRIBUANT PAR EAUX SOUTERRAINES A L'ALIMENTATION DES CAPTAGES – METHODOLOGIE EAUX SOUTERRAINES

7.1 Méthodologie

La méthodologie proposée par Suez Consulting est conforme à la version révisée du guide¹ méthodologique de délimitation des aires d'alimentation de captage d'eau souterraine et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses (Rapport BRGM-ONEMA 2014).

Le tableau ci-après présente les différentes méthodes classiquement utilisées dans le calcul de la vulnérabilité et appliquées aux différents types de réservoirs.

Tableau 11 : Démarche méthodologique de l'étude BAC (BRGM, 2007)

Phase 3 - Cartographie de la vulnérabilité						
<i>5 classes par paramètre, de 0 à 4 (- vulnérable à + vulnérable)</i>						
Pondération linéaire (somme des poids=1) <i>méthode existante</i>	Continu		Karstique		Discontinu	
	Vulnérabilité = 0,1 P + 0,25 S + 0,3 IDPR + 0,2 H + 0,15 K <i>adapté de DRASTIC</i>		Vulnérabilité = 0,3 R + 0,5 I + 0,1 P(S,E) + 0,1 K <i>adapté de RISK modifié</i>		Vulnérabilité = 0,5 D + 0,3 IDPR + 0,2 S <i>adapté de DISCO</i>	
Paramètres	Critère à évaluer	Eléments à prendre en compte	Critère à évaluer	Eléments à prendre en compte	Critère à évaluer	Eléments à prendre en compte
nature du sol et formations superficielles (couverture protectrice)	S (Sol)	épaisseur, texture, pierrosité	S (Sol)	épaisseur, texture, pierrosité	S (Sol)	épaisseur, texture, pierrosité
Pluie efficace	P (pluie efficace)	Pluie, ETP, RU* en mm/an spatialisée si possible				
Capacité d'infiltration du milieu (par rapport à sa capacité de ruissellement)	T (topographie)	zones d'infiltration en fonction de la pente, échange nappe/rivière; pertes locales	I (infiltration)	zones d'infiltration en fonction de la pente, infiltration ponctuelle en fonction des pertes et bassin versant, drainage, et dolines, vallées sèches	R (ruissellement)	IDPR** bassins versants locaux alimentant par ruissellement les zones vulnérables
	ZNS (zone non saturée)	nature lithologique			P (couverture protectrice)	
épaisseur de la zone non saturée perméabilité de l'aquifère (conditionne la vitesse de migration d'un polluant)	H (hauteur piézométrique)	isopièzes, MNT	R (roche)	nature : du plus marneux vers le plus karstifié	D (discontinuités)	rapidité de la liaison entre les discontinuités et le captage (perméabilité de fissures)
Degré de karstification	K (perméabilité)	mesures de perméabilité (essais de débit) ou à défaut nature de la roche aquifère	K (karstification)	d'unaire non fonctionnel à binaire fonctionnel		
Epikarst			E (épikarst)	épikarst pour son rôle de retard à l'infiltration, pris en compte uniquement si indentifiable et sélection par défaut (le + vulnérable) en comparant avec S		

* ETP : Evapotranspiration Potentielle ; RU Réserve Utile

** IDPR (Indice de Développement et de Persistance des Réseaux) permet de calculer le rapport infiltration / ruissellement par une méthode indirecte prenant en compte la pente et la nature des terrains situés au dessus de la première nappe

Les méthodes utilisées sont des méthodes à cotation numérique empirique qui reposent sur trois hypothèses :

- les sources de contamination potentielles se trouvent à la surface du sol ;
- de la surface du sol, les contaminants potentiels atteignent l'aquifère par infiltration (infiltration efficace) ;
- la nature des contaminants potentiels n'est pas prise en compte dans le calcul de l'indice.

Nous avons démontré que le système aquifère capté est de type continu à double porosité.

¹ Vernoux J.F., Willeumier A., Perrin J. (2014a). Délimitation des aires d'alimentation de captage d'eau souterraine et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Version révisée du guide méthodologique. Rapport BRGM-ONEMA, 150 pp.

Ainsi, nous proposons une méthode avec 5 paramètres retenus pour des pondérations variant de 10 à 30% selon leur importance. On attribue à chaque paramètre une note selon les propriétés physiques du milieu. Les paramètres hydrogéologiques retenus sont les suivants.

Tableau 12 : Paramètres de la méthode utilisée

Sigle	Paramètre	Propriétés	Poids
P	Pluie efficace	Plus la réserve utile est importante, plus la pluie efficace est faible et donc plus la vulnérabilité est faible	10%
S	Sol : sensibilité au lessivage	Plus le sol est riche en argile et matière organique, plus l'absorption des métaux et des cations est importante, et plus la vulnérabilité est faible.	25%
IDPR	Ruissellement et infiltration	Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et l'infiltration faible, augmentant ainsi la vulnérabilité. Ce paramètre dépend également du type de sol et de l'occupation du sol	30%
H ZNS	Profondeur de la nappe, ou épaisseur de zone non saturée	Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met de temps pour atteindre la surface piézométrique, et plus il peut être adsorbé ou dégradé. L'épaisseur de zone non saturée retarde le polluant et diminue la vulnérabilité	20%
K	Perméabilité de l'aquifère	Caractérisée par la granulométrie des terrains saturés ou leur degré de fissuration. Elle intervient dans le piégeage du polluant qui peut s'échapper au pouvoir d'absorption du sol. Plus ce paramètre est grand, plus le transfert du polluant est rapide et la vulnérabilité élevée.	15%

Ainsi, l'indice de vulnérabilité correspond à la formule suivante :

$$\text{Indice de vulnérabilité} = 0,1P + 0,25 S + 0,3 \text{ IDPR} + 0,2 \text{ Hzns} + 0,15 K$$

La vulnérabilité augmente avec l'indice qui représente une **mesure relative** de la vulnérabilité des eaux souterraines.

Ainsi, un site avec un **indice de vulnérabilité faible** n'est pas à l'abri d'une contamination, mais il est moins vulnérable à la contamination par rapport à un site ayant un indice élevé (Osborn et al., 1998).

La cartographie de la **vulnérabilité** est réalisée sous SIG, après discrétisation de l'aire d'alimentation des captages (hormis l'extension au bassin versant du Petit Morin) avec un maillage 50x50 m.

7.2 Paramètres

7.2.1 Paramètre (P), pluie efficace

Sur la zone d'étude, les calcaires du Lutétien n'affleurent pas et sont recouverts par les formations de l'Eocène jusqu'au calcaires de Brie.

D'après [S. Bellier, 2013], la drainance verticale de l'aquifère des calcaires de Champigny vers l'aquifère Marinésien/Lutétien/Yprésien (Eocène moyen et inférieur) à travers les marnes infraludiennes est estimée à 42 mm/an soit une vulnérabilité très faible sur les zones de plateaux d'après ce paramètre. En revanche, là où les formations de l'Eocène moyen et inférieur affleurent, la vulnérabilité est déclassée.

Tableau 13 : Répartition des notes P sur l'aire d'alimentation

Note	Classe	Pluies efficaces (mm)	Nombre de mailles	Proportion
0	Très faiblement vulnérable	<50	39578	98,3%
1	Faiblement vulnérable	50-100	0	0%
2	Moyennement vulnérable	100-200	669	1,7%
3	Fortement vulnérable	200-300	0	0%
4	Très fortement vulnérable	>300	0	0%

La vulnérabilité de l'aire d'alimentation est donc majoritairement très faiblement vulnérable (78.9%).

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdolot (77)
 Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

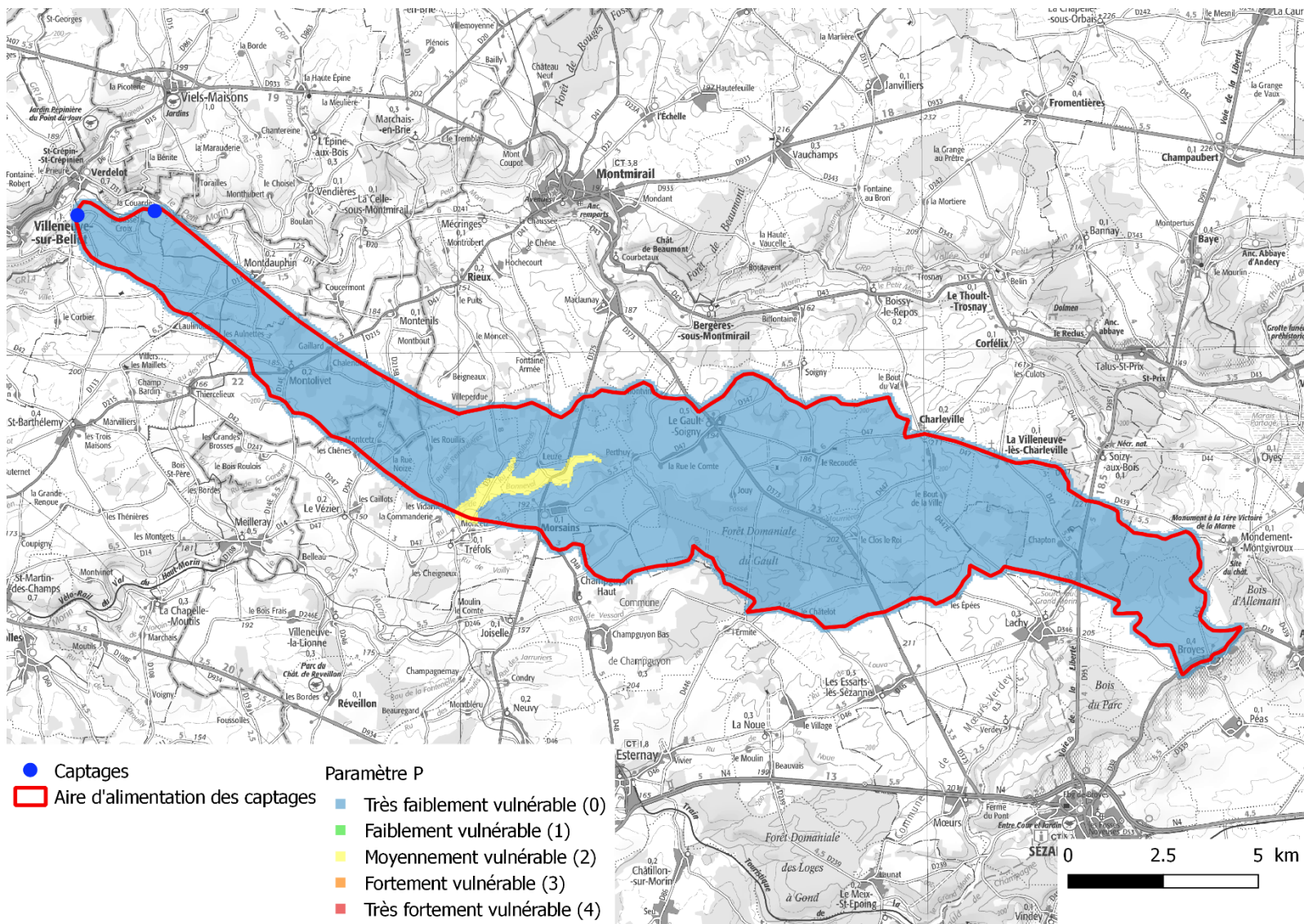


Figure 54 : Carte du paramètre P, pluie efficace (Suez Consulting, 2018)

7.2.2 Paramètre (S), sensibilité au lessivage

La pondération de ce paramètre dans le calcul de la vulnérabilité totale est de 25%.

Les sols ont une importance particulière pour la vulnérabilité. On retient surtout leur capacité d'adsorption et de rétention de l'eau. Cette capacité induit une forte dégradation des polluants organiques par l'activité bactérienne qui est maximale dans le sol. La réutilisation de l'azote est elle aussi conditionnée par cette capacité de rétention.

La carte des sols (Figure 53), réalisée par Suez Consulting pour l'étude à partir des cartes des sols de la Marne et d'Ile-de-France à l'échelle 1/250 000 présente les différents types de sols sur l'aire d'alimentation du captage de Verdelot concernée par la cartographie de la vulnérabilité.

On observe des sols en majorité limoneux à limono-argilo-sableux rédoxiques (cf. légende de la carte des sols jointe à la carte).

Le paramètre S sensibilité au lessivage a été apprécié sur la base des méthodes préconisées par le BRGM dans le « guide méthodologique de délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses » (février 2014), c'est-à-dire la texture, le taux de cailloux et l'épaisseur du sol. Une note est attribuée à la nature du sol en fonction de sa texture principale et de son taux de cailloux (cf. Tableau 14).

Tableau 14 : Détermination de la nature d'un sol en fonction de sa texture et de sa proportion de cailloux (Source : Vernoux et al. (2014), Délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses)

		TEXTURE		
		Argile A > 12 %	Limons A < 12 % et S < 60 %	Sable S >= 60 %*
CAILLOUX	0-15 %	1	1	2
	30-60 %	1	2	3
	> 60 %**	2	3	4

Le facteur S est ensuite affecté d'une note de vulnérabilité variant de 0 (très faiblement vulnérable) à 4 (très fortement vulnérable) en fonction de la nature du sol et de son épaisseur (cf. Tableau 15 et Tableau 16).

Tableau 15 : Indexation du critère S par croisement de la nature du sol et de son épaisseur (Source : Vernoux et al. (2014), Délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses)

S		NATURE DU SOL				
		Inconnue (Se)	1	2	3	4
Zones imperméabilisées		S0				
EPAISSEUR	> 5m	S1	S1	S1	S2	S3
	1-5m	S1	S1	S2	S3	S3
	60-100cm	S2	S2	S3	S4	S4
	30-60cm	S3	S3	S4	S4	S4
	0-30cm	S4	S4	S4	S4	S4

Tableau 16 : Répartition des notes S sur l'aire d'alimentation

Note	Classe	Nombre de mailles	Proportion
0	Très faiblement vulnérable	0	0%
1	Faiblement vulnérable	32506	80,8%
2	Moyennement vulnérable	5162	12,8%
3	Fortement vulnérable	2579	6,4%
4	Très fortement vulnérable	0	0%

Le taux de cailloux des sols présents sur l'aire d'alimentation du captage étant compris dans le même intervalle, les seuls éléments de différenciation sont l'épaisseur et la texture.

L'aire d'alimentation est globalement faiblement vulnérable au lessivage (80,8%), en raison de la texture limoneuse prédominante des sols qui s'y trouvent et de l'épaisseur globalement relativement importante des sols. Les sols situés en fond de vallée sont plus vulnérables (moyennement à fortement vulnérables).

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdelot (77)
 Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

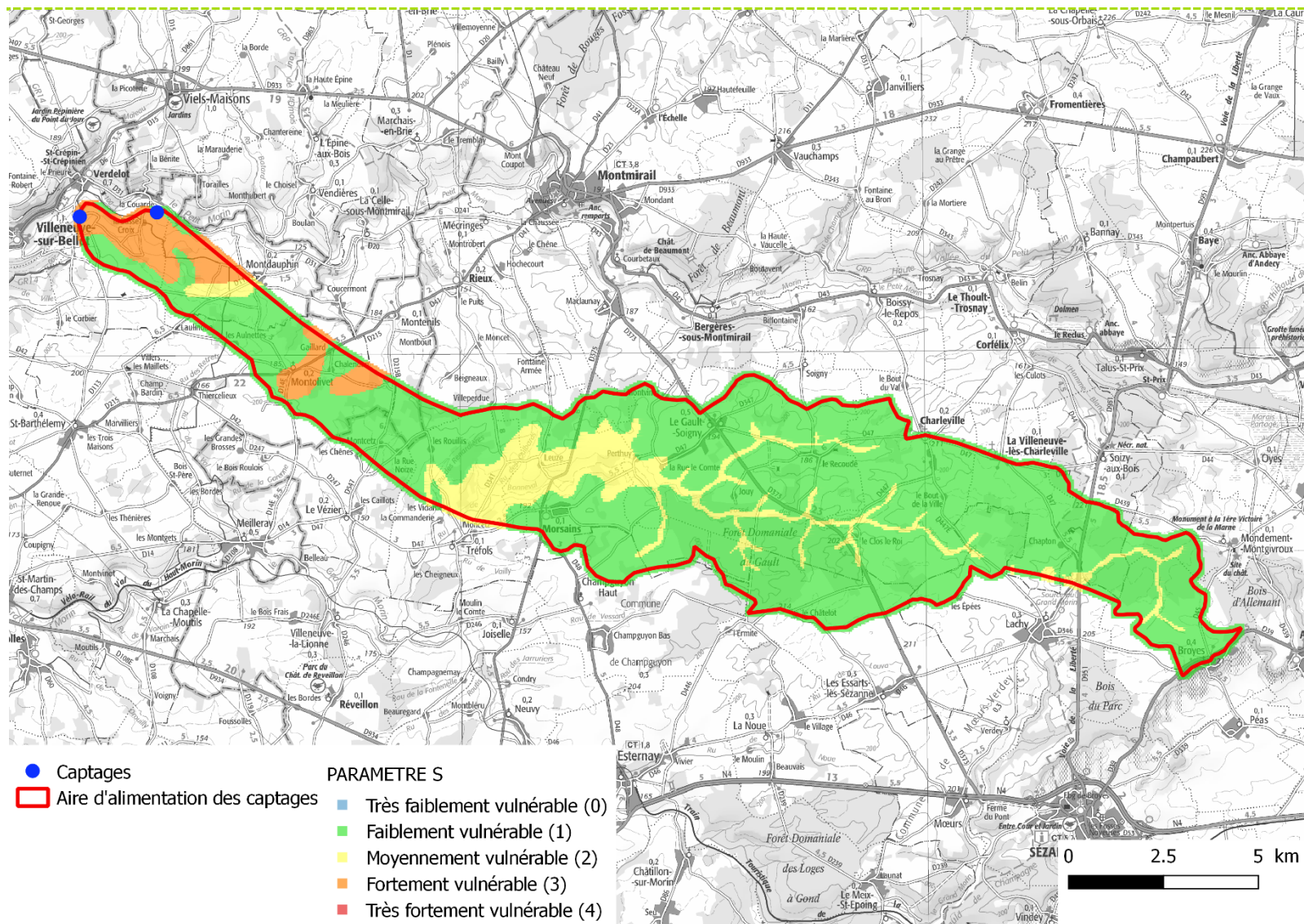


Figure 55 : Carte du paramètre S, sensibilité au lessivage (Suez Consulting, 2018)

7.2.3 Paramètre (IDPR), indice de persistance des réseaux

Le **paramètre ruissellement et infiltration** a été apprécié sur la base des méthodes préconisées par le BRGM, c'est à dire l'indice de persistance des réseaux défini par le BRGM.

L'Indice de Persistance des Réseaux (IDPR) : l'idée qui sous-tend l'IDPR découle de l'observation suivante : l'organisation du réseau hydrographique est dépendante des formations géologiques qui le supportent. Dans l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène, seule 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. La densité de drainage est donc un indicateur révélateur des propriétés des formations géologiques. Un bassin formé de matériaux très perméables aura en général une densité de drainage faible. A l'inverse, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes ou des argiles, va souvent présenter une densité de drainage élevée. 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 (de persistance des réseaux PR). L'indice de développement et de persistance des réseaux présente une métrologie de l'écart constaté entre les deux réseaux.

L'aire d'alimentation de captage actuelle est supérieure à quelques dizaines de km², c'est pourquoi la méthode l'IDPR sera appliquée dans ce cas. La cartographie utilisée est celle du BRGM au 1/50 000.

Tableau 17 : Répartition de la sensibilité à l'infiltration sur l'aire d'alimentation

Note	Classe	IDPR	Nombre de mailles	Proportion
0	Très faiblement vulnérable	1600 - 2000	1895	4,7%
1	Faiblement vulnérable	1200 – 1600	1059	2,6%
2	Moyennement vulnérable	800 – 1200	2178	5,4%
3	Fortement vulnérable	400 – 800	2476	6,2%
4	Très fortement vulnérable	0 – 400	32639	81,1%

L'aire d'alimentation est majoritairement très fortement vulnérable (81,1%).

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdolot (77)
 Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

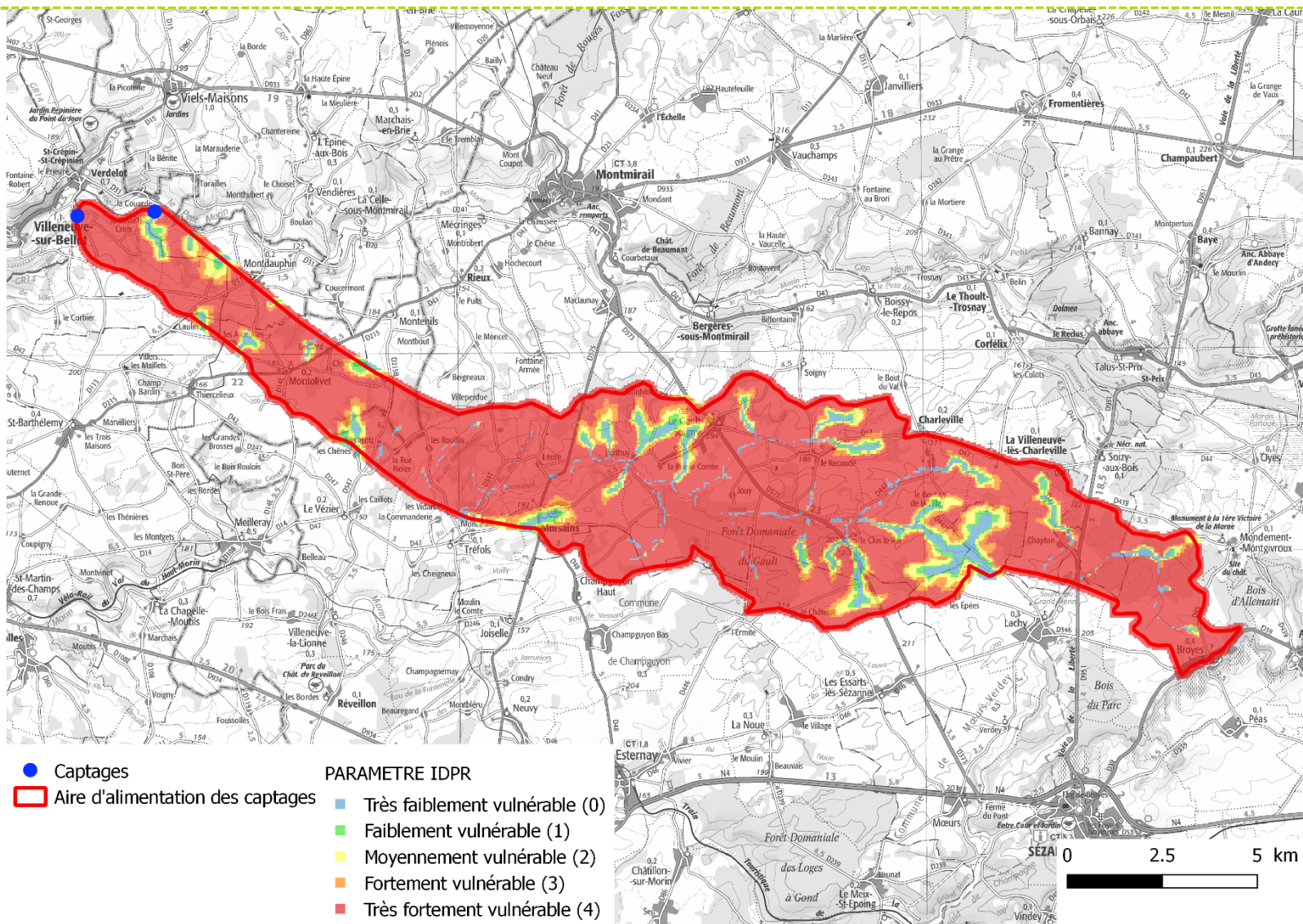


Figure 56 : Carte du paramètre IDPR, sensibilité à l'infiltration (Suez Consulting, 2018)

7.2.4 Paramètre (HZNS), profondeur de nappe

La profondeur de nappe est un paramètre de vulnérabilité estimé par la différence entre la piézométrie et le modèle numérique de terrain de l'institut géographique national. Plus la nappe est profonde, plus le transit du polluant vers la nappe sera long, et plus il aura de chances d'être dégradé (activité bactérienne ou simplement durée), ou fixé par adsorption, par des particules argileuses par exemple.

La carte piézométrique utilisée pour le calcul est la carte de hautes eaux 2014 du Lutétien.

Les notes appliquées pour la vulnérabilité sont les suivantes :

Tableau 18 : Répartition de la note de vulnérabilité pour l'épaisseur de zone non saturée par aire d'alimentation

Note	Classe	Épaisseur de la ZNS (m)	Nombre de mailles	Proportion
0	Très faiblement vulnérable	>50	8831	21,9%
1	Faiblement vulnérable	20-50	23981	59,6%
2	Moyennement vulnérable	5-20	7428	18,5%
3	Fortement vulnérable	2-5	6	0%
4	Très fortement vulnérable	<2	1	0%

L'aire d'alimentation du captage est faiblement à moyennement vulnérable.

Retenons que les zones les plus vulnérables se situent en fond de vallée.

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdolot (77)
 Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

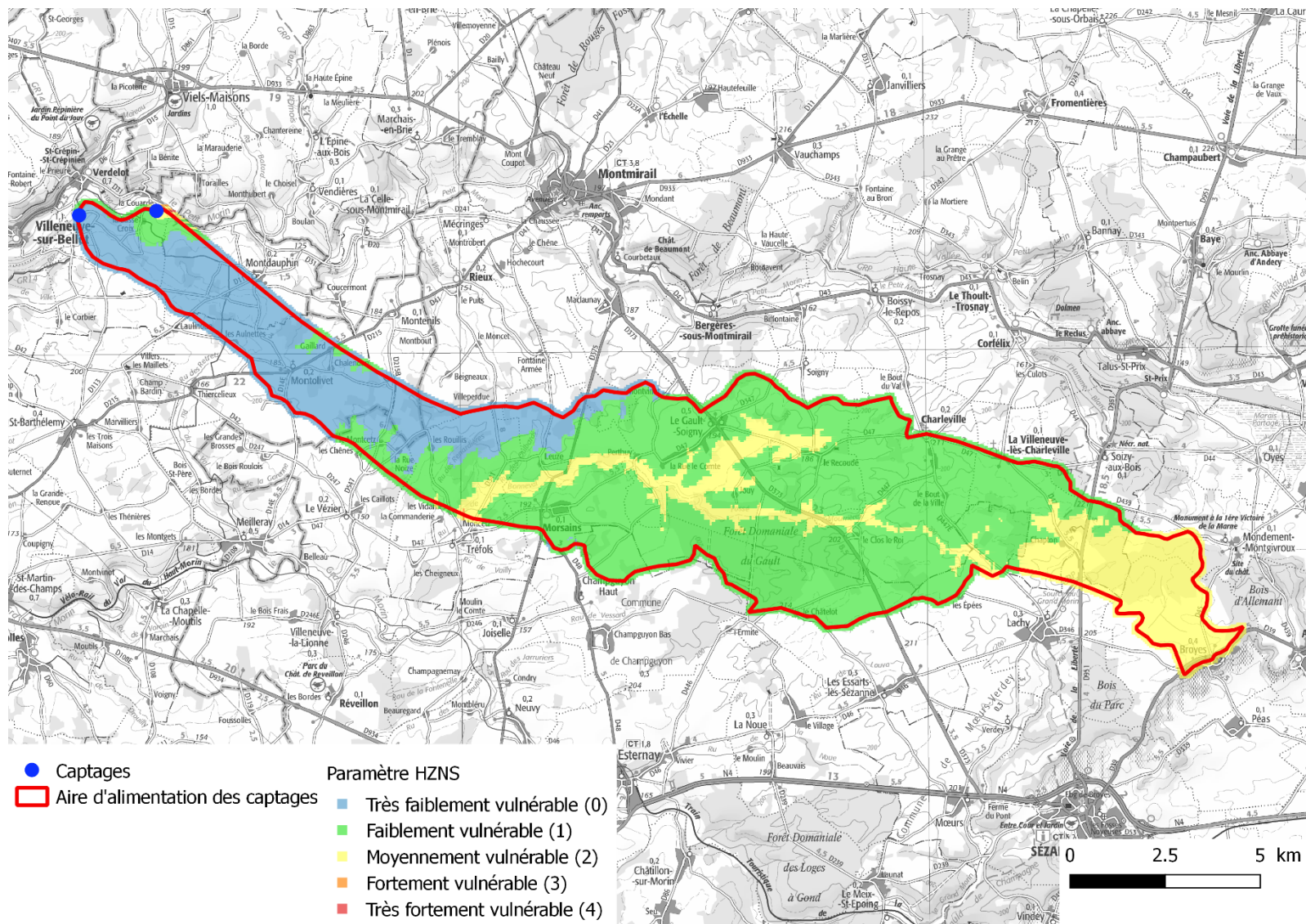


Figure 57 : Carte du paramètre HZNS, épaisseur de la zone non saturée (Suez Consulting, 2018)

7.2.5 Paramètre (KZS), perméabilité de l'aquifère saturée

D'après le pompage d'essai réalisé sur le captage Le Mont en 1992, la valeur de transmissivité est de $1,5 \cdot 10^{-2}$ m²/s. En admettant que la transmissivité peut être différente sur une telle superficie, nous retiendrons cette valeur pour sa très forte vulnérabilité suivant ce paramètre.

Tableau 19 : Répartition de la note de vulnérabilité vis-à-vis de la perméabilité de la zone saturée par aire d'alimentation

Note	Classe	Perméabilité K (m/s)	Nombre de mailles	Proportion
0	Très faiblement vulnérable	$10^{-7} > K$	0	0%
1	Faiblement vulnérable	$10^{-5} > K > 10^{-7}$	0	0%
2	Moyennement vulnérable	$10^{-4} > K > 10^{-5}$	0	0%
3	Fortement vulnérable	$10^{-3} > K > 10^{-4}$	0	0%
4	Très fortement vulnérable	$K > 10^{-3}$	40247	100%

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdolot (77)
 Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

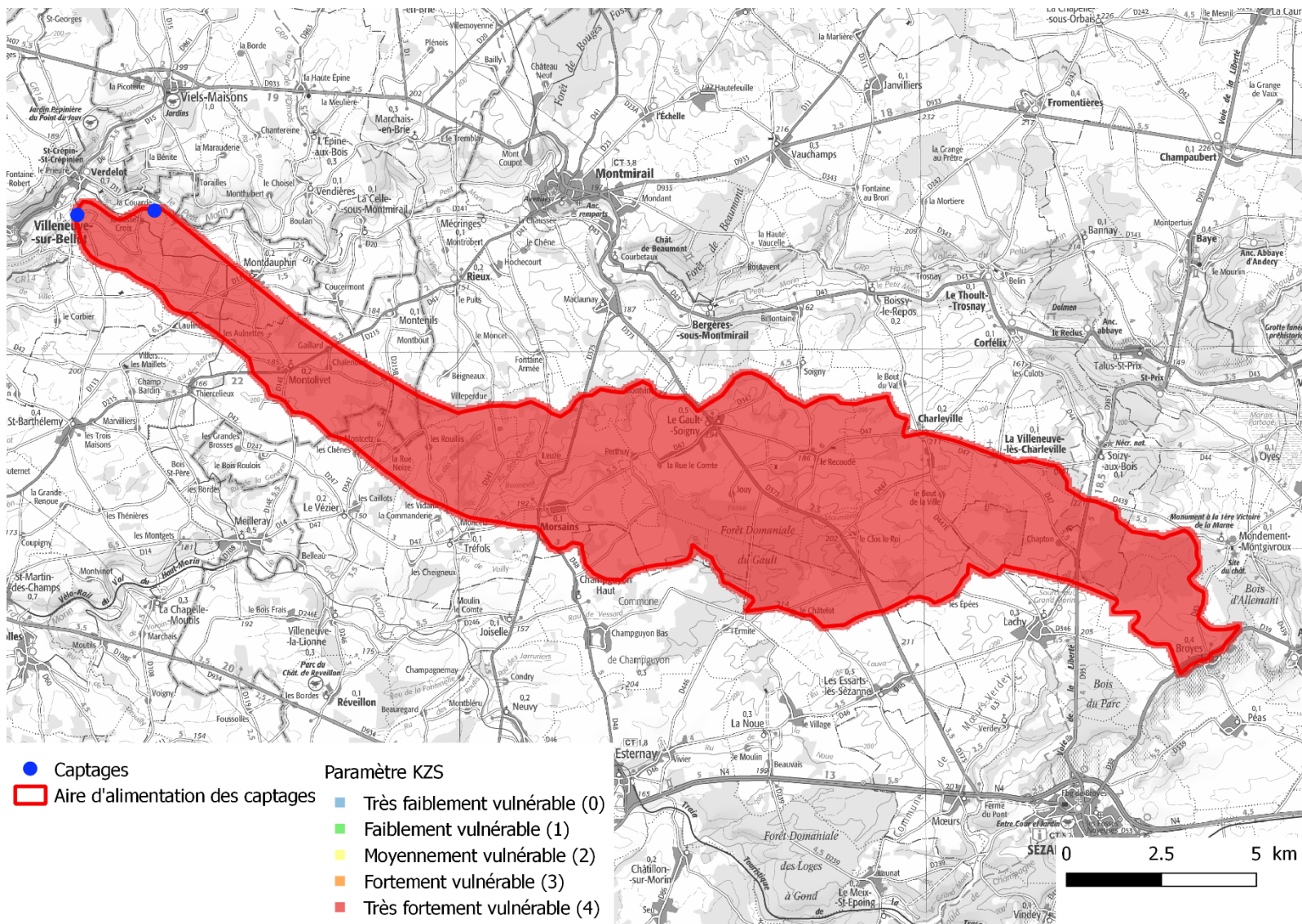


Figure 58 : Carte du paramètre KZS, perméabilité de la zone saturée (Suez Consulting, 2018)

7.3 Carte de vulnérabilité intrinsèque

La combinaison des cinq paramètres selon la pondération retenue permet de cartographier la vulnérabilité sur l'aire d'alimentation des captages de Verdelot.

Ainsi, l'indice de vulnérabilité correspond à la formule suivante :

$$\text{Indice de vulnérabilité} = 0,1P + 0,25 S + 0,3 \text{ IDPR} + 0,2 \text{ Hzns} + 0,15 K$$

Tableau 20 : Répartition de la note de vulnérabilité intrinsèque sur l'aire d'alimentation

Note	Classe	Valeur de l'indice	Nombre de mailles	Proportion
0	Très faiblement vulnérable	0 - 0.79	0	0%
1	Faiblement vulnérable	0.8 – 1.59	2742	6,8%
2	Moyennement vulnérable	1.6 – 2.39	27262	67,7%
3	Fortement vulnérable	2.4 – 3.19	10243	25,5%
4	Très fortement vulnérable	3.2 – 4	0	0%

Il faut retenir que :

- 6,8 % de l'aire d'alimentation est faiblement vulnérable.
- 67,7 % de l'aire d'alimentation est moyennement vulnérable.
- 25,5% de l'aire d'alimentation est fortement vulnérable.

Forages Le Mont (01866X0016) et Basse Croix (01866X0015) situés sur la commune de Verdolot (77)
 Délimitation de l'aire d'alimentation de captage et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

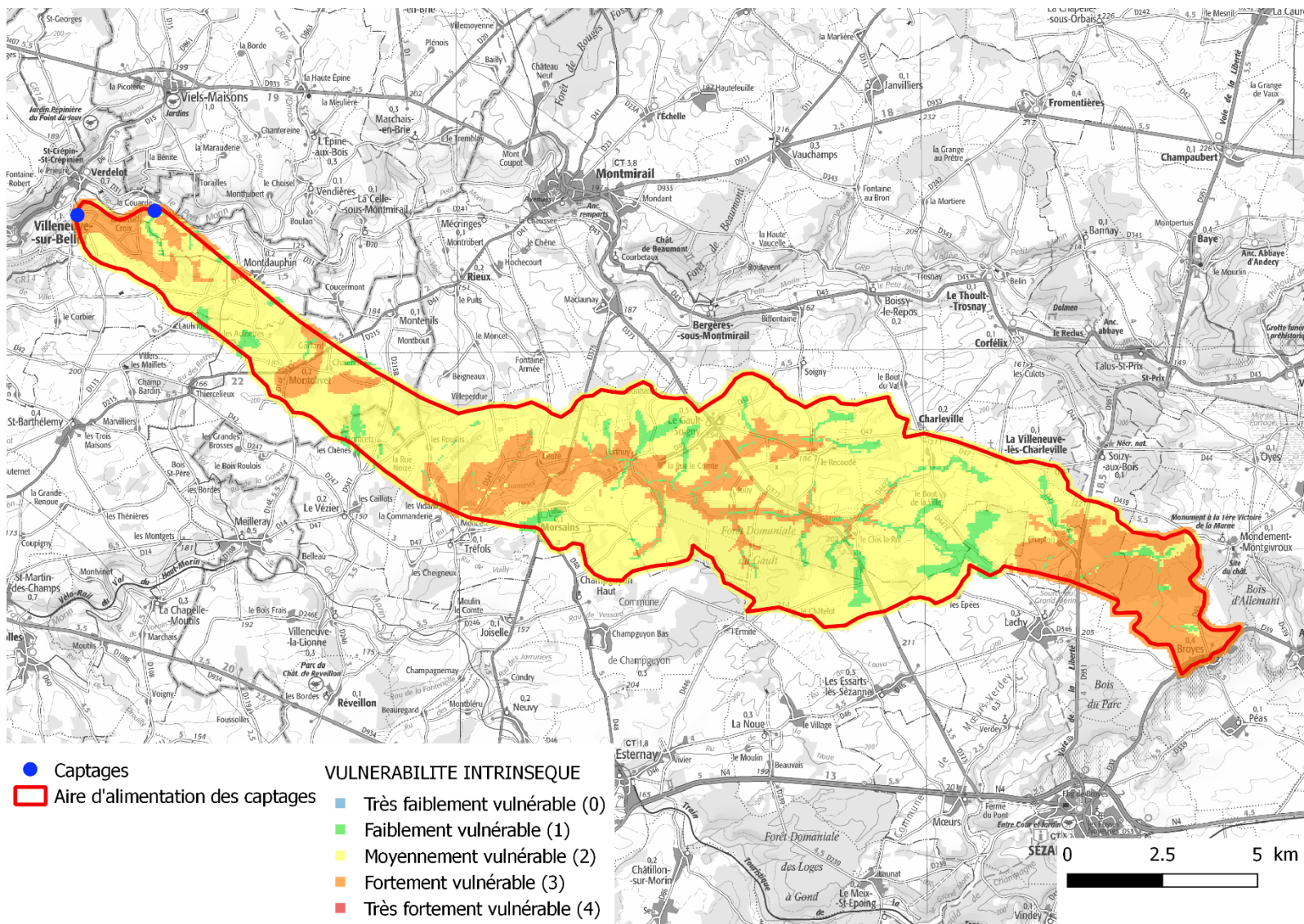


Figure 59 : Carte de la vulnérabilité intrinsèque selon la méthode DRASTIC (Suez Consulting, 2018)

8 CALCUL DE LA VULNERABILITE INTRINSEQUE DE L'AIRE D'ALIMENTATION DES CAPTAGES – METHODOLOGIE EAUX SUPERFICIELLES

8.1 Méthodologie du calcul de la vulnérabilité

La méthodologie utilisée pour calculer la vulnérabilité intrinsèque sur l'ensemble de l'aire d'alimentation des captages de « Le Mont » et « Basse Croix » a été développée par l'Agence de l'eau Adour Garonne. Elle a été spécialement conçue pour les captages d'eau superficielle. Elle est utilisée ici pour cartographier la vulnérabilité de l'aire d'alimentation des captages qui inclut le bassin versant du Petit Morin.

- Cette méthodologie suppose que les sources de contamination se trouvent à la surface du sol et atteignent le cours d'eau par ruissellement. La nature des polluants n'est pas prise en compte.
- Cette méthodologie ne prend pas en compte les relations entre les nappes et les cours d'eau. Elle permet donc de représenter la vulnérabilité uniquement d'un point de vue eaux superficielles sans inclure l'alimentation par les eaux souterraines.
- La notion de vulnérabilité de la ressource et de vulnérabilité du captage sont séparées. La vulnérabilité du captage étant obtenue à partir d'une combinaison de la vulnérabilité de la ressource et de la ressource au captage.

Les quatre grands paramètres utilisés pour calculer la vulnérabilité de la ressource « Vr » sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Tableau 21 : Paramètres utilisés pour le calcul de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource (Douay, Lardieg, 2010)

Sigle	Paramètre	Propriétés	Poids
D	Distance hydraulique au cours d'eau	Plus la source de pollution est éloignée du milieu récepteur, plus elle aura de chance d'être dégradée, absorbée ou adsorbée. Les zones proches des cours d'eau sont plus vulnérables que les zones éloignées	0.3
K	Nature du sol et du sous-sol	La perméabilité du sol joue un rôle sur la part des eaux qui participe au ruissellement et sur les temps de transit jusqu'au réseau hydrographique.	0.4
P	Pentes	Une forte pente favorise les écoulements et l'érosion. La courbure de la pente est responsable de la convergence ou de la divergence des flux.	0.2

R	Précipitations	L'intensité des précipitations est liée à l'érosivité des pluies et donc à l'entraînement des particules polluantes.	0.1
----------	----------------	--	-----

L'indice de vulnérabilité de la ressource est une combinaison des quatre paramètres présentés dans le tableau précédent selon la formule : $Vr = 0.3 D + 0.4 K + 0.2 P + 0.1 R$

La vulnérabilité augmente avec l'indice qui représente une mesure relative de la vulnérabilité de la ressource. Un indice de vulnérabilité faible indique que la zone est moins vulnérable à une contamination qu'un site ayant un indice élevé. Un indice de vulnérabilité nul ne signifie pas que la zone ne peut pas être contaminée.

La cartographie de la vulnérabilité est réalisée sous SIG après avoir discrétisé l'aire d'alimentation de la prise d'eau selon un maillage de 200x200 m.

8.2 Paramètres utilisés

8.2.1 Paramètre « D » : accessibilité du milieu aquatique

Pus un polluant est éloigné du milieu récepteur (le cours d'eau), plus il aura de chance d'être dégradé, adsorbé ou adsorbé. Ainsi, la distance hydraulique au cours d'eau est un paramètre important du calcul de la vulnérabilité. La pondération de ce paramètre dans le calcul de la vulnérabilité de la ressource est de 30%. La carte d'accessibilité des cours d'eau est créée à partir de la BD Carthage qui recense les cours d'eaux.

Tableau 22 : Classes du paramètre D : accessibilité du milieu aquatique (Douay, Lardieg, 2010)

Classes	Valeurs indice	Vulnérabilité
4	0 – 50 m	Très élevée
3	50 -100 m	Elevée
2	100 - 200 m	Modérée
1	200 - 500 m	Faible
0	> 500 m	Très faible

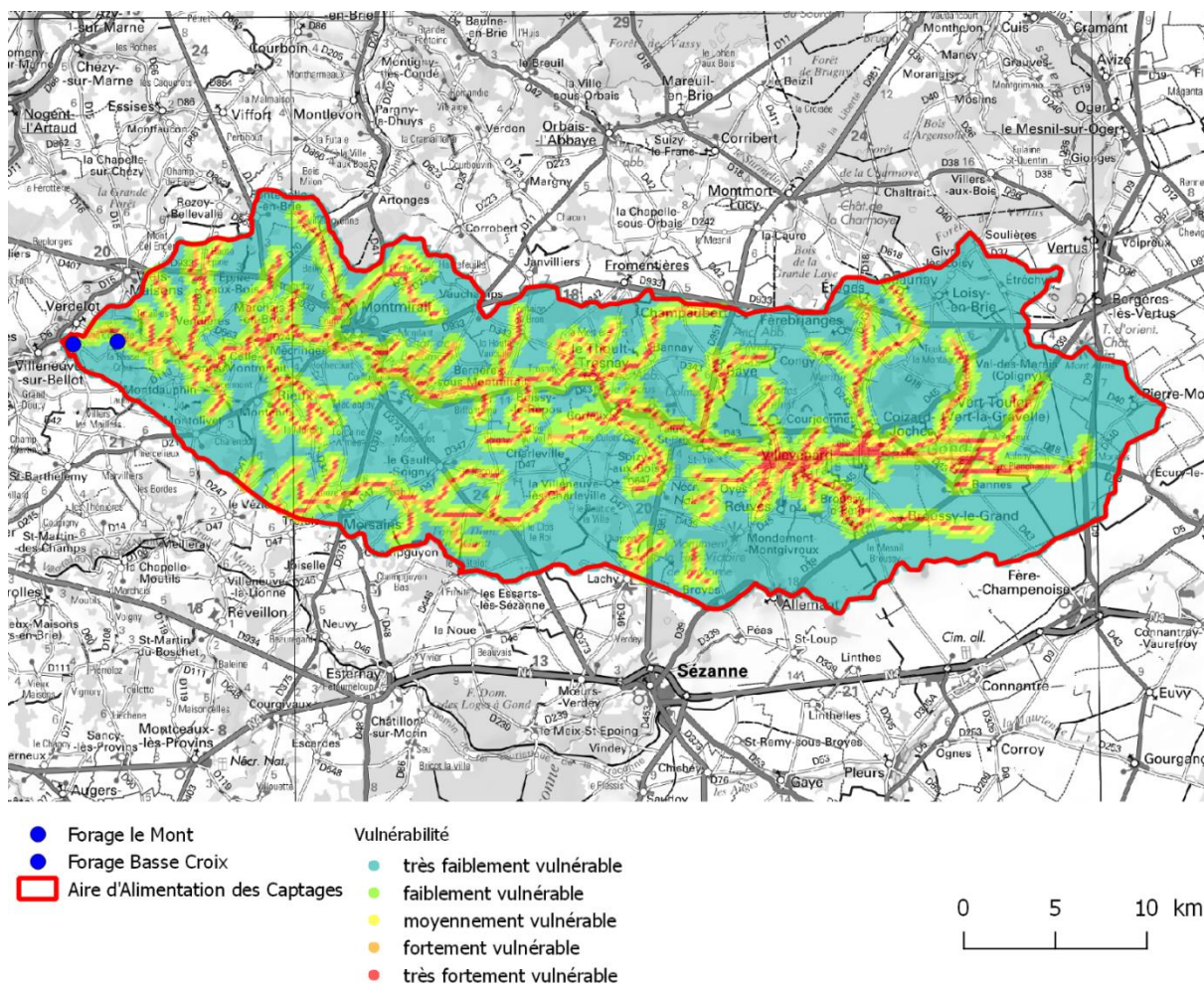


Figure 60 : Carte du paramètre D : accessibilité du milieu aquatique

8.2.2 Paramètre « K » : Facteurs en relation avec le fonctionnement hydrique du sol et le sous-sol

8.2.2.1 L'indice de développement et de persistance des réseaux « IDPR »

L'indice de développement et de persistance des réseaux est un paramètre créé par le BRGM qui permet de mettre en évidence la perméabilité des formations géologiques. L'IDPR compare un réseau théorique établi sous l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène au réseau naturel. Le rapport pour chaque point entre le plus proche cours d'eau réel et le plus proche cours d'eau calculé à partir du réseau théorique est l'IDPR.

Cet indice permet de représenter la capacité intrinsèque des formations géologiques à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de pluie. (Douay, Lardieg, 2010).

Les valeurs d'IDPR sont réparties dans des classes de vulnérabilité selon le tableau suivant : (Lardieg, 2010)

Tableau 23 : Classes du paramètre IDPR : Indice de persistance et de développement des réseaux (Douay, Lardieg, 2010)

Classe	Valeurs indice		Vulnérabilité
4	> 2000	Zones humides	Très élevée
3	1500 - 2000	Ruissellement majoritaire	Elevée
2	1000 - 1500	Infiltration et ruissellement	Modérée
1	< 1000	Infiltration majoritaire	Faible
0			Très faible

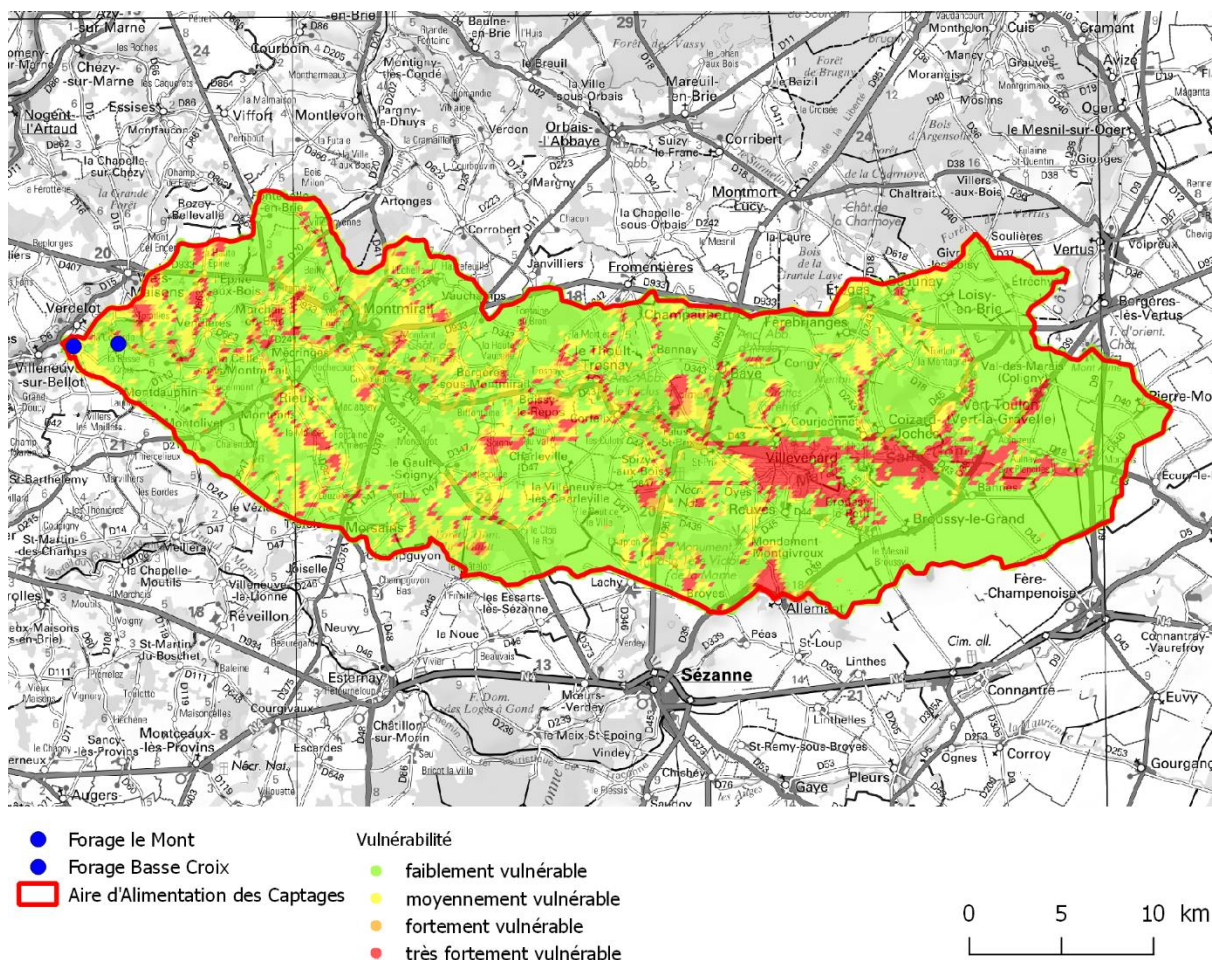


Figure 61 : Carte du paramètre IDPR : indice de persistance et de développement des réseaux

8.2.2.2 L'indice de battance « IB »

Un indice de battance est associé à chaque unité de sol de la carte des sols présentée précédemment.

L'indice de battance peut être déduit de la texture du sol avec le triangle suivant (Blanc = battance faible ; Jaune = battance moyenne ; Orange = battance forte) :

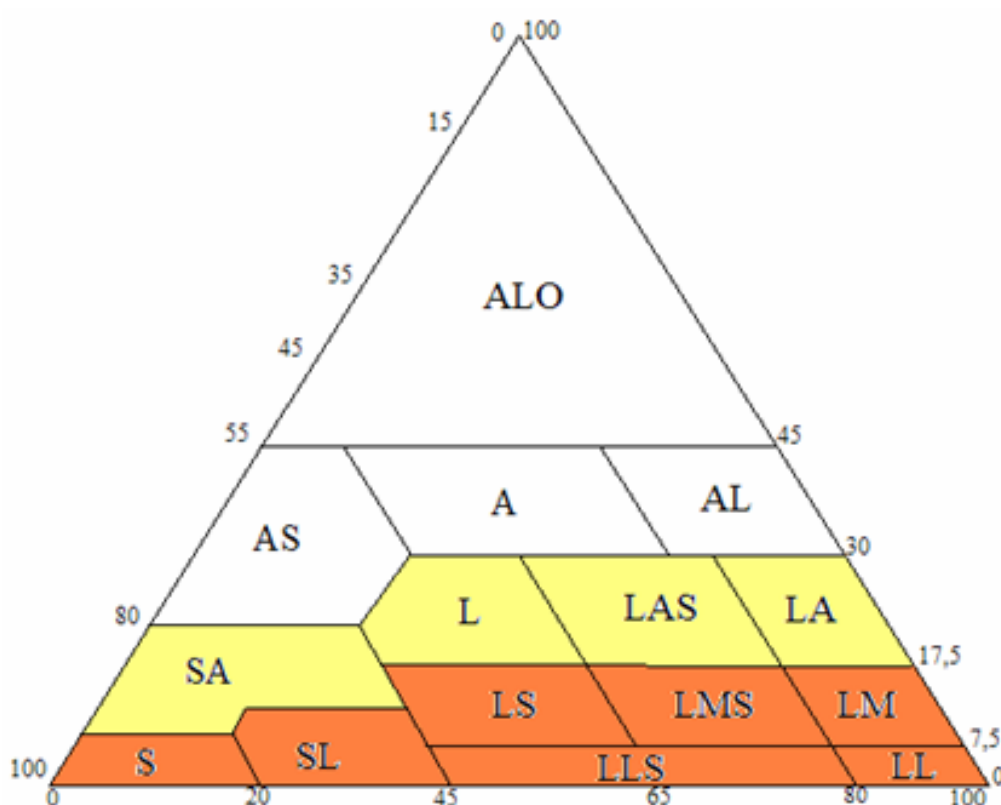


Figure 62 : Association d'un indice de battance à partir de la texture du sol

Les valeurs d'indices de battance sont réparties dans des classes de vulnérabilité selon le tableau suivant :

Tableau 24 : Classes des indices de battances « IB » (Douay, Lardieg, 2010)

Classe	Valeurs indice		Vulnérabilité
4	> 1,3	Zone de non sol	Très élevée
3	1,2- 1,3		Elevée
2	1,1 – 1,2		Modérée
1	1 – 1,1		Faible
0	< 1		Très faible

Les indices de battances ont été déterminés à partir des cartes pédologiques de la Marne et de l'Île-de-France à l'échelle 1/250 000. Ces deux cartes pédologiques ne couvraient pas la partie de l'aire d'alimentation des captages appartenant au département de l'Aisne. Cette zone a donc été interpolée d'après les cartes pédologiques de la Marne et de l'Île-de-France en prenant compte la géologie et la topographie pour obtenir l'indice de battance utilisé dans la cartographie de la vulnérabilité.

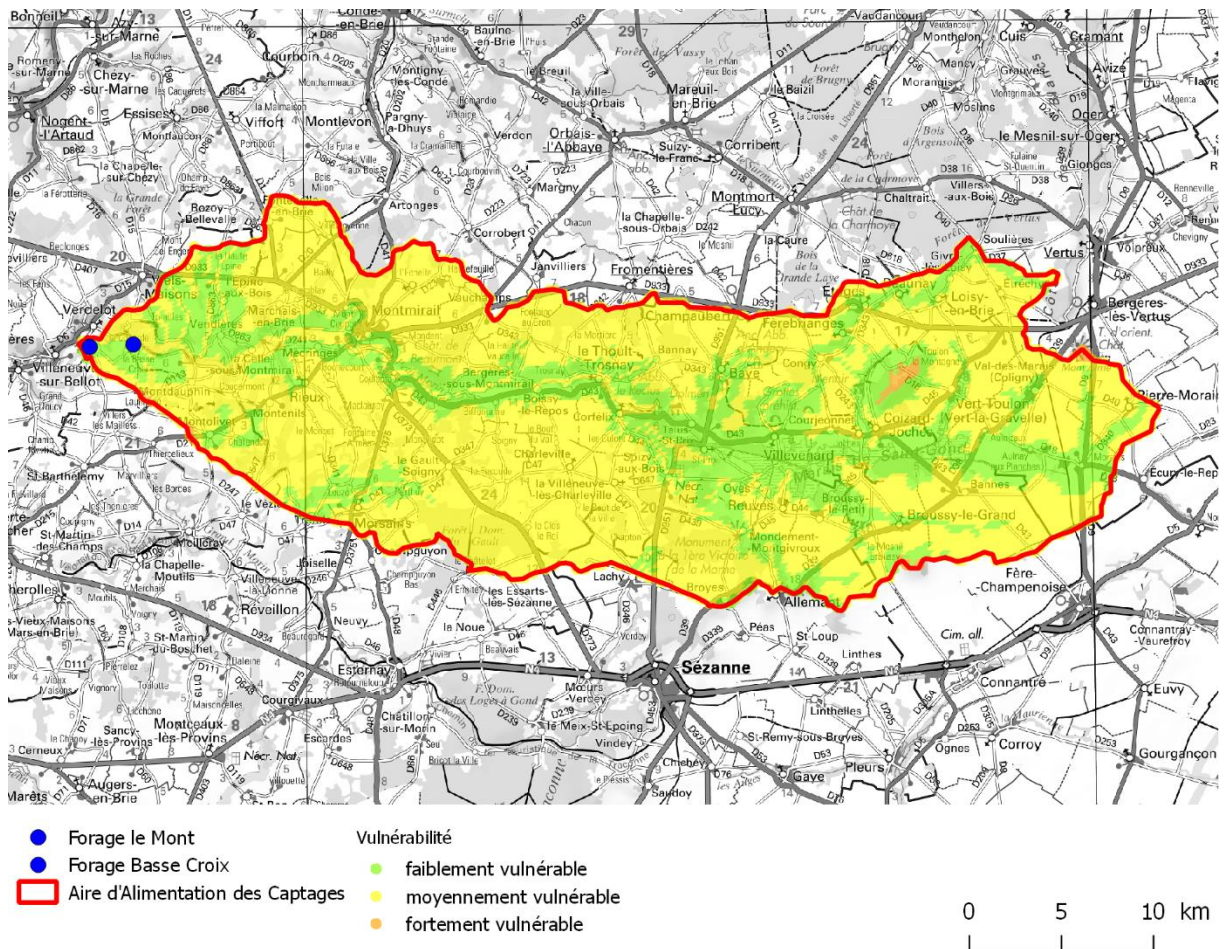


Figure 63 : Carte du paramètre IB : indice de battance

8.2.2.3 L'occupation du Sol « Os »

L'occupation des sols joue un rôle essentiel dans le ruissellement des eaux. Elle va contrôler l'infiltration des eaux de surface et le potentiel d'absorption des polluants. Une zone boisée par exemple favorise fortement l'infiltration et va permettre de retenir les polluants. A l'inverse, un sol urbanisé va favoriser le ruissellement en empêchant l'infiltration.

Le paramètre Os est ici déterminé à l'aide de la base de données Corine Land Cover « CLC » de 2012. La méthodologie fixe un coefficient de ruissellement qui permet de définir une classe de vulnérabilité pour chaque type de sol de la base de données « CLC ».

Tableau 25 : Classes du paramètres "Os" : Occupation des sols

Classe Os	Code et libellé CLC 06	Terrain	Vulnérabilité
4	111 Tissu urbain continu 121 Zones industrielles et commerciales 122 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés 123 Zones portuaires 124 Aéroports 131 Extraction de matériaux 332 Roches nues		Très élevée
3	112 Tissu urbain discontinu 132 Décharges 133 Chantiers 212 Périmètres irrigués en permanence 221 Vignobles 223 Oliveraies 323 Végétation sclérophylle		Elevée
2	142 Equipements sportifs et de loisirs 211 Terres arables hors périmètres d'irrigation 241 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes 242 Systèmes culturaux et parcellaires complexes	Surfaces agricoles ou prairies avec une densité de haies <50 m.l./ha	Modérée
1	141 Espaces verts urbains 213 Rizières 222 Vergers et petits fruits 231 Prairies 243 Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants 244 Territoires agro-forestiers 321 Pelouses et pâturages naturels 333 Végétation clairsemée 334 Zones incendiées	Prairies ou bocages avec une densité de haies >50 m.l./ha	Faible
0	311 Forêts de feuillus 312 Forêts de conifères 313 Forêts mélangées 322 Landes et broussailles 324 Forêt et végétation arbustive en mutation 331 Plages, dunes et sable 335 Glaciers et neiges éternelles 411 Marais intérieurs 412 Tourbières 421 Marais maritimes 422 Marais salants 423 Zones intertidales 511 Cours et voies d'eau 512 Plans d'eau 521 Lagunes littorales 522 Estuaires 523 Mers et océans		Très faible

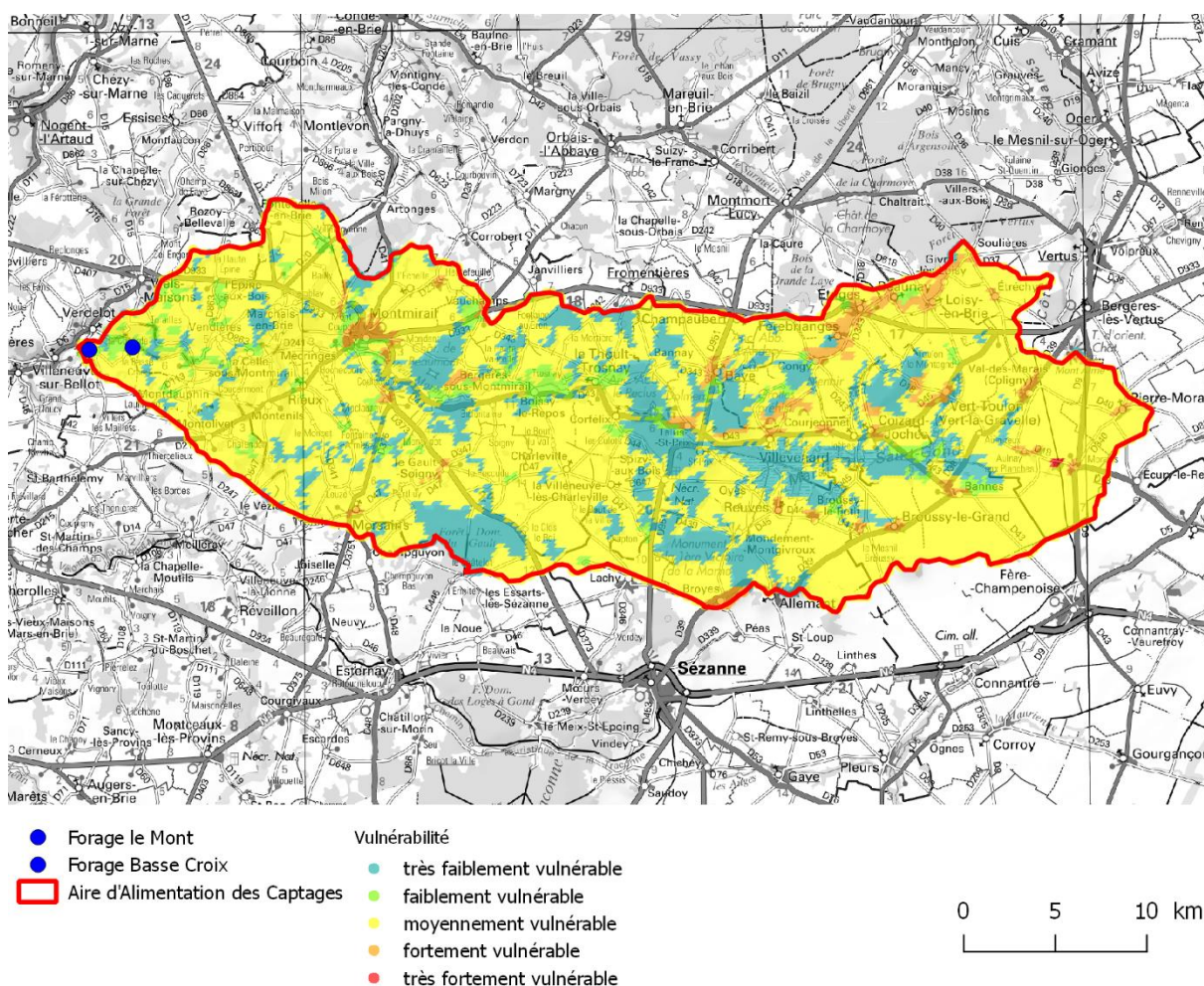


Figure 64 : Carte du paramètre Os : occupation des sols

8.2.2.4 Détermination du paramètre « K »

Le paramètre K est la combinaison des trois paramètres « OS », « IB » et « D » décrits ci-dessus selon la formule :

$$K = 0.4 \cdot IDPR + 0.2 \cdot IB + 0.4 \cdot OS$$

Les valeurs calculées sont réparties dans des classes de vulnérabilité selon le tableau suivant :

Tableau 26 : Classes des indices de vulnérabilité « K » (Douay, Lardieg, 2010)

Classe	Valeurs indice K	Vulnérabilité
4	3,2 - 4	Très élevée
3	2,4 - 3,19	Elevée
2	1,6 - 2,39	Modérée
1	0,8 - 1,59	Faible
0	0 - 0,79	Très faible

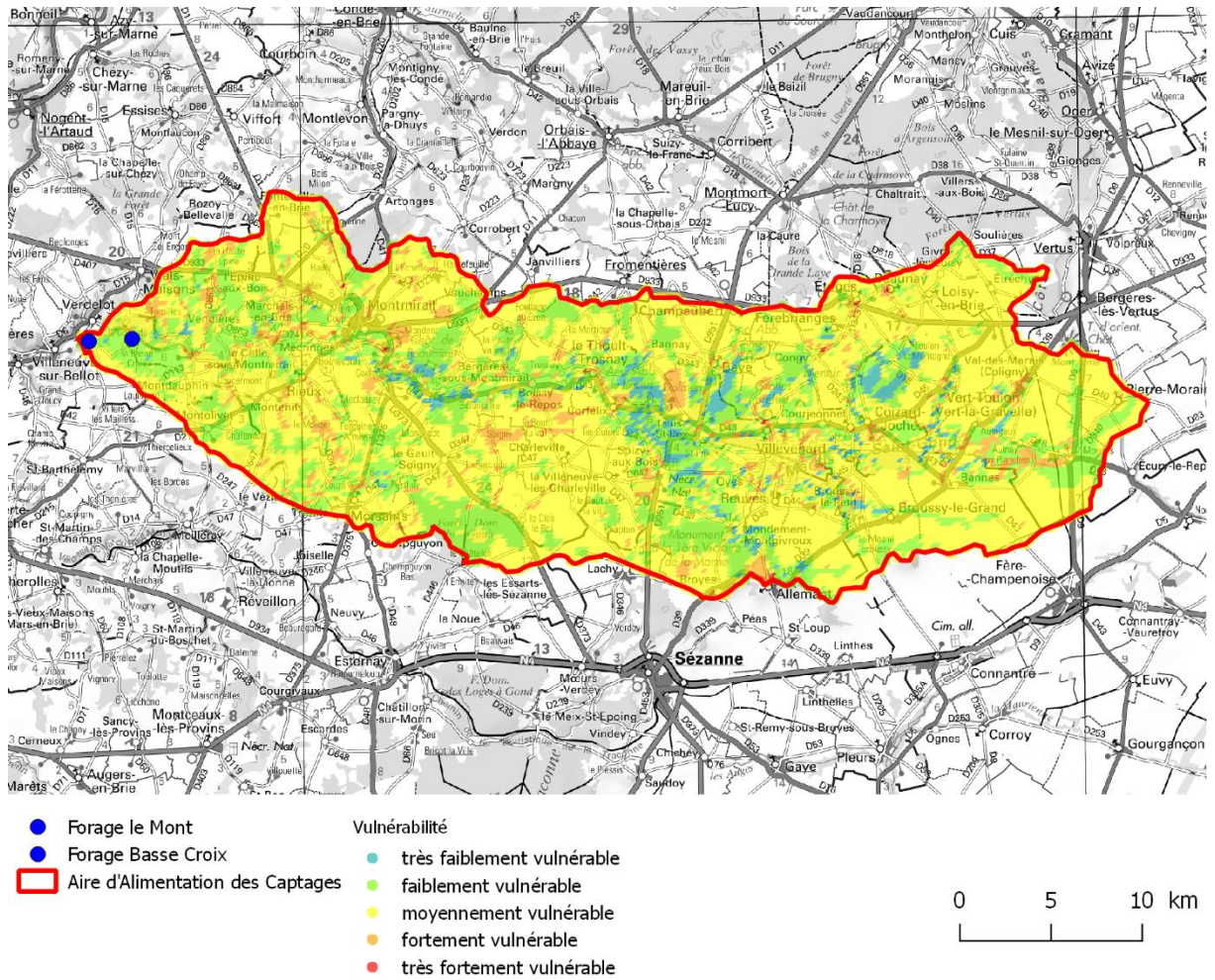


Figure 65 : Carte du paramètre K

8.2.3 Paramètre « P » : Facteur en relation avec la physiographie du bassin-versant

8.2.3.1 L'intensité des pentes « Pi »

L'intensité des pentes joue un rôle essentiel sur la vitesse des écoulements superficiels. Une forte vitesse d'écoulement favorisera l'érosion des sols (et donc l'entraînement des particules polluantes) tout en limitant l'infiltration de l'eau. A l'inverse, une faible vitesse d'écoulement va permettre la sédimentation et l'infiltration des eaux de ruissellement (Douay, Lardieg, 2010). Les pentes sont calculées à l'aide du MNT de la zone d'étude avant d'être réparties dans des classes de vulnérabilité selon le tableau suivant :

Tableau 27 : Classes du paramètre "Pi" : intensité des pentes (Douay, Lardieg, 2010)

Classe	Valeurs indice Pi	Vulnérabilité
4	$> 10^\circ$	Très élevée
3	7 - 10°	Elevée
2	3 - 7°	Modérée
1	1,5 - 3°	Faible
0	$< 1,5^\circ$	Très faible

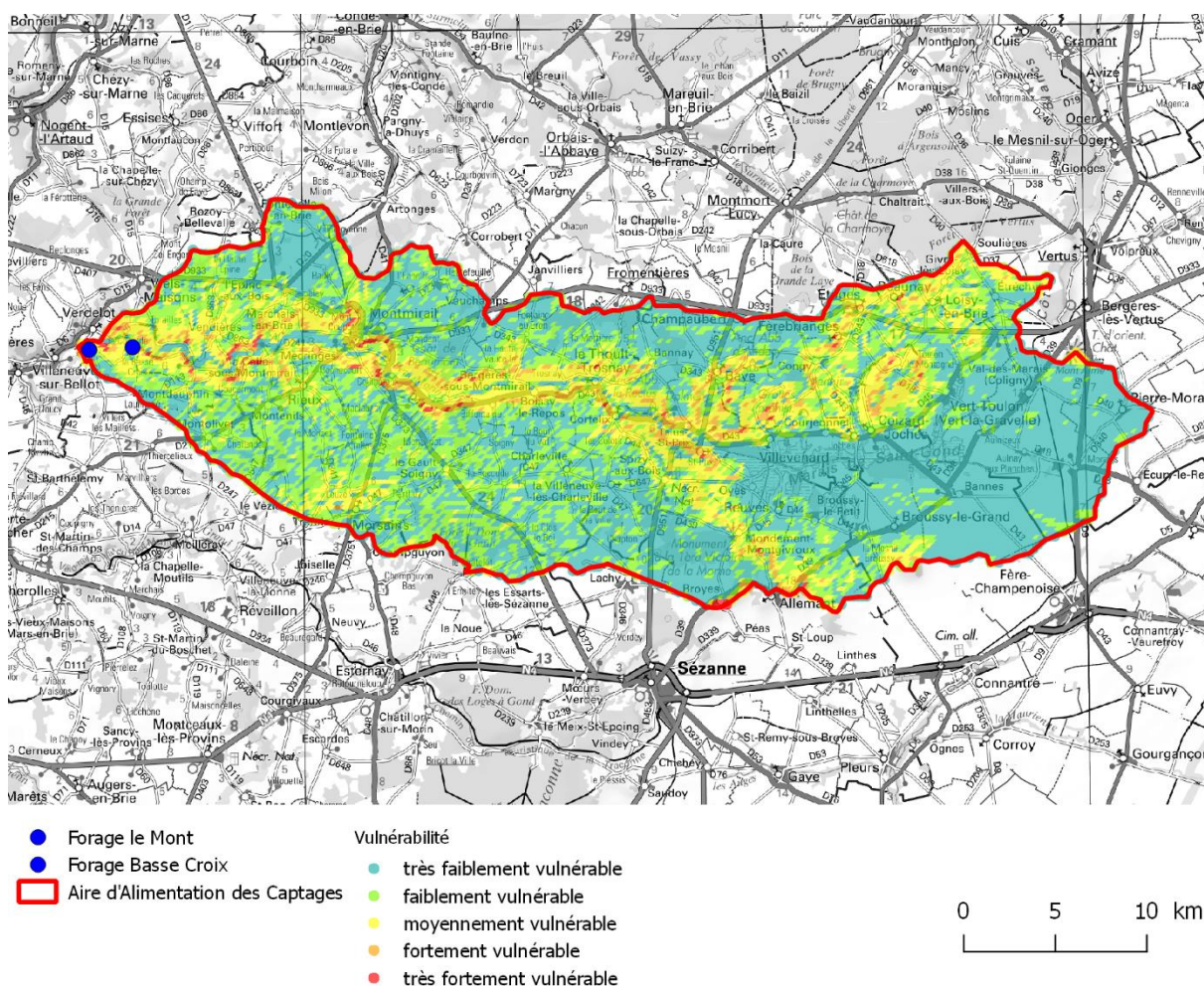


Figure 66 : Carte du paramètre Pi : intensité des pentes

8.2.3.2 La courbure des pentes « Pc »

La courbure des pentes joue un rôle essentiel dans la manière dont s'écoulent les flux. Afin d'obtenir la courbure des pentes, deux fichiers raster sont générés à partir du MNT de la zone d'étude : un raster de courbure longitudinale et un raster de courbure transversale. Une valeur positive ou négative (allant de -1 à 1) est attribuée à chaque pixel des deux fichiers en fonction de la courbure convexe ou concave de la pente.

Une courbure horizontale concave va avoir tendance à faire diverger les flux à l'inverse d'une courbure convexe qui va les concentrer. Une courbure horizontale convexe augmente donc la vulnérabilité.

Une courbure verticale concave va entraîner une décélération des flux alors qu'une courbure convexe va entraîner une accélération. Une courbure verticale convexe augmente donc la vulnérabilité.

La courbure transversale et la courbure longitudinale sont associées à l'aide de la matrice suivante :

Tableau 28 : Matrice d'association de la courbure horizontale et de la courbure verticale (Douay, Lardieg, 2010)

Classe		Courbure verticale		
		Convexe	Linéaire	Concave
Courbure horizontale	Concave	0	1	2
	Linéaire	1	2	3
	Convexe	2	3	4

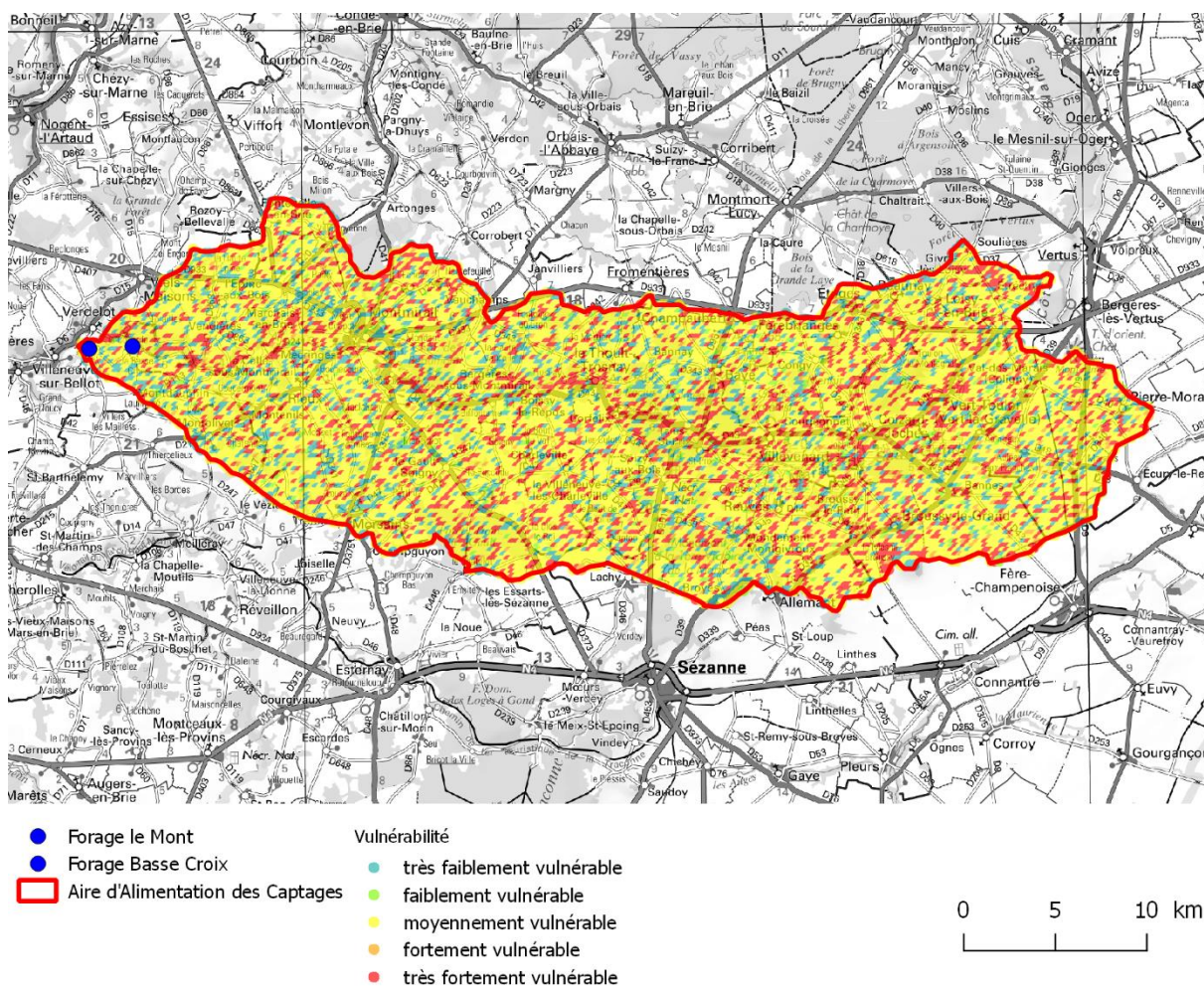


Figure 67 : Carte du paramètre Pc : courbure des pentes

8.2.3.3 Le paramètre pente « P »

Le paramètre pente « P » est calculé en associant l'intensité des pentes « Pi » et la courbure des pentes « Pc » avec la pondération suivante :

$$P = 0.8 \cdot P_i + 0.2 \cdot P_c$$

La valeur obtenue est ensuite distribuée dans cinq classes de vulnérabilité selon le tableau suivant :

Tableau 29 : Classes des indices de vulnérabilité du paramètre « P » (Douay, Lardieg, 2010)

Classe	Valeurs indice P	Vulnérabilité
4	3,2 - 4	Très élevée
3	2,4 - 3,19	Elevée
2	1,6 - 2,39	Modérée
1	0,8 - 1,59	Faible
0	0 - 0,79	Très faible

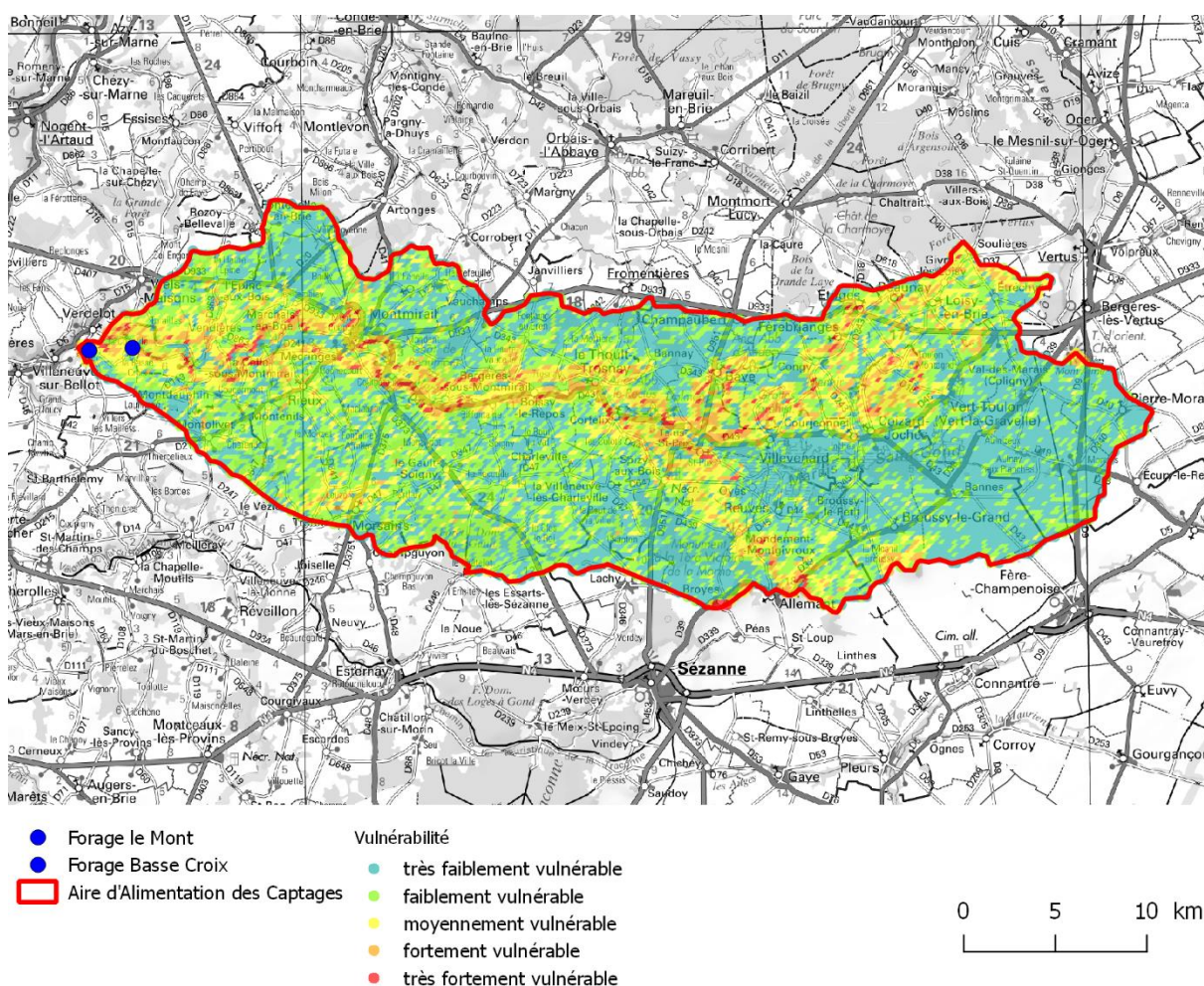


Figure 68 : Carte du paramètre P

8.2.4 Paramètre « R » : Facteur avec l'intensité des précipitations : l'érosivité des pluies

En fonction de l'intensité des précipitations, les particules polluantes ne sont pas impactées de la même manière. Une pluie de très grande intensité (grande quantité d'eau en peu de temps) va entraîner un lessivage des sols et entraîner les particules polluantes vers les milieux aquatiques. Une pluie de faible intensité va avoir tendance à diluer les substances polluantes (Douay, Lardieg, 2010).

Ainsi, plus que l'intensité des pluies, c'est l'érosivité des pluies qui est intéressante car influençant l'entraînement des molécules polluantes. L'érosivité des pluies nécessite de connaître l'intensité maximale de la pluie sur 30 minutes. Ces données étant rarement disponibles, l'érosivité peut être approchée par la formule de Renard et Freimund :

$$R = 0.04830 * P^{1.610}$$

Avec R le paramètre d'érosivité et P les précipitations annuelles en millimètres. Le paramètre R est ensuite réparti dans cinq classes selon le tableau suivant :

Tableau 30 : Classes du paramètre "R" : érosivité des pluies (Douay, Lardieg, 2010)

Classe	Erosivité R		Vulnérabilité
4	>5000	Forte érosivité	Très élevée
3	4000 à 5000		Elevée
2	3000 à 4000		Modérée
1	2000 à 3000		Faible
0	0 à 2000	Faible érosivité	Très faible

D'après les stations Météo France :

- La fiche climatologique de la station météo de Sommesous (51) indique une pluviométrie moyenne de 817.2 millimètres entre 1981 et 2010 (Météo France, 2018).

Pour cette valeur, $R = 0.04830 * 817.2^{1.610} = 2359.4$

- La fiche climatologique de la station météo d'Esternay-Man (51) indique une pluviométrie moyenne de 782.4 millimètres entre 1981 et 2010 (Météo France, 2018).

Pour cette valeur, $R = 0.04830 * 782.4^{1.610} = 2199.7$

La classe de vulnérabilité associée pour le paramètre « R » est donc la classe 1 qui correspond à une **vulnérabilité faible**.

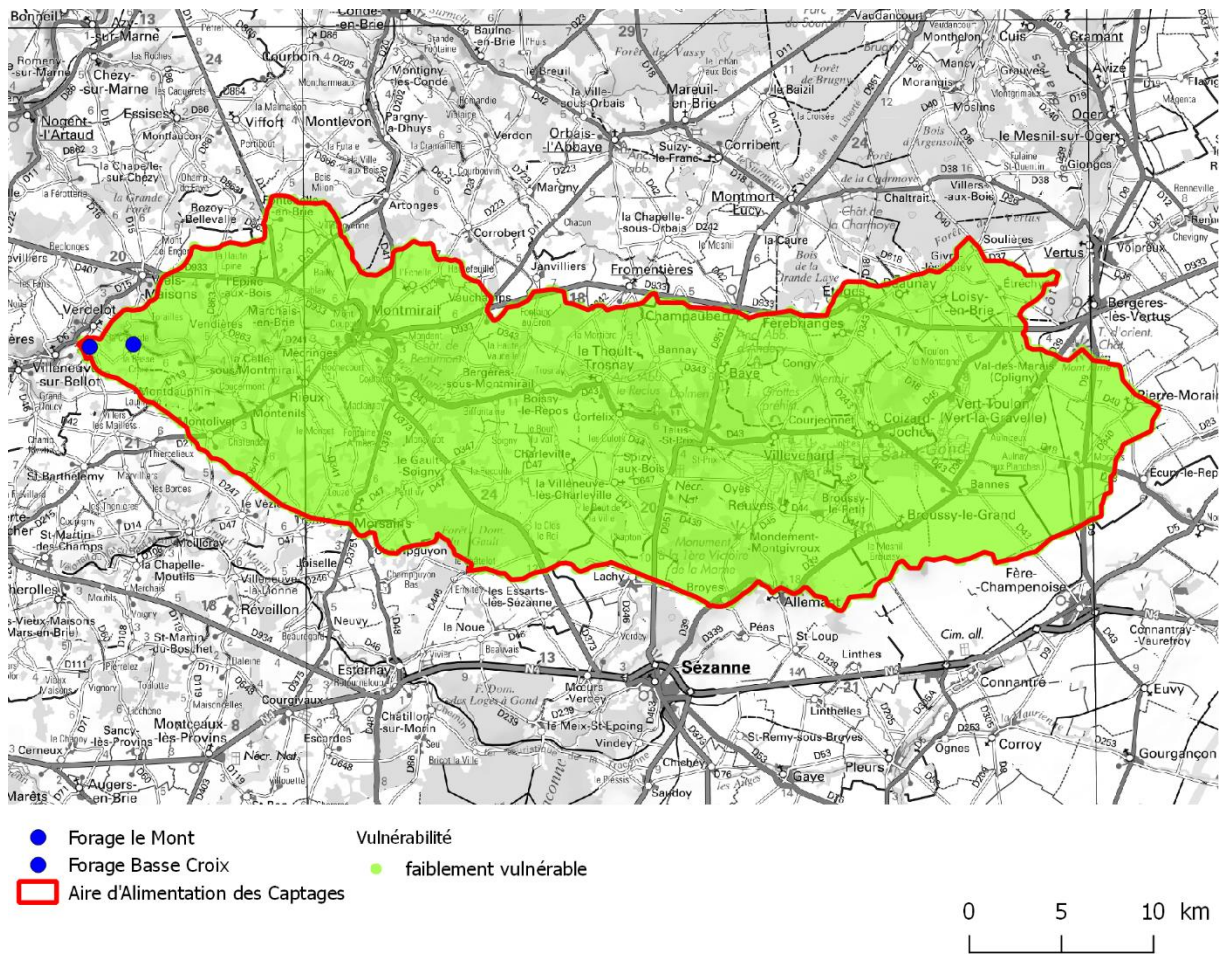


Figure 69 : Carte du paramètre R : érosivité des pluies

8.3 Vulnérabilité intrinsèque de la ressource « Vr »

La vulnérabilité de la ressource représente en chaque point de la zone cartographiée, la facilité qu'a un polluant à atteindre la ressource (le cours d'eau). Ce paramètre est calculé en faisant la somme pondérée de tous les paramètres détaillés précédemment en utilisant la formule suivante :

$$Vr = 0.3*D + 0.4*K + 0.2*P + 0.1*R$$

La valeur obtenue est ensuite distribuée dans cinq classes de vulnérabilité selon le tableau suivant :

Tableau 31 : Classes des indices de vulnérabilité de la ressource « Vr » (Douay, Lardieg, 2010)

Classe	Valeurs indice	Vulnérabilité
4	3,2 – 4	Très élevée
3	2,4 – 3,19	Elevée
2	1,6 – 2,39	Modérée
1	0,8 – 1,59	Faible
0	0 - 0,79	Très faible

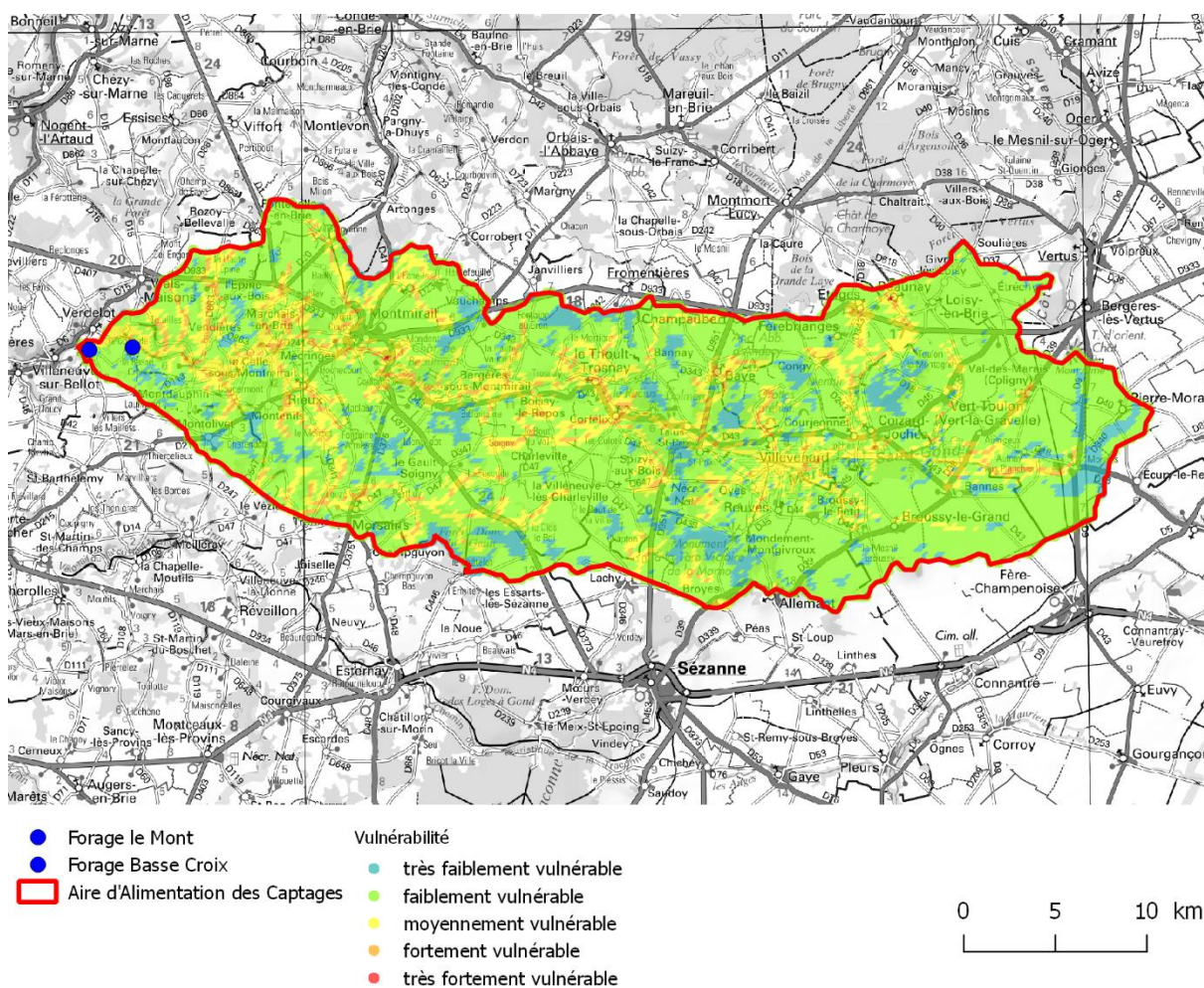


Figure 70 : Carte du paramètre Vr : vulnérabilité de la ressource

8.4 Vulnérabilité intrinsèque du captage « Vc »

La vulnérabilité du captage prend en compte à la fois la vulnérabilité intrinsèque de la ressource définie précédemment par l'indice « Vr » et les phénomènes de dégradation et de dilution qui se produisent pendant le cheminement jusqu'au captage (Douay, Lardieg, 2010).

Les phénomènes de dégradation et de dilution des polluants sont très compliqués à chiffrer car ils dépendent à la fois des conditions chimiques du milieu et des propriétés de chaque polluant. La méthodologie a admis pour simplifier que plus la source de pollution est éloignée du captage, plus les phénomènes de dilution et de dégradation seront importants (Douay, Lardieg, 2010).

8.4.1 Distance au captage

La distance au captage peut être exprimée soit par une valeur fixe en kilomètres (paramètre « Dc ») soit par un pourcentage de la superficie de l'AAC (paramètre « S »).

Nous préconisons de retenir la distance au captage en kilomètres qui est représentative au vu de la superficie de l'AAC.

Des valeurs de vulnérabilité sont associées à ce paramètre selon les catégories suivantes :

Tableau 32 : Classes des distances au captage « Dc » (Douay, Lardieg, 2010)

Classe	Distance du captage		Vulnérabilité
4	0 – 5 km	Faible dégradation	Très élevée
3	5 – 10 km		Elevée
2	10 – 20 km		Modérée
1	20 – 100 km		Faible
0	> 100 km	Forte dégradation	Très faible

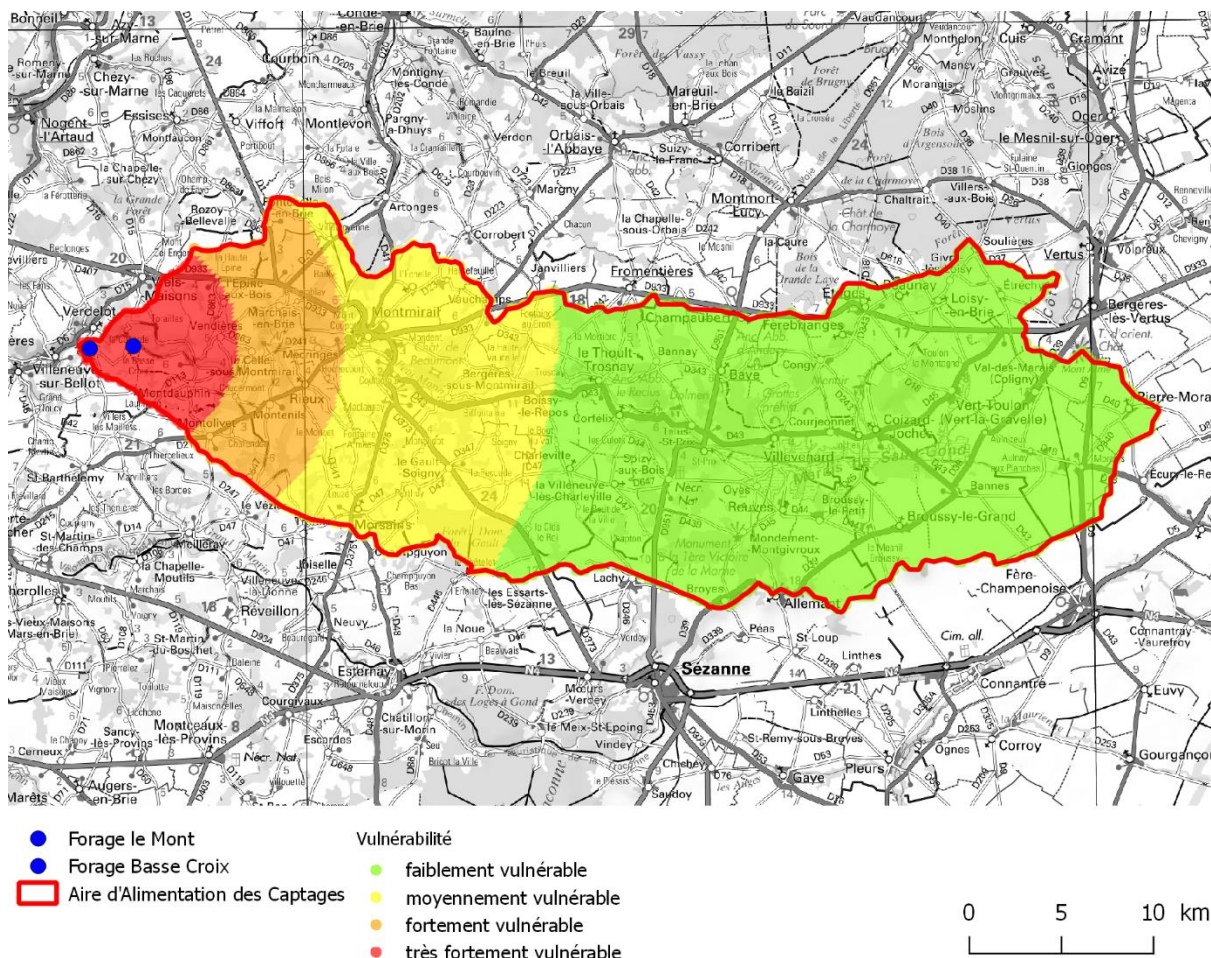


Figure 71 : Carte du paramètre Dc : distance au captage

8.4.2 Calcul de la vulnérabilité du captage

La vulnérabilité du captage est calculée en pondérant les paramètres de vulnérabilité de la ressource et de distance au captage selon la formule suivante :

$$Vc = 0.7 \cdot Vr + 0.3 \cdot Dc$$

La valeur obtenue est ensuite distribuée dans cinq classes de vulnérabilité selon le tableau suivant :

Tableau 33 : Classes des indices de vulnérabilité du captage « Vc » (Douay, Lardieg, 2010)

Classe	Valeur Vc	Vulnérabilité
4	3,2 - 4	Très élevée
3	2,4 – 3,19	Elevée
2	1,6 – 2,39	Modérée
1	0,8 – 1,59	Faible
0	0 - 0,79	Très faible

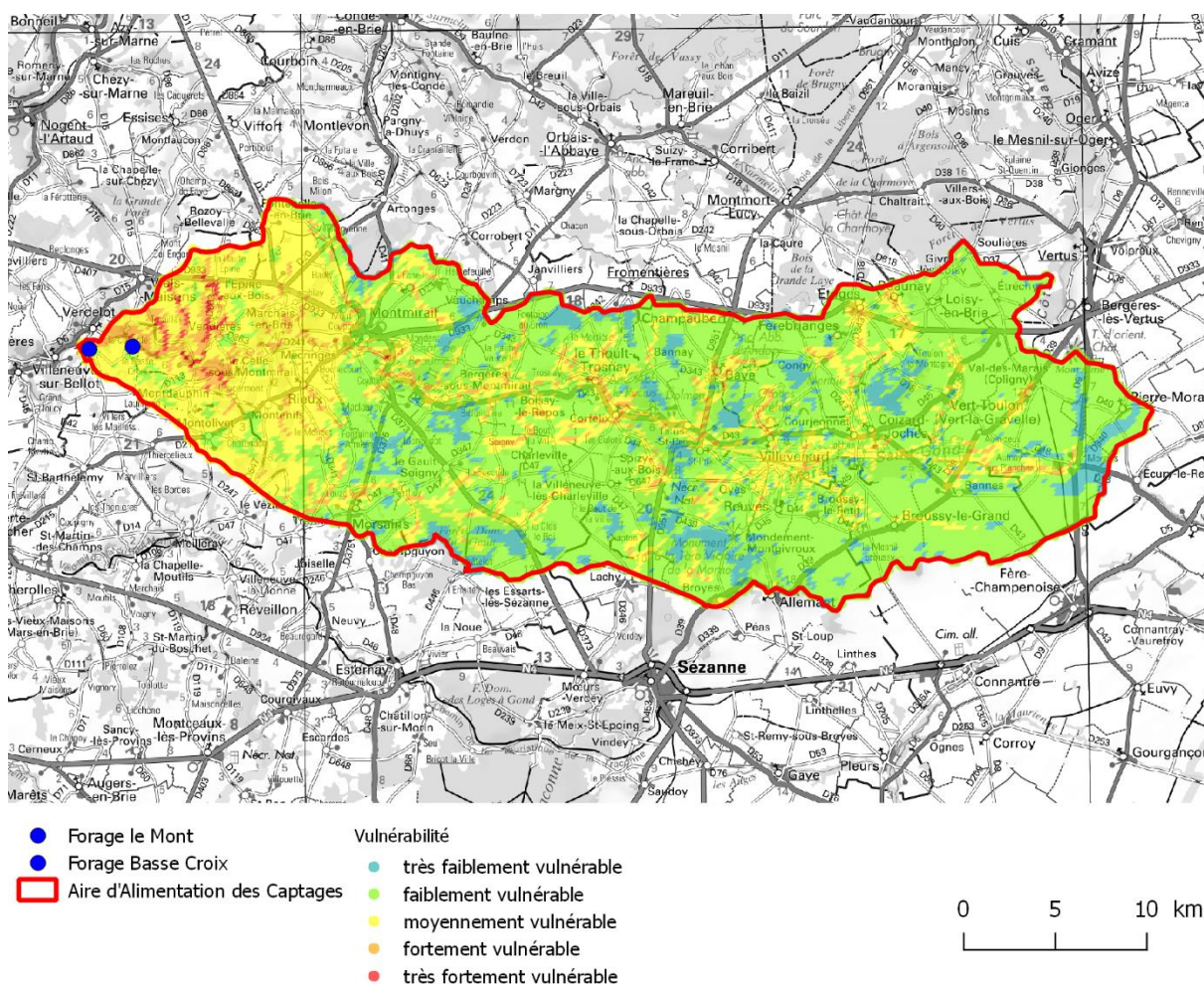


Figure 72 : Carte du paramètre Vc « vulnérabilité du captage » calculé à partir du paramètre Dc

9 CONCLUSIONS

L'étude a permis d'améliorer la connaissance de l'aire d'alimentation des captages de Verdelot et de justifier sa délimitation.

La première phase de l'étude a permis de caractériser le système aquifère capté et son fonctionnement.

L'aquifère capté par les forages est l'ensemble l'aquifère de l'Eocène moyen et inférieur composé des sables de l'Auvervien, des calcaires du Lutétien et des sables de l'Yprésien.

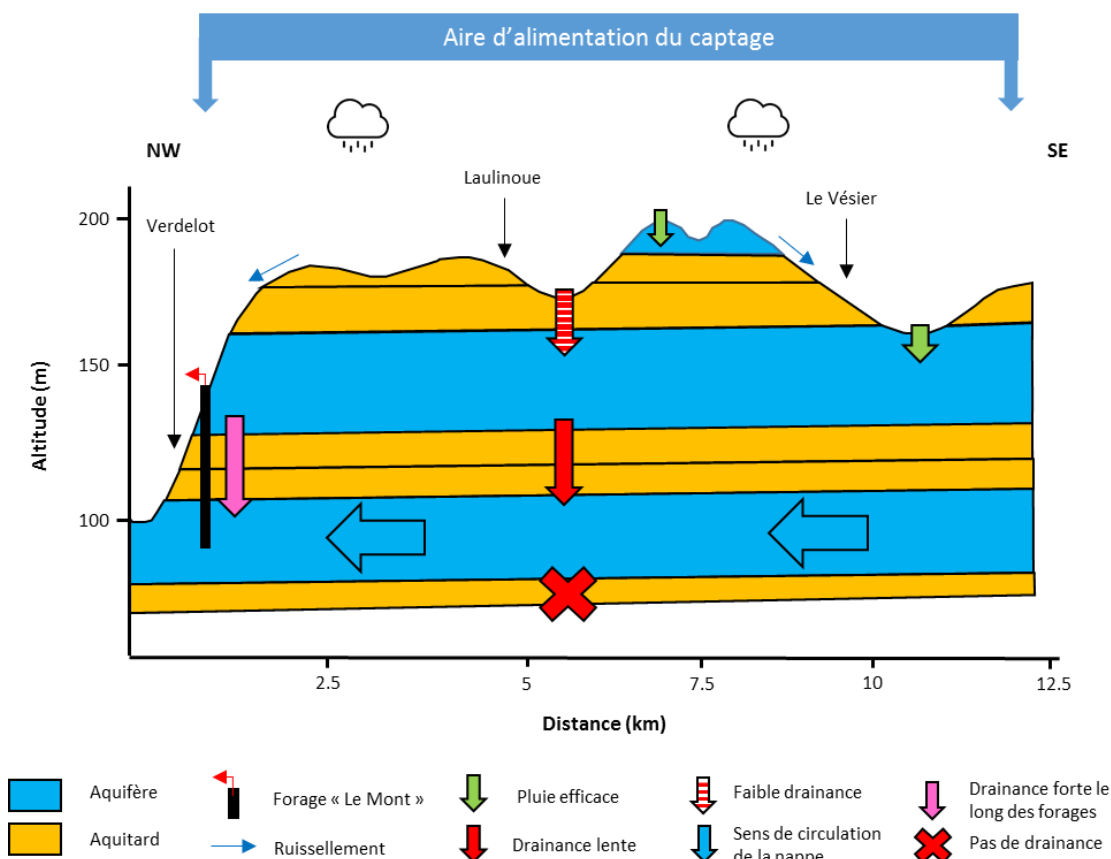


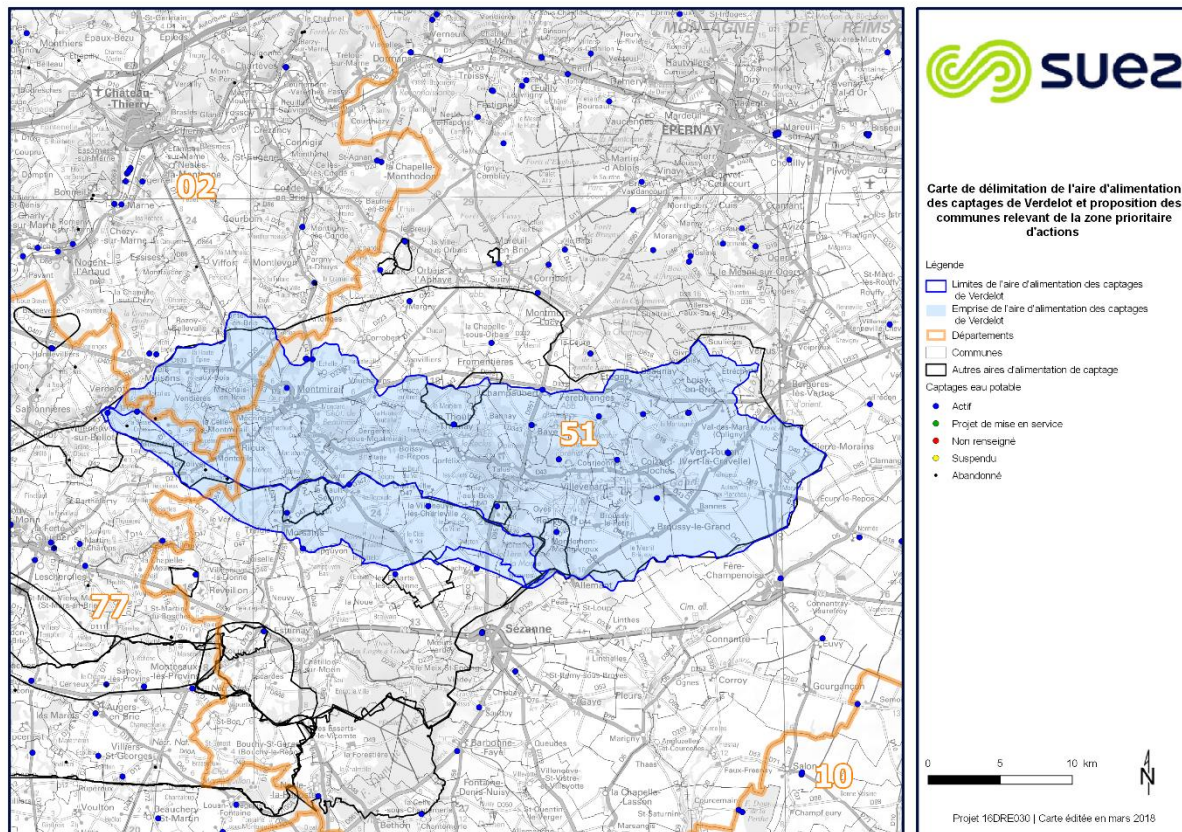
Schéma de fonctionnement hydrogéologique des forages de Verdelot

L'aire d'alimentation des forages de Verdelot correspond :

- A la **superficie participant à l'alimentation par les eaux souterraines** soit le **bassin versant hydrogéologique** (portion de nappe alimentant les captages précédemment délimitée) **étendu à la limite du bassin versant topographique** (Figure 49)
- A la **superficie participant à l'alimentation par les eaux superficielles** soit l'**extension au bassin versant amont du Petit Morin** (Figure 50).

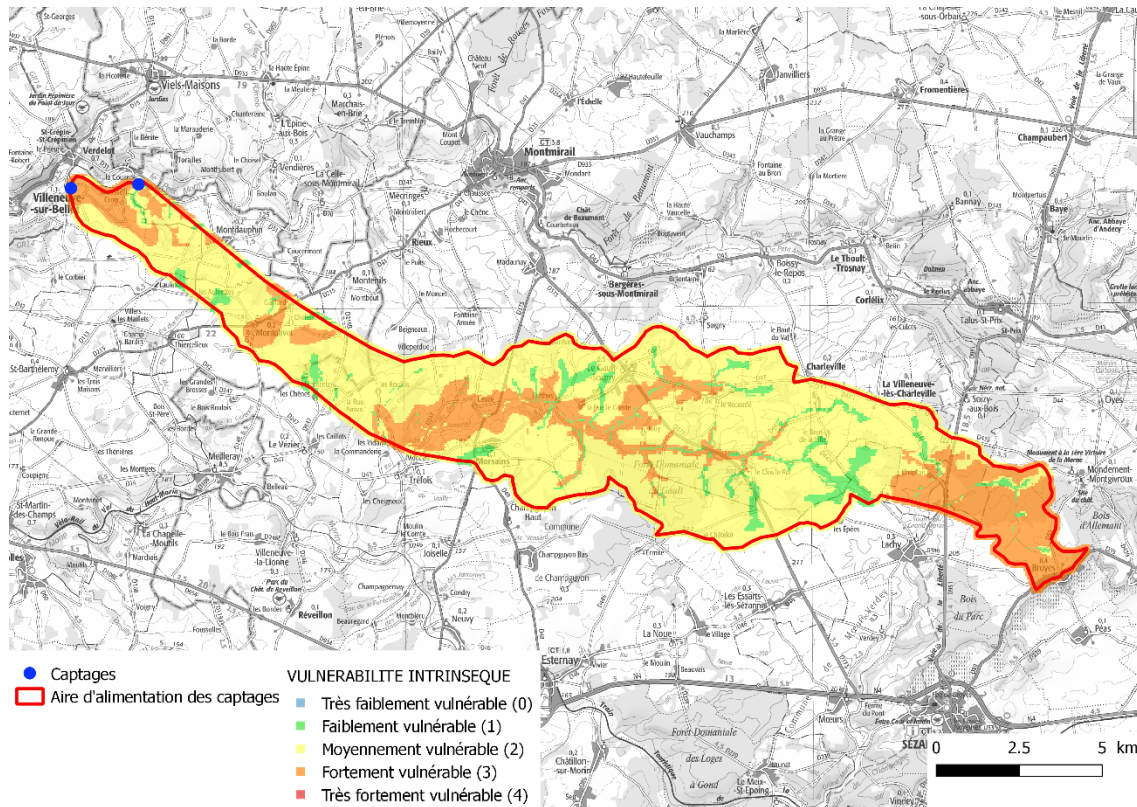
L'aire d'alimentation des forages de Verdelot représente une superficie totale de 568 km² dont 100 km² correspondant à la surface participant à l'alimentation des forages par eaux souterraines.

L'aire d'alimentation du captage couvre tout ou partie de 59 communes de l'Aisne, la Marne et la Seine-et-Marne dont 18 communes concernées par la superficie contribuant à l'alimentation par les eaux souterraines.



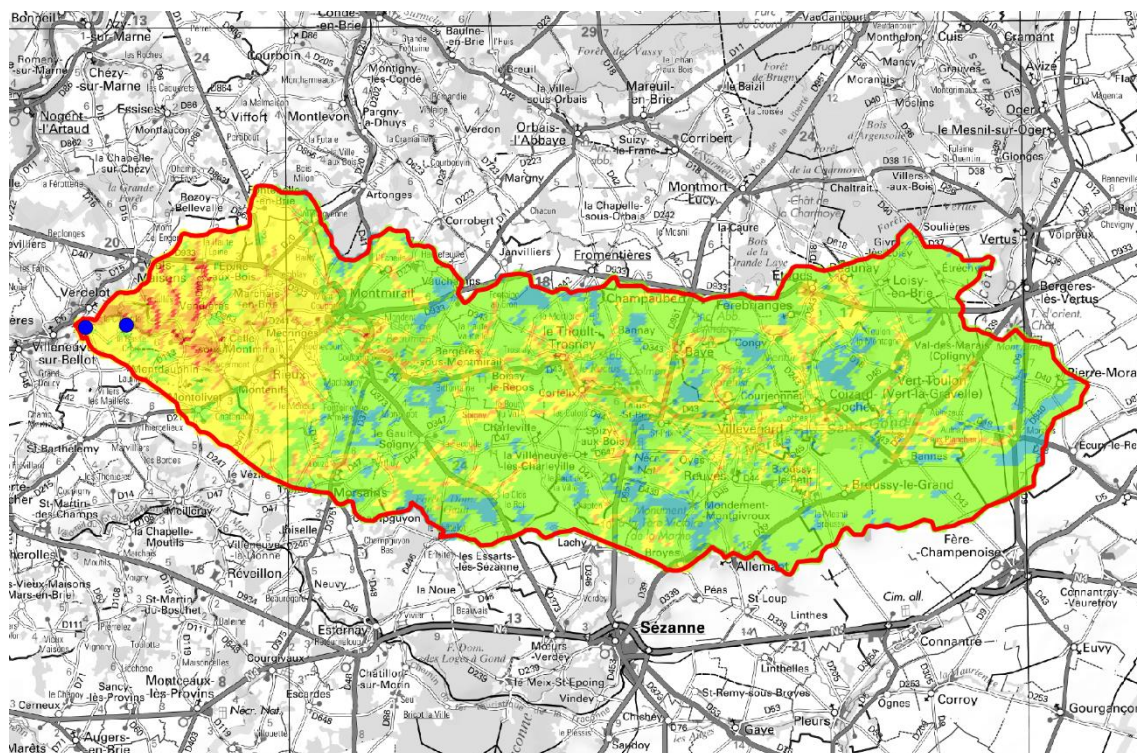
Délimitation de l'aire d'alimentation de captage

La cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation de captage (hormis l'extension au bassin versant du Petit Morin) montre que le territoire est globalement moyennement vulnérable. Les zones les plus sensibles sont situées en fond de vallée.

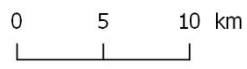


Carte de la vulnérabilité intrinsèque selon la méthode DRASTIC

La cartographie de la vulnérabilité de l'aire d'alimentation de captage totale (y compris l'extension au bassin versant du Petit Morin) avec la méthodologie conçue pour les captages d'eau superficielle montre que le territoire est majoritairement faiblement à moyennement vulnérable. Les zones les plus sensibles sont situées aux abords des captages en fonds de vallées.



- Forage Le Mont
 - Forage Basse Croix
 - Aire d'Alimentation des Captages
-
- très faiblement vulnérable
 - faiblement vulnérable
 - moyennement vulnérable
 - fortement vulnérable
 - très fortement vulnérable



Carte de la vulnérabilité intrinsèque selon la méthode eaux superficielles