



ZONE MINIERE DE LA CROUZILLE (87)

**Etudes hydrogéochimiques de
trois sites :**

**Brugeaud – Lavaugrasse -
Montmassacrot**




Rapport REx01491

AREVA

Zone minière de la Cruzille

Etudes hydrogéochimiques de trois sites : Brugeaud – Lavaugrasse – Montmassacrot

Le chapitre II de ce rapport a été rédigé par Emmanuel LEDOUX (Ecole des Mines de Paris), Jean-Michel SCHMITT (AREVA) et Véronique RAYOT (AREVA)

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Edition initiale	21/12/10	A	P. Bachaud V. Devallois		A. Triganon A. Morchid		Y. Raoult	
Modification chapitre II	21/02/11	B	A. Triganon		A Morchid		Y. Raoult	

Numéro de rapport :	Rex01491
Numéro d'affaire :	A.16523
N° de contrat :	Cex.Z100130
Domaine technique :	RE21
Mots clé thésaurus :	Hydrogéologie – Hydrochimie - Modèle 2D – Transport – Modflow Surfact

BURGEAP Nucléaire & Déconstruction
49, Avenue Franklin Roosevelt
BP 70
77211 AVON Cedex

Téléphone : 33(0)1.60.74.54.60

Télécopie : 33(0)1.60.74.54.60

e-mail : burgeap.nudec@burgeap.fr

REx01491/A.16523/Cex.Z100130	
PB/VD-ATR/AMO – YR	
21/12/2010	Page : 2

Suivi des modifications

Indice	Date	Paragraphe	Nature des modifications
A	21/12/10	Tous	Création du document
B	21/02/11	Chapitre II	Intégration données radiologiques

Sommaire

Sommaire	4
Liste des tableaux	6
Liste des figures	7
Liste des annexes	9
Préambule	11
Chapitre I : Présentation du fonctionnement hydrodynamique du site industriel de Bessines et du stockage de Montmassacrot	12
I.1 Contexte général	13
I.1.1 Les activités minières de la région	13
I.1.2 Contexte géologique régional	13
I.1.3 Contexte hydrogéologique régional	14
I.1.4 Les matériaux entreposés	16
I.1.4.1 Les stériles miniers	16
I.1.4.2 Les résidus de traitement	16
I.1.4.3 Les perméabilités des matériaux entreposés	17
I.1.5 Pluviométrie	17
I.2 Le Site Industriel de Bessines	19
I.2.1 Historique des activités minières et description du site	19
I.2.2 Contexte environnemental	19
I.2.2.1 Contexte géographique	19
I.2.2.2 Contexte hydrographique	20
I.2.2.3 Contexte hydrogéologique	20
I.2.2.3.1 Description des points de mesure	20
I.2.2.3.2 Analyse des variations piézométriques	25
I.2.2.4 Bilan des flux	33
I.2.2.4.1 Ensemble du SIB	33
I.2.2.4.2 Zone de Lavaugrasse	34
I.2.2.4.3 Zone du Brugeaud	34
I.2.2.4.4 Conclusion	35
I.2.3 Modélisation hydrodynamique du Brugeaud	35
I.2.3.1 Construction et paramètres du modèle	35
I.2.3.1.1 Emprise et maillage	35
I.2.3.1.2 Géométrie du modèle	36
I.2.3.1.3 Conditions aux limites	37
I.2.3.1.4 Particularités du site	37
I.2.3.1.5 Paramètres hydrogéologiques	38
I.2.3.1.6 Paramètres de la zone non saturée	38
I.2.3.2 Calage hydrodynamique en régime permanent	38

I.2.3.2.1 Méthodologie	38
I.2.3.2.2 Carte de perméabilité	39
I.2.3.2.3 Résultats et interprétation	40
I.2.3.3 Conclusion	42
I.2.4 Modélisation du transport de masse sur le site du Brugeaud	42
I.2.4.1 Objectifs	42
I.2.4.2 Schématisation	43
I.2.4.3 Résultats	43
I.2.4.4 Conclusion	44
I.3 Le site de Montmassacrot	45
I.1.1 Historique du site de Montmassacrot	45
I.3.1 Contexte environnemental du site de Montmassacrot	45
I.3.1.1 Contexte géographique	45
I.3.1.2 Contexte hydrographique	46
I.3.2 Contexte hydrogéologique	46
I.3.2.1 Description des points de mesure	46
I.3.2.2 Analyse des variations piézométriques	50
I.3.2.3 Bilan des flux à l'échelle du site de Montmassacrot	54
I.3.3 Modélisation hydrodynamique du site de Montmassacrot	55
I.3.3.1 Construction et paramètres du modèle	55
I.3.3.1.1 Emprise et maillage	55
I.3.3.1.2 Géométrie des formations	56
I.3.3.1.3 Conditions aux limites	56
I.3.3.1.4 Particularités du site	57
I.3.3.1.5 Paramètres hydrogéologiques	57
I.3.3.2 Calage hydrodynamique en régime permanent	58
I.3.3.2.1 Résultats et interprétation	59
I.3.3.2.2 Conclusion	61
I.4 Conclusion générale	62
Chapitre II : Présentation du fonctionnement hydrogéo-chimique du site industriel de Bessines et du stockage de Montmassacrot	63
II.1 La chimie des eaux : pôles hydrochimiques et impacts observés	64
II.1.1 Approche générale	64
II.1.1.1 Campagnes de mesure et de prélèvement	64
II.1.1.2 Méthodes d'interprétation	64
II.1.1.3 Résultats analytiques	64
II.1.1.4 Approche thermodynamique	65
II.1.2 Reconnaissance et caractérisation thermodynamique des différents pôles hydrochimiques	68
II.1.2.1 Définition des pôles à partir des mesures de terrain	68
II.1.2.2 Les pôles « Eaux naturelles »	69
II.1.2.3 Le pôle « stériles miniers »	69
II.1.2.4 Le pôle « résidus » et les eaux apparentées	70
II.1.2.5 Les eaux mixtes ou indéterminées	72
II.2 Conclusions sur le fonctionnement hydrogéo-chimique des	

différents sites	73
II.2.1 Aspects méthodologiques	73
II.2.2 Diagnostic provisoire sur le Site Industriel de Bessines	73
II.2.3 Diagnostic provisoire sur le site de Montmassacrot	74
II.2.4 Recommandations pour la gestion et la surveillance des sites	74
Bibliographie	76

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs de perméabilité et d’emménagement des terrains naturels (1), (2), (6)	14
Tableau 2 : Analyses des résidus solides de traitement dynamique (1)	17
Tableau 3 : Fourchettes de perméabilité des matériaux entreposés (10), (9)	17
Tableau 4 : Type et période du suivi des différents points de contrôle du site de Brugeaud-Lavaugrasse	24
Tableau 5 : Variations du niveau piézométrique des ouvrages à l’intérieur et à proximité du site industriel de Bessines	25
Tableau 6 : Valeurs piézométriques mesurées en octobre et novembre 2010 sur le site de Bessines	26
Tableau 7 : Débits mesurés en novembre 2010 sur le site industriel de Bessines	33
Tableau 8 : Comparaison des débits entrants et sortants sur les zones Brugeaud et Lavaugrasse	34
Tableau 9 : Valeur des perméabilités horizontales ajustées des différentes zones	39
Tableau 10 : Ecart entre les niveaux piézométriques mesurés et calculés aux points de contrôle	40
Tableau 11 : Bilan des flux d’entrée et de sortie calculé par le modèle	42
Tableau 12 : Type et période du suivi des différents points de contrôle du site de Montmassacrot	50
Tableau 13 : Variations du niveau piézométrique des ouvrages ES28-PZ29-PZ66-PZ81	51
Tableau 14 : Valeurs piézométriques mesurées en octobre et novembre 2010 sur le site de Montmassacrot	51
Tableau 15 : Valeur des perméabilités horizontales des différentes zones	58
Tableau 16 : Ecart entre les niveaux piézométriques mesurés et calculés aux points de contrôle	59
Tableau 17 : Bilan des flux calculés par le modèle	60
Tableau 18 : Principales caractéristiques hydrochimiques des eaux naturelles	69

Tableau 19 : Principales caractéristiques des eaux des stériles miniers	69
Tableau 20 : Principales caractéristiques des eaux des résidus et des eaux apparentées	70
Tableau 21 : Compositions chimiques comparées des eaux des piézomètres résidus du Brugeaud, de Montmassacrot et d'un piézomètre type de Bellezane	71
Tableau 22 : Principales caractéristiques des eaux mixtes ou indéterminées	72

Liste des figures

Figure 1 : Carte géologique de la zone d'études	15
Figure 2 : Pluie utile moyenne mensuelle (2000-2009) – Station Limoge Bellegarde	18
Figure 3 : Pluie efficace et pluie utile 2010 à la station de Limoges Bellegarde	18
Figure 4 : Localisation des ouvrages de contrôle du SIB et de son environnement proche	22
Figure 5 : Localisation des points de suivi du SIB	23
Figure 6 : Niveaux piézométriques mesurés en octobre et novembre 2010 sur le SIB	27
Figure 7 : Variations piézométriques dans l'ouvrage PZ77 entre 2002 et 2010	28
Figure 8 : Surface topographique d'origine du SIB	29
Figure 9 : Variations piézométriques dans les ouvrages du Brugeaud entre 2002 et 2010	30
Figure 10 : Variations piézométriques dans les ouvrages BRUPZ1 et P2 entre 1996 et 2010	31
Figure 11 : Localisation des ouvrages du Brugeaud et de la résurgence (12)	31
Figure 12 : Variations piézométriques dans l'ouvrage ES71 entre 1996 et 2010	32
Figure 13 : Variations piézométriques dans les puits fermiers à l'est du SIB entre 1996 et 2010	32
Figure 14 : Variations piézométriques dans les puits fermiers à l'ouest du SIB entre 1996 et 2010	33
Figure 15 : Géométrie et maillage de la zone modélisée	36
Figure 16 : Zones de perméabilité dans le domaine modélisé	39
Figure 17 : Contour des isopièzes et saturation des cellules	40
Figure 18 : Contour des isopièzes et champs de vitesse	41
Figure 19 : Condition initiale de transport	43
Figure 20 : Champ de concentration après 20 ans	44

Figure 21 : Localisation des points de contrôle sur le site de Montmassacrot	48
Figure 22 : Localisation de l’emprise des travaux miniers et des points de contrôles à l’intérieur du site de Montmassacrot	49
Figure 23 : Niveaux piézométriques mesurés sur le site de Montmassacrot en octobre et novembre 2010	52
Figure 24 : Variations piézométriques dans les ouvrages PZ 29, 81 et 66	53
Figure 25 : Débit mensuel en sortie de drain de digue	54
Figure 26 : Localisation de la coupe modélisée	55
Figure 27 : Représentation du maillage du modèle de Montmassacrot	56
Figure 28 : Zonage de perméabilité du modèle de Montmassacrot	58
Figure 29 : Contour des isopièzes et saturation des cellules : a. Hypothèse 1 : $K_{\text{granite sains}} > K_{\text{résidus}}$; b. Hypothèse 2 : $K_{\text{granites sains}} < K_{\text{résidus}}$	59
Figure 30 : Localisation des points de prélèvement sur le site de Montmassacrot	66
Figure 31 : Localisation des points de prélèvement sur le site de Bessines (SIB)	66
Figure 32: Définition des pôles hydrochimiques dans le diagramme alcalinité/conductivité	67
Figure 33 : Pôles hydrochimiques dans le diagramme alcalinité/conductivité identifiés sur le site de Bellezane	68

Liste des annexes

Annexe 1 Chroniques d'analyses chimiques du site industriel de Bessines	78
Annexe 2 Chroniques d'analyses chimiques du site de Montmassacrot	85
Annexe 3 Compte-rendu d'intervention : Mesures hydrologiques sur le site industriel de Bessines	89
Annexe 4 Composition chimique des eaux prélevées campagne du 19 au 21/10/2010	110

Lexique

Les symboles et termes suivants sont mentionnés dans le présent document (liste par ordre alphabétique) :

- ETP : Evapotranspiration
- K : perméabilité (m/s)
- MCO : Mine à ciel ouvert,
- SEPA : Service d'études de procédés et analyses,
- SIB : Site industriel de Bessines,
- TMS : Travaux miniers souterrains,
- USDA : United States Department of Agriculture

Préambule

Pour l'extraction du minerai d'uranium, AREVA (anciennement COGEMA) a exploité pendant longtemps des mines souterraines et à ciel ouvert sur plusieurs sites français, dont la majorité est située dans le Limousin. Certains de ces sites ont servi ensuite ou simultanément au dépôt des stériles miniers, ou au dépôt de résidus des traitements chimiques du minerai qui étaient réalisés dans les usines de COGEMA.

L'extraction de minerai est désormais arrêtée sur la totalité des sites français, qui sont donc en phase de réhabilitation et de surveillance.

Parallèlement aux travaux de réhabilitation (et en lien avec ceux-ci), en 2008 et 2009, l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), ainsi que le groupe d'expertise pluraliste dédié, ont émis des recommandations pour la réalisation d'études complémentaires sur les marquages éventuels ou effectifs de l'environnement de plusieurs sites de Haute-Vienne, et les calculs d'impacts associés. Ces études, notamment géochimiques, hydrologiques, et hydrogéologiques, ont été réalisées de façon approfondie pour le site de Bellezane car celui-ci est particulièrement représentatif et bien caractérisé par des mesures.

Un arrêté préfectoral de mise en demeure de la DREAL a été publié afin de réaliser les mêmes études pour les sites de Lavauaugrasse, du Brugeaud et de Montmassacrot, avec échéance au 31/12/2010.

Burgeap Nudéc a été missionné par AREVA NC, pour analyser les possibilités d'extrapolation de l'étude hydrogéochimique du site de Bellezane aux sites de Brugeaud, Lavaugrasse, et Montmassacrot, selon une méthodologie basée principalement sur :

- l'examen des données d'entrée fournies par AREVA NC,
- la recherche d'autres documents et informations en lien avec les sites,
- la recherche bibliographique sur le comportement des polluants dans ces milieux,
- l'inspection de terrain,
- la modélisation hydrodynamique (écoulement et transport hydrodispersif de soluté) en 2D,
- l'étude de la chimie des eaux.

Les résultats de l'étude hydrodynamique sont exposés dans le premier chapitre de ce rapport, puis les résultats de l'étude de la chimie des eaux dans le second chapitre.

Chapitre I : Présentation du fonctionnement hydrodynamique du site industriel de Bessines et du stockage de Montmassacrot

I.1 Contexte général

I.1.1 Les activités minières de la région

Les sites de Montmassacrot, de Brugeaud et de Lavaugrasse font partie de l'ancienne division minière de la Crouzille (rebaptisée Etablissement de Bessines en 2002) qui se situe dans le nord de la Haute Vienne. La division minière de la Crouzille a exploité de 1948 à 1995 des gisements uranifères granitiques par mines à ciel ouvert (MCO), pour les gisements proches de la surface, et par travaux miniers souterrains (TMS) pour les gisements profonds. Elle est constituée de 24 sites miniers répartis sur l'emprise de 4 concessions :

- la concession de Lacour : 1 site minier,
- la concession de Lavaud : 1 site minier,
- la concession de St Sylvestre : 11 sites miniers,
- la concession de la Gartempe : 10 sites miniers dont Montmassacrot et Brugeaud.

Entre 1958 et 1993, le minerai extrait a été traité à l'usine de traitement de Bessines sur Gartempe.

Les résidus solides issus du traitement des minerais ont été stockés dans des bassins limités par des digues ou en remblayage de mines à ciel ouvert sur plusieurs sites de la division minière de la Crouzille (dont Brugeaud-Lavaugrasse, Montmassacrot et Bellezane pour la concession de la Gartempe). La fraction sableuse obtenue par cyclonage a été utilisée pour le remblayage de travaux souterrains ou pour la confection des digues de stockage.

I.1.2 Contexte géologique régional

La zone d'étude est située sur les terrains cristallins de la partie nord ouest du Massif Central dans le massif de leucogranite des monts d'Ambazac. Ce massif granitique est constitué de trois ensembles qui se répartissent selon un axe est-ouest :

- A l'ouest, on trouve le granite de la Brême à biotite et sillimanite recoupé par des granites à grains fins à deux micas et andalousites dits de « Chateauponsac ».
- A l'est, affleurent les granites de St Goussaud à muscovite.
- Les principaux gisements sont localisés au centre du massif de leucogranite dans le granite de St Sylvestre à biotite et muscovite, à tendance porphyroïde localement, qui est recoupé par des granites à grain fin à biotite dits de « Fanay » ou à muscovite dits des « Sagnes ».

Le granite de St Sylvestre est également caractérisé par la présence de :

- Lamprophyres (minettes) : ce sont des filons orientés NNE avec un pendage de 75° vers l'ouest et dont la puissance varie de 0.5 à 10 m. Ils ont une texture microgrenue et sont constitués de feldspaths, biotites, augites et d'anciens péridots. Ces filons sont abondants dans la zone Montmassacrot où ils forment plusieurs faisceaux.
- Microgranites : ces filons sont moins nombreux mais plus puissants, de même direction et pendage que les lamprohyres auxquels ils sont associés. Ils ont une texture microgrenue à phénocristaux de biotites et plagioclases.
- Episyénite : l'épisyénite résulte de la déquartzification locale des granites. Il existe deux types d'épisyénites ; les épisyénites feldspathiques non poreuses et les épisyénites micacées poreuses (jusqu'à 30% de vides) et minéralisées. Ces dernières se présentent sous forme de colonnes ou d'amas à la jonction de réseaux de failles et de diaclases.

Les roches granitiques ont été affectées par différents épisodes tectoniques :

- fracturation de direction nord-est avec pendage de 75° vers l'ouest,
- fracturation de direction est-ouest avec pendage 75° vers le nord.

I.1.3 Contexte hydrogéologique régional

Le granite est une roche dure et compacte. En surface, il est altéré et forme l'arène granitique qui est un mélange friable de grains de quartz, d'argiles et de minéraux moins altérés. Le processus d'altération est favorisé par les circulations d'eau dans les fissures du granite à proximité de la surface. L'épaisseur des arènes (ou altérites) augmente dans les fonds de vallée. Les arènes, constituent un milieu poreux. Elles recèlent une nappe discontinuante qui alimente, par débordement, de petites sources collectées par les ruisseaux.

Dans le granite, l'eau circule à la faveur du réseau de fractures. Ces fractures se rejoignent et confèrent une perméabilité « en grand » au massif granitique mais elles offrent un faible volume cumulé de vide. L'eau circule mais la capacité de stockage est faible.

Dans ce type d'environnement les surfaces piézométriques suivent la topographie. Ces niveaux affleurent au niveau de source qui correspondent à l'intersection de l'interface granite – arène ou fractures avec la surface topographique.

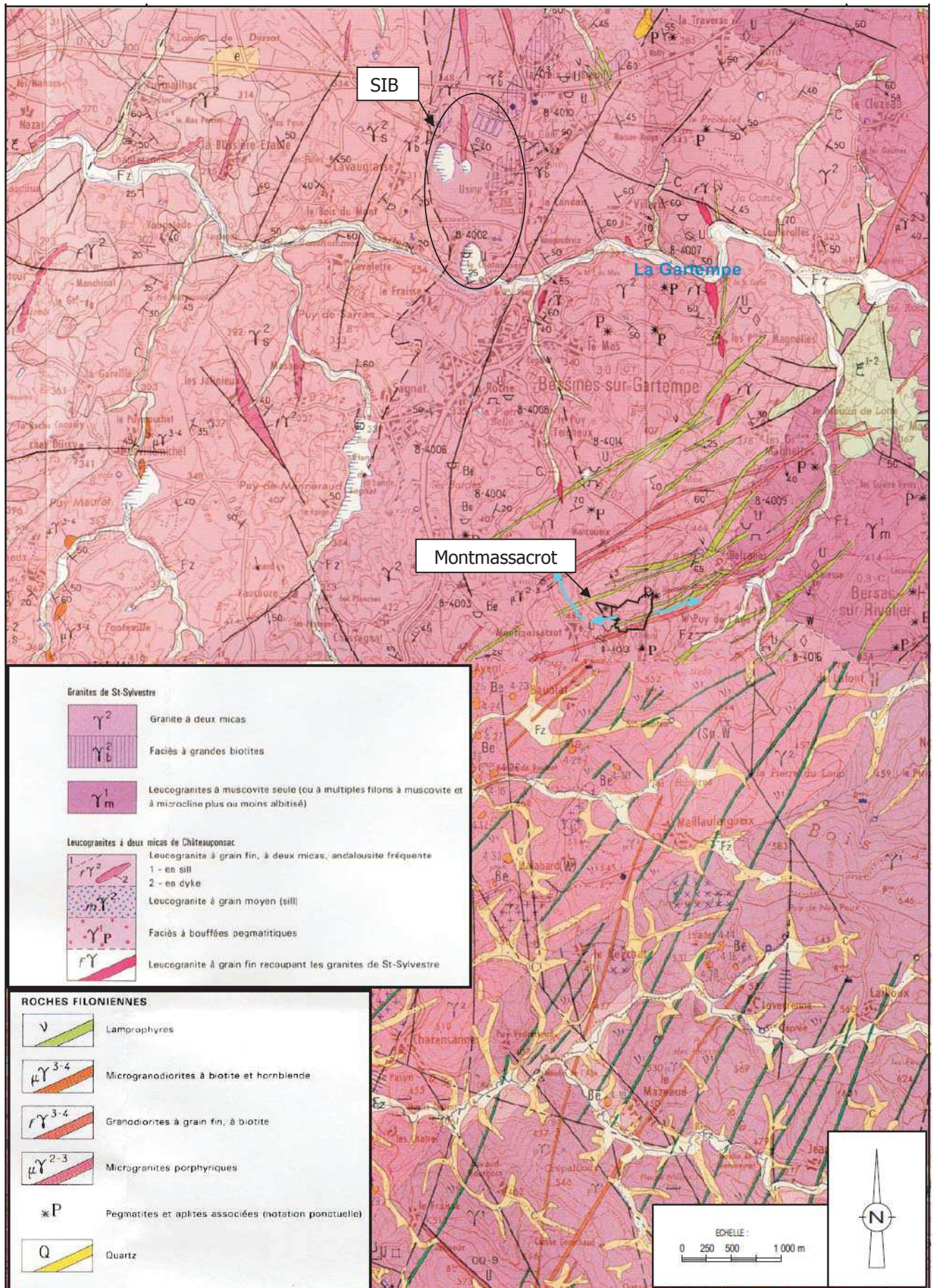
Dans les granites de St Sylvestre, l'eau circule dans les diaclases et elle est reprise par les filons de lamprophyres (entre 0 et 50 m de profondeur) qui jouent le rôle de drains.

Les valeurs de perméabilités et d'emmagasinement des granites et des arènes que l'on retrouve dans la bibliographie sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Valeurs de perméabilité et d'emmagasinement des terrains naturels (1), (2), (6)

Terrain	Perméabilité (m/s)	Emmagasinement
Arène granitique	10^{-6} à 10^{-4}	
Granites sains	10^{-9} à 5.10^{-7}	10^{-3} à 10^{-2}
Granites fracturés par l'exploitation des mines	7.10^{-7} à 5.10^{-5}	

Figure 1 : Carte géologique de la zone d'études



I.1.4 Les matériaux entreposés

I.1.4.1 Les stériles miniers

L'exploitation des gisements de minerai d'uranium a engendré la production de deux types de stériles :

Les stériles francs : il s'agit des roches extraites pour accéder au gisement, dans notre contexte ce sont des granites uranifères du Limousin. Les concentrations en uranium de ces matériaux sont comprises entre 10 et 100 ppm (en moyenne 17 à 24 ppm).

Les stériles de sélectivité : en auréole du minerai ou à l'intérieur du gisement, il est fréquent de trouver des roches ayant une teneur supérieure à celle des stériles francs mais inférieure à la teneur de coupure définie selon les critères du moment.

Avant 1991, la teneur de coupure était de 200 ppm pour les stériles issus des TMS et de 100 ppm pour les MCO. A partir de 1991, pour des raisons économiques, la coupure a été ramenée à 400 ppm.

Les stériles de sélectivité ont une teneur moyenne en général très inférieure à 150 ppm d'uranium.

L'ensemble des stériles (francs et de sélectivité) ont été mis en verses à proximité des lieux d'extraction à l'exception de ceux dont la teneur dépassait 300 ppm qui ont été utilisés en remplissage de mines à ciel ouvert (conformément au décret n°90-222 du 9 mars 1990).

I.1.4.2 Les résidus de traitement

Les minerais ont été traités selon deux méthodes en fonction de leur teneur en uranium :

- traitement par lixiviation statique pour les minerais à faible teneur (100 à 600 ppm d'uranium),
- traitement par lixiviation dynamique pour les minerais à teneur plus élevée (supérieur à 600 ppm d'uranium).

On obtient donc des résidus de traitement de caractéristiques différentes selon la filière utilisée.

Les résidus de traitement statique : il s'agit du minerai (brut ou concassé) résiduel après extraction de l'uranium (rendement 60 à 80%) par lixiviation en stalle ou en tas par arrosage avec une solution d'acide sulfurique. La concentration résiduelle en uranium est de 60 ppm.

Pour la gestion des résidus de traitement statique : les résidus de lixiviation en tas ont été utilisés comme matériaux de première couverture sur le stockage de résidus de traitement dynamique du Brugeaud et de Lavaugrasse ou stockés en verse et recouverts de stériles.

Les résidus de traitement dynamique : ils correspondent à la fraction de roche broyée et rejetée après extraction par procédé chimique de la plus grande partie de l'uranium. Ils se présentent sous la forme d'un sable fin argileux (granulométrie < à 450 µm) ayant la même composition minéralogique que le minerai originel auquel s'ajoutent des précipités chimiques essentiellement des sulfates de chaux et des hydroxydes métalliques produits à différentes étapes du procédé. Ces résidus contiennent essentiellement des radionucléides non extraits appartenant aux deux familles de l'uranium naturel (^{238}U et ^{235}U) avec notamment le radium très insoluble en quasi-totalité dans le résidu solide.

Les études minéralogiques ont permis de caractériser l'essentiel des phases minérales constitutives des différentes fractions granulométriques :

- minéraux primaires : fragments de quartz, feldspaths, micas, sulfures très altérés,
- minéraux secondaires : association de gypse, oxy-hydroxydes de fer, argiles qui constitue un ciment autour des minéraux primaires et formés après le dépôt des résidus.

La composition chimique des résidus issus du traitement dynamique est présentée Tableau 2.

Tableau 2 : Analyses des résidus solides de traitement dynamique (1)

Solide	Proportion massique
Silice	50 à 70 %
Alumine	10 à 16 %
Oxydes de fer	2 à 10 %
Sulfates	5 à 8 %
Oxydes de calcium	3 à 6 %
Autres oxydes	1 %
Uranium	100 g/t
Radium	0,0006 g/t

Pour la gestion des résidus de traitement dynamique : une partie des résidus a subi une séparation granulométrique par cyclonage en deux fractions :

- une fraction grossière (0,15 à 0,50 mm) : sables composés de minéraux résiduels ayant résisté à l'attaque chimique, on retrouve le cortège de minéraux primaires entrant dans la composition des granites uranifères locaux. Ce sable est utilisé en remblayage des TMS et pour la constitution des digues du Brugeaud et de Lavaugrasse.
- Une fraction fine (<0,15 mm) composée principalement de minéraux argileux imprégnés de sulfates et d'hydroxydes générés par le traitement. Elle stockée avec les résidus non cyclonés en MCO ou bassin aménagés.

I.1.4.3 Les perméabilités des matériaux entreposés

Les fourchettes de perméabilités des matériaux entreposés indiquées dans la bibliographie sont présentées Tableau 3.

Tableau 3 : Fourchettes de perméabilité des matériaux entreposés (10), (9)

Matériaux	Perméabilité (m/s)
Stérile minier non compacté	1.10^{-7} à $1,1.10^{-6}$
Stérile minier compacté	$2,8.10^{-7}$
Résidus de traitement	1.10^{-8} – 5.10^{-7} (Montmassacrot) 4.10^{-6} – 1.10^{-5} (Brugeaud)

I.1.5 Pluviométrie

La station Météo France de Limoge Bellegarde, située à environ 30 km au sud de la zone d'étude, enregistre les hauteurs de précipitations et fournit également les valeurs d'ETP calculées selon la méthode Penman au pas de temps décadaire.

Les données pluviométriques sont également mesurées à la station de la DDE de Bessines sur Gartempe et depuis 2010, le Site industriel de Bessines (SIB) possède sa propre station.

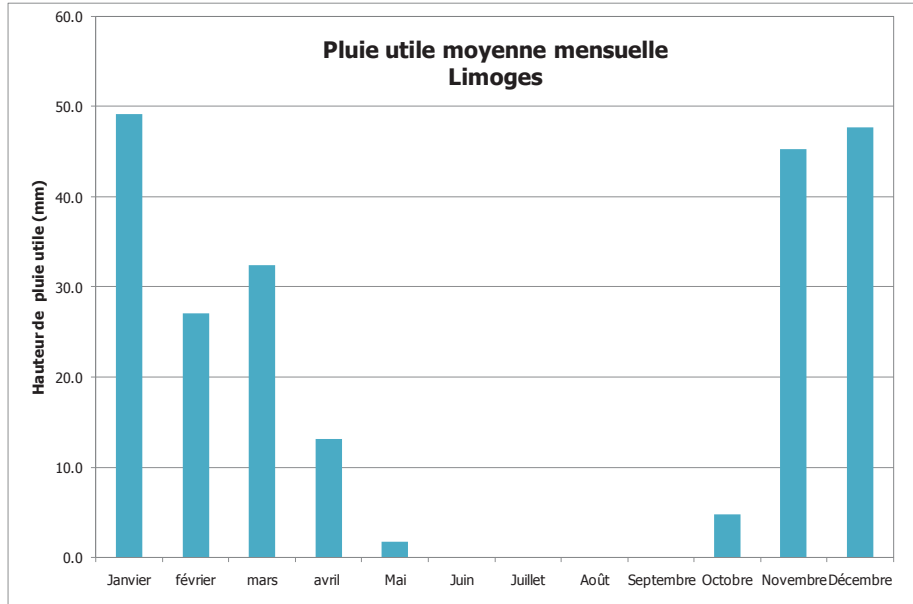
Sur 10 ans, la hauteur de précipitations annuelle moyenne mesurée à Limoges et à Bessines est d'environ 1000 mm.

La pluie efficace moyenne annuelle est de 420 mm (42% des précipitations brutes).

En considérant un ruissellement de 20% (valeur calculée par modélisation par le BRGM en 1992) on obtient, sur 10 ans, une pluie utile annuelle moyenne de 223 mm (soit 22% des précipitations brutes).

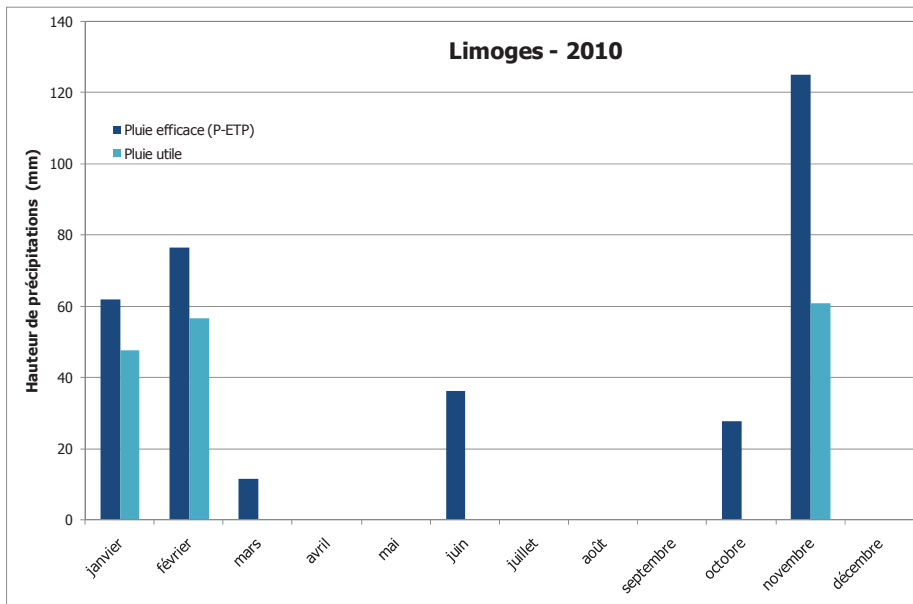
La recharge s'effectue pendant entre les mois de novembre et d'avril (Figure 2).

Figure 2 : Pluie utile moyenne mensuelle (2000-2009) – Station Limoges Bellegarde



Les précipitations de l'année 2010 à la station de Limoges Bellegarde sont présentées Figure 3. On remarque que les seuls les mois de janvier, février et novembre 2010 ont eu un effet sur la recharge des nappes souterraines. Au mois de novembre 2010, la pluie utile cumulée depuis janvier atteint 164 mm.

Figure 3 : Pluie efficace et pluie utile 2010 à la station de Limoges Bellegarde



I.2 Le Site Industriel de Bessines

I.2.1 Historique des activités minières et description du site

Le site industriel de Bessines (SIB) fait partie de l'ancienne division minière de la Cruzille. L'exploitation minière a débuté en 1955 sous la forme de travaux miniers souterrains (TMS) situés dans la zone du Brugeaud. Plusieurs niveaux, de côte comprise entre 54,4 et 270 m NGF, ont permis l'exploitation des gisements souterrains jusqu'en 1967.

En 1957, l'exploitation par mine à ciel ouvert (MCO) a débuté au Brugeaud. Le fond initial de la mine se trouvait à la côte 225 m NGF, soit 65 m de profondeur, et a pu être étendu à la côte 170 m NGF après le détournement de la Gartempe entre 1962 et 1964. L'exploitation à ciel ouvert a été arrêtée en 1972 et a entraîné la production de près de 14 millions de tonnes de matériau.

Le stockage des résidus a débuté sur le site en 1960. Le bassin naturel de Lavaugrasse a été utilisé après édification d'une digue constituée de stériles miniers et de la fraction sableuse des résidus de traitement. La construction de la digue s'est ensuite poursuivie au fur et à mesure du remplissage jusqu'en 1978. Au totale, c'est près de 5,678 millions de tonnes de résidus qui sont stockés dans le bassin de Lavaugrasse.

De 1978 à 1987, le stockage des résidus a continué dans la MCO du Brugeaud, dont la capacité a été augmentée par construction d'une digue dans sa partie sud en 1982. Celle-ci a été édifiée au fur et à mesure des besoins en utilisant la fraction sableuse des rejets.

En 1992, le bassin du Brugeaud fut exondé pour permettre la mise en place de drains de pied de digue afin de capter les résurgences des eaux. Le pompage a eu lieu par l'ancien puits minier P2, et sa côte était maintenue à 250 m NGF. Le pompage a été arrêté à la fin de l'année 1998.

De 1993 à 1995, l'usine de traitement SIMO a été arrêtée, et les produits de démantèlements ont été stockés dans la fosse Jean-Jeannette, située au nord du bassin du Brugeaud.

De 1995 à 1999, des travaux de réaménagement ont été entrepris sur les sites du Brugeaud et de Lavaugrasse. Ils ont principalement consisté en la mise en place d'une couverture de stériles miniers sur les bassins de stockage et leurs digues, en l'amélioration du système de récolte des eaux, et au comblement de la dépression entre la digue de Lavaugrasse et la verse au sud de celle-ci par des stériles.

Enfin, entre 2003 et 2006, le recouvrement de la zone de stockage Jean-Jeannette a été effectué.

I.2.2 Contexte environnemental

I.2.2.1 Contexte géographique

Le site industriel de Bessines est situé sur le flanc nord de la vallée de la Gartempe, proche de la commune de Bessines-sur-Gartempe, dans le département de la Haute-Vienne (87). Il est limité au nord par la D711, au sud par la Gartempe, à l'ouest par le lieu-dit de Lavaugrasse et à l'est par la D220. Le site couvre une superficie proche de 140 ha, et contient deux sites de stockage de résidus : la mine à ciel ouvert du Brugeaud et le bassin de Lavaugrasse. Il accueille également des zones de bureaux, de laboratoires, ainsi qu'une zone d'entreposage d'oxyde d'uranium appauvri.

I.2.2.2 Contexte hydrographique

Le site de Bessines se trouve dans le bassin versant de la Gartempe. Il est drainé principalement par la rivière du même nom, qui coule à un débit moyen interannuel proche de 8,2 m³/s. La côte de la Gartempe se situe environ à 260 m NGF en amont du site et à 250 m NGF en aval. Le lit de la rivière a été détourné vers le sud durant l'exploitation minière du site, nécessitant l'excavation de près de 410 000 m³ de matériau et la mise en place de trois digues à noyau d'argile.

Le site présente des fortes pentes, donnant lieu à un ruissellement important. Un réseau développé de drains a été mis en place et permet le contrôle des effluents. Les écoulements souterrains ont lieu au sein des fissures du granite. En raison de la topographie du site, le ruissellement est prédominant sur la recharge.

I.2.2.3 Contexte hydrogéologique

I.2.2.3.1 Description des points de mesure

Un réseau de surveillance a été mis en place à l'intérieur et à proximité du site industriel de Bessines. Un suivi de niveau piézométrique et/ou de la qualité des eaux est donc réalisé sur les ouvrages cités ci-dessous, répartis sur les sites de Brugeaud et de Lavaugrasse (Figure 4 et Figure 5).

Lavaugrasse :

Piézomètres :

- PZ74, situé dans la digue, au sud du bassin de Lavaugrasse
- PZ75, situé dans la digue, au sud-ouest du bassin de Lavaugrasse
- PZ76, situé dans la digue, à l'ouest du bassin de Lavaugrasse
- PZ77, situé dans la digue, à l'ouest du bassin de Lavaugrasse

Brugeaud :

Piézomètres :

- PZ91, localisé au sommet de l'ancienne MCO, dans les résidus
- PZ78, situé au sommet de la digue du stockage du Brugeaud. Cet ouvrage a été accidentellement arraché début novembre 2010.
- PZ79, situé à mi-hauteur de la digue
- PZ80, situé à la base de la digue
- BRUPZ1 (anciennement E70), situé dans les granites en partie basse du site du Brugeaud, au sud de l'ancienne MCO
- ES71 (ou PZ71), situé en bord de Gartempe, à l'extérieur du site et en aval de celui-ci

Ancien puits miniers :

- P2, situé à l'ouest du stockage du Brugeaud

Rivière :

- SIB B, point de prélèvement réalisé en aval immédiat des rejets du SIB dans la Gartempe

Sources :

- SCE S5, lavoir situé dans le village de Lavaugrasse. Les prélèvements ont été arrêtés après l'effondrement du toit de l'ouvrage, en septembre 2001.
- SCE 68, localisée dans le village de Lavaugrasse, à l'ouest du bassin du même nom

Puits fermier :

- PTS41, situé dans le village de la Chataignière, à l'est du site du Brugeaud
- PTS42, situé sur les bords de la Gartempe, proche du village de la Chataignière, à l'est du site du Brugeaud
- PTS43, localisé dans le village de Lavaugrasse
- PTS44, localisé dans le village de Lavaugrasse
- PTS69, situé dans le village du Bois du Mont, à l'ouest du village de Lavaugrasse

Eaux de site :

- SIBEST, ruissellement du site de Lavaugrasse et pluvial des zones de bureaux, ainsi que des eaux industrielles issues des zones SEPA et U3O8. L'écoulement se jette ensuite dans le bassin de traitement.
- SIBLAV, eau superficielle à l'ouest du bassin de Lavaugrasse, rejoignant l'écoulement SIBLAVW
- SIBLAVW : collecte l'écoulement SIBLAV et les eaux de ruissellement à l'ouest du bassin de Lavaugrasse, et se jette ensuite dans le bassin de traitement
- SIBDOB, drain à l'ouest du stockage du Brugeaud, dont l'exutoire est le bassin de collecte du Vieux-Moulin
- SIBDOB2, second drain à l'ouest du stockage du Brugeaud, dont l'exutoire est le bassin de collecte du Vieux-Moulin
- SIMOGAL, eau d'exhaure de la galerie des TMS, collectée dans le bassin du Vieux-Moulin
- SIBPAL, puisard drainant les alluvions de l'ancien lit de la Gartempe, rejoignant ensuite le canal SIBFOS
- SIBFOS, fossé au sud du stockage du Brugeaud, collectant les suintements en pied de digue et dont l'exutoire est le bassin du Vieux-Moulin
- SIB2, point de mesure avant rejet dans la Gartempe

Figure 4 : Localisation des ouvrages de contrôle du SIB et de son environnement proche

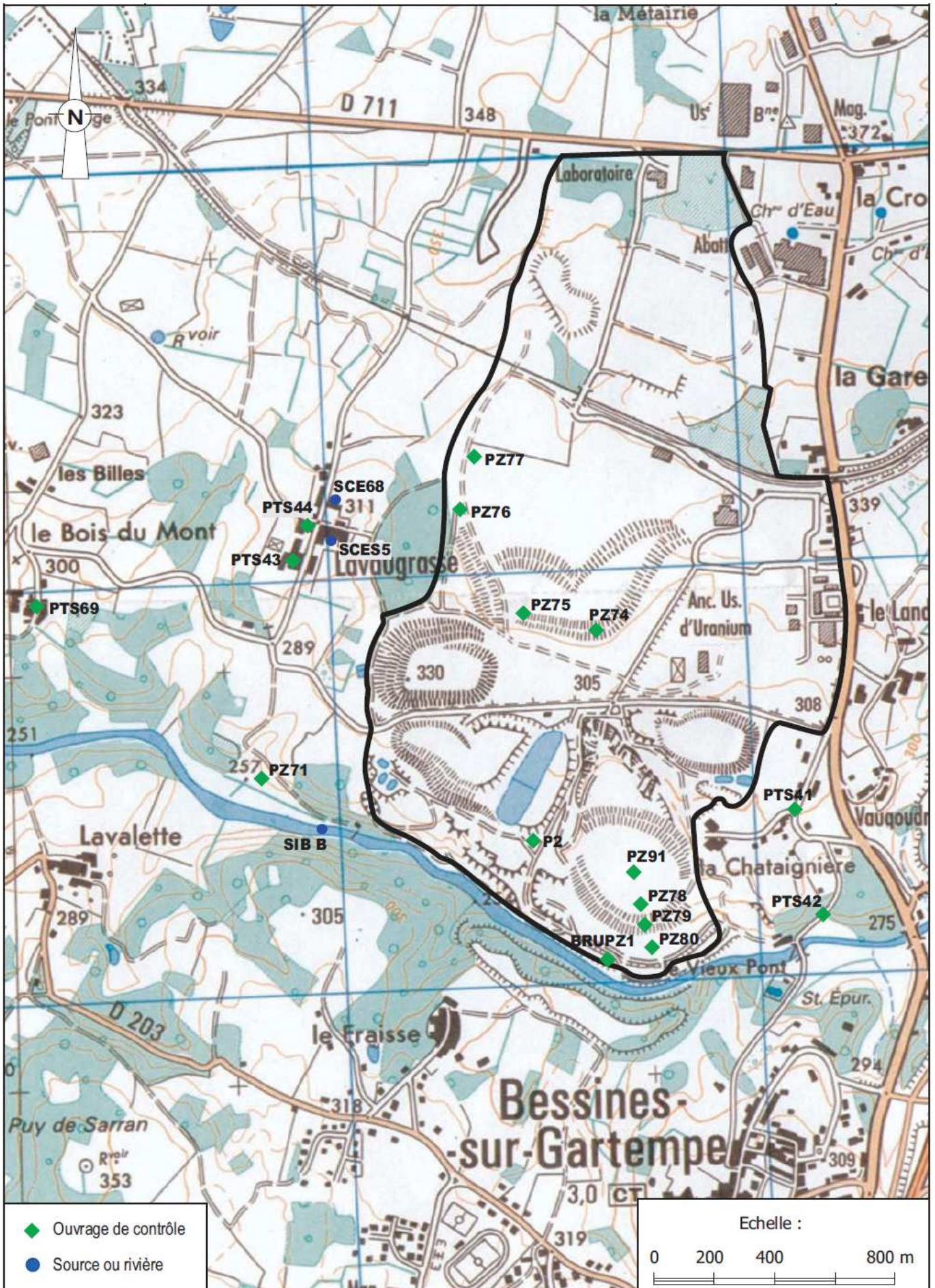
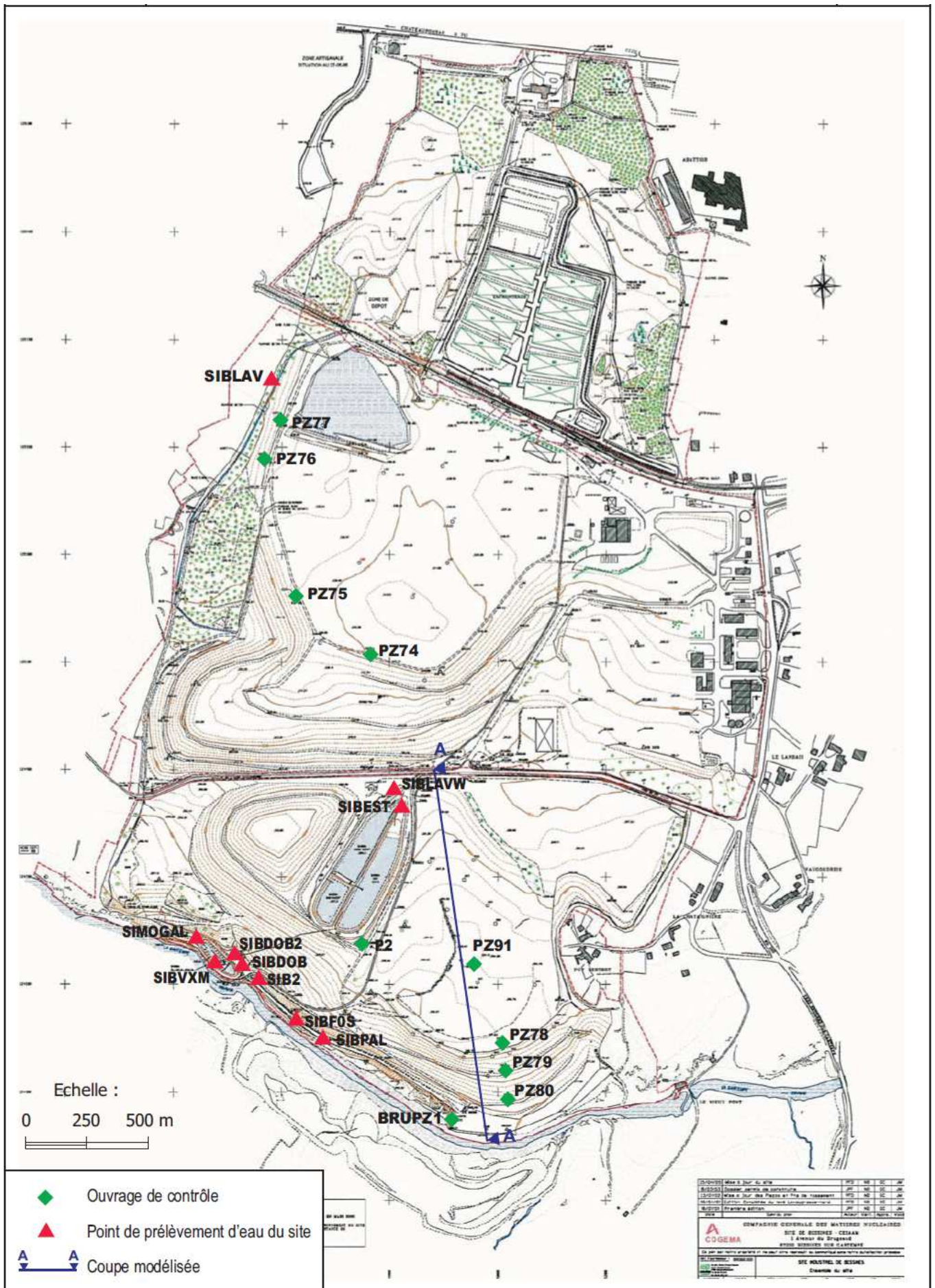


Figure 5 : Localisation des points de suivi du SIB



Les points de contrôle sont utilisés pour le suivi de qualité et/ou pour le suivi de niveau. Le Tableau 4 synthétise le type des mesures faites sur chacun des points de contrôle, ainsi que la période observée.

Les chroniques d'analyses chimiques réalisées sur le site industriel de Bessines sont reportées dans l'Annexe 1.

Tableau 4 : Type et période du suivi des différents points de contrôle du site de Brugeaud-Lavaugrasse

Point observé	Type d'ouvrage	Période du suivi piézométrique	Période du suivi de qualité
PZ74	Piézomètre	Mai 2002-Novembre 2010	-
PZ75	Piézomètre	Mai 2002- Novembre 2010	-
PZ76	Piézomètre	Mai 2002- Novembre 2010	-
PZ77	Piézomètre	Mai 2002- Novembre 2010	-
PZ91	Piézomètre	Juin 2007-Novembre 2010	-
PZ78	Piézomètre	Mai 2002-Octobre 2010	-
PZ79	Piézomètre	Mai 2002-Novembre 2010	-
PZ80	Piézomètre	Mai 2002-Novembre 2010	-
BRUPZ1 (ES70)	Piézomètre	Février 1996-Novembre 2010	Février 1996-Septembre 2010
ES71	Piézomètre	Février 1996-Octobre 2010	Février 1996-Septembre 2010
P2	Ancien puits minier	Mai 2002-Novembre 2010	-
SIB B	Rivière	-	Janvier 1996-Août 2010
SCE S5	Source	-	Janvier 1996-Septembre 2001
SCE 68	Source	-	Janvier 1996-Septembre 2010
PTS41	Puits fermier	Janvier 1996-Octobre 2010	Janvier 1996-Septembre 2010
PTS42	Puits fermier	Janvier 1996-Octobre 2010	Janvier 1996-Septembre 2010
PTS43	Puits fermier	Janvier 1996-Octobre 2010	Janvier 1996-Septembre 2010
PTS44	Puits fermier	Janvier 1996-Octobre 2010	Janvier 1996-Septembre 2010
PTS69	Puits fermier	Janvier 1996-Octobre 2010	Janvier 1996-Septembre 2010
SIB2	Eau de site	-	Janvier 1993-Août 2010
SIBEST	Eau de site	-	Janvier 1996-Septembre 2010
SIBPAL	Eau de site	-	Juillet 1998-Septembre 2010
SIBDOB	Eau de site	-	Août 1998-Septembre 2010
SIBDOB2	Eau de site	-	Mars 2000-Septembre 2010
SIBFOS	Eau de site	-	Mars 2000-Septembre 2010
SIMOGAL	Eau de site	-	Janvier 1994-Septembre 2010
SIBLAV	Eau de site	-	Janvier 1994-Septembre 2003
SIBLAVW	Eau de site	-	1 ^{er} semestre 1999 à 2 nd semestre 2003 Une mesure ponctuelle en 2010

I.2.2.3.2 Analyse des variations piézométriques

Le suivi piézométrique sur le site de stockage de Lavaugrasse est effectué sur les ouvrages PZ74, PZ75, PZ76 et PZ77. Les relevés ont été réalisés à une fréquence mensuelle de mai 2002 à mars 2003, puis trimestrielle jusqu'à aujourd'hui.

Sur le site du Brugeaud, les mesures sur les piézomètres PZ91, PZ78, PZ79, PZ80, et l'ancien puits minier P2 ont été effectuées selon les mêmes fréquences. Le piézomètre PZ91 a été réalisé en 2007, il est suivi à une fréquence trimestrielle depuis juin 2007. Enfin, le niveau dans le piézomètre BRUPZ1 est mesuré tous les mois depuis février 1996.

A l'extérieur du site, un suivi mensuel des puits fermiers PTS41, PTS42, PTS43 et PTS44 a lieu depuis janvier 1996, ainsi que du piézomètre ES71 depuis février 1996.

Tableau 5 : Variations du niveau piézométrique des ouvrages à l'intérieur et à proximité du site industriel de Bessines

Piézomètre	Période observée	Côte sol (m NGF)	Profondeur de l'ouvrage par rapport au sol (m)	Niveau des plus basses eaux (m NGF)	Niveau des plus hautes eaux (m NGF)	Amplitude moyenne de variation de niveau (m)
PZ74	Mai 2002-Septembre 2010	340,62	15,80	Sec	Sec	-
PZ75	Mai 2002-Septembre 2010	338,87	15,60	Sec	Sec	-
PZ76	Mai 2002-Septembre 2010	335,70	5,77	Sec	Sec	-
PZ77	Mai 2002-Septembre 2010	336,50	7,24	329,49	331,45	0,48
PZ91	Juin 2007-Septembre 2010	293,33	37,01	285,42	288,54	0,96
PZ78	Mai 2002-Septembre 2010	292,83	15,90	277,51	279,31	0,41
PZ79	Mai 2002-Septembre 2010	283,16	12,30	271,90	273,32	0,27
PZ80	Mai 2002-Septembre 2010	272,42	8,20	267,76	269,16	0,34
BRUPZ1 (ES70)	Mars 1999 (arrêt pompage)-Septembre 2010	269,73	> 50	263,5	269,73	0,75
ES71	Février 1996-Septembre 2010	257	inconnue	250,20	253,58	0,35
P2	Mai 2002-Septembre 2010	296,89	> 50	269,1	272,67	0,86
PTS41	Janvier 1996-Octobre 2010	303	inconnue	296,45	301,51	1,06
PTS42	Janvier 1996-Octobre 2010	275	inconnue	272,58	273,91	0,43
PTS43	Janvier 1996-Octobre 2010	305	inconnue	294,82	300,49	1,29
PTS44	Janvier 1996-Octobre 2010	306	inconnue	297,50	303,88	1,31
PTS69	Janvier 1996-Octobre 2010	295	inconnue	289,15	294,80	1,16

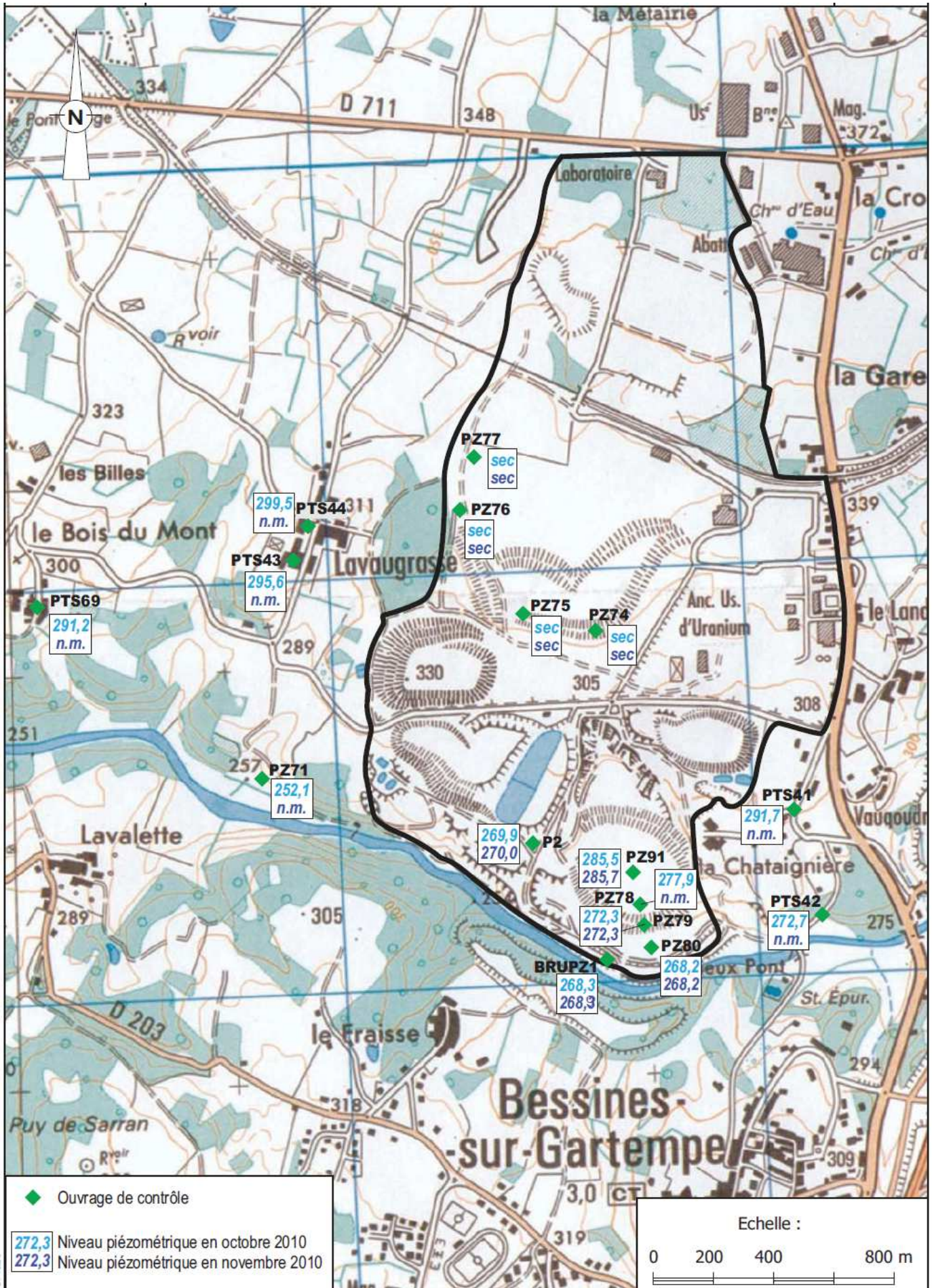
Le Tableau 6 et la Figure 6 présentent les résultats obtenus lors des mesures réalisées en octobre et novembre 2010 (Annexe 3). Il faut préciser que de fortes précipitations (114 mm cumulés du 1^{er} au 21 novembre) ont eu lieu les jours précédant la campagne de novembre, alors que le temps était sec avant celle d'octobre (39 mm en cumulé du 1^{er} au 18 octobre). Les mesures faites sur les points appelés « forages 1 » et « forage 2 » ont été réalisées par l'école des Mines et captent les granites.

Malgré les événements pluvieux précédents les mesures de novembre, on ne note pas de variation piézométrique significative dans les ouvrages du stockage du Brugeaud.

Tableau 6 : Valeurs piézométriques mesurées en octobre et novembre 2010 sur le site de Bessines

Point mesuré	Type	Mesures du 19/10/2010	Mesures du 23/11/2010	
		Niveau piézométrique (m NGF)	Niveau piézométrique (m NGF)	Profondeur de l'ouvrage par rapport au sol (m)
PZ74	Piézomètre	Sec	Sec	16,1
PZ75	Piézomètre	Sec	Sec	16,2
PZ76	Piézomètre	Sec	Sec	6,0
PZ77	Piézomètre	Sec	Sec	Non mesuré
Forage 1	Forage Armines	282,66	283,40	47,7
Forage 2	Forage Armines	281,26	281,90	> 50
PZ91	Piézomètre	285,53	285,70	36,6
PZ78	Piézomètre	277,92	Ouvrage détérioré	-
PZ79	Piézomètre	272,31	272,30	12,8
PZ80	Piézomètre	268,20	268,20	8,7
BRUPZ1 (ES70)	Piézomètre	268,31	268,85	> 50
ES71	Piézomètre	252,1	Non mesuré	Non mesuré
P2	Ancien puits minier	269,85	270,00	> 50
PTS42	Puits fermier	272,73	n.m..	Non mesuré

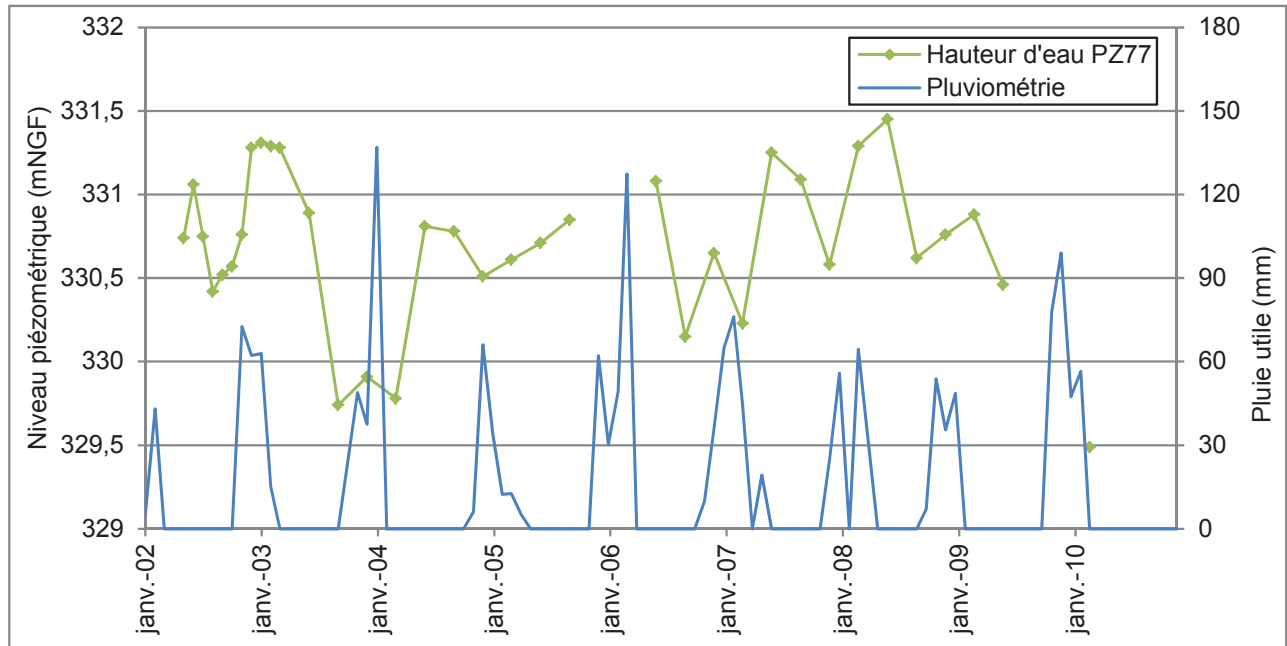
Figure 6 : Niveaux piézométriques mesurés en octobre et novembre 2010 sur le SIB



Sur le site de Lavaugrasse, les piézomètres sont situés dans la digue autour du stockage, et il n'existe donc pas de point de mesure à l'intérieur de celui-ci. A l'exception de PZ77, tous les ouvrages sont systématiquement asséchés, et ne sont donc sans doute pas suffisamment profonds pour atteindre le niveau d'eau.

Les variations observées dans le piézomètre PZ77 sont d'amplitude relativement faible et ne semblent pas être particulièrement corrélées avec la pluviométrie (Figure 7).

Figure 7 : Variations piézométriques dans l'ouvrage PZ77 entre 2002 et 2010

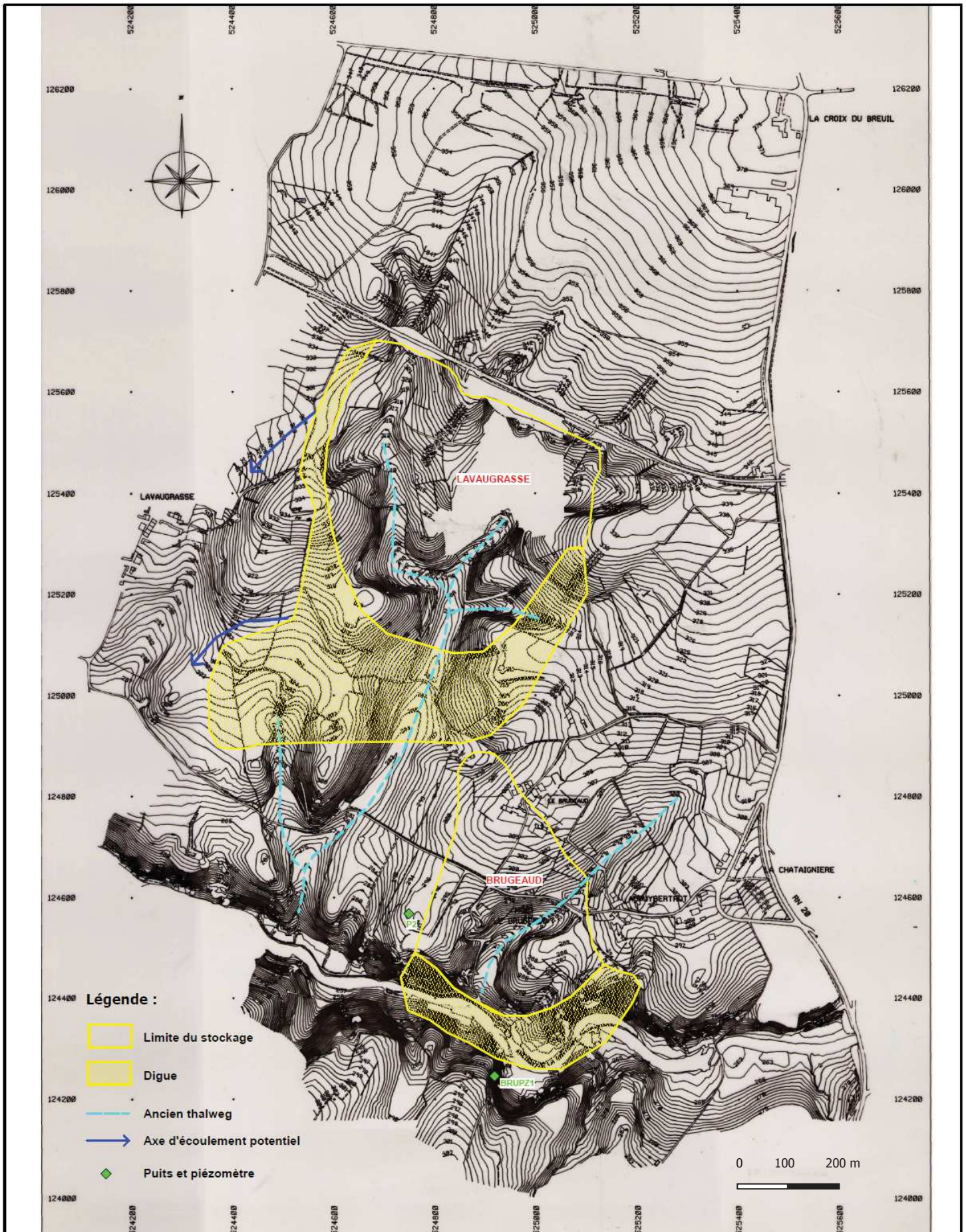


Le niveau piézométrique sous le bassin de Lavaugrasse a donc été estimé à partir du gradient piézométrique moyen. Celui-ci est d'environ 0,07 m/m entre le piézomètre PZ77 et l'exhaure de l'ancienne descenderie SIMOGAL, ce qui conduit à une côte de nappe sous le stockage d'environ 318 m NGF. D'après la Figure 8, le fond du stockage est donc, par endroits immergé par de l'eau de la nappe granitique.

La carte topographique avant exploitation montre l'existence d'anciens chenaux dans les granites orientés nord – sud, représentant un chevelu hydrographique dont l'exutoire était l'ancien lit de la Gartempe (axes bleu ciel dans la Figure 8). Le bassin de stockage de Lavaugrasse a été formé en construisant une digue en travers de cette vallée. Ces structures aujourd'hui recouvertes par les matériaux entreposés (verses, résidus, digue,...) constituent toutefois des axes de drainage préférentiels qui collectent la plupart des eaux présentes dans la zone de Lavaugrasse et percolant à travers la verse du Vieux-Moulin. Ces eaux ressortent à l'aval du site, aux points SIBDOB et SIBDOB2 près du bassin du Vieux-Moulin. La configuration du site est donc favorable à la récupération des effluents potentiellement chargés.

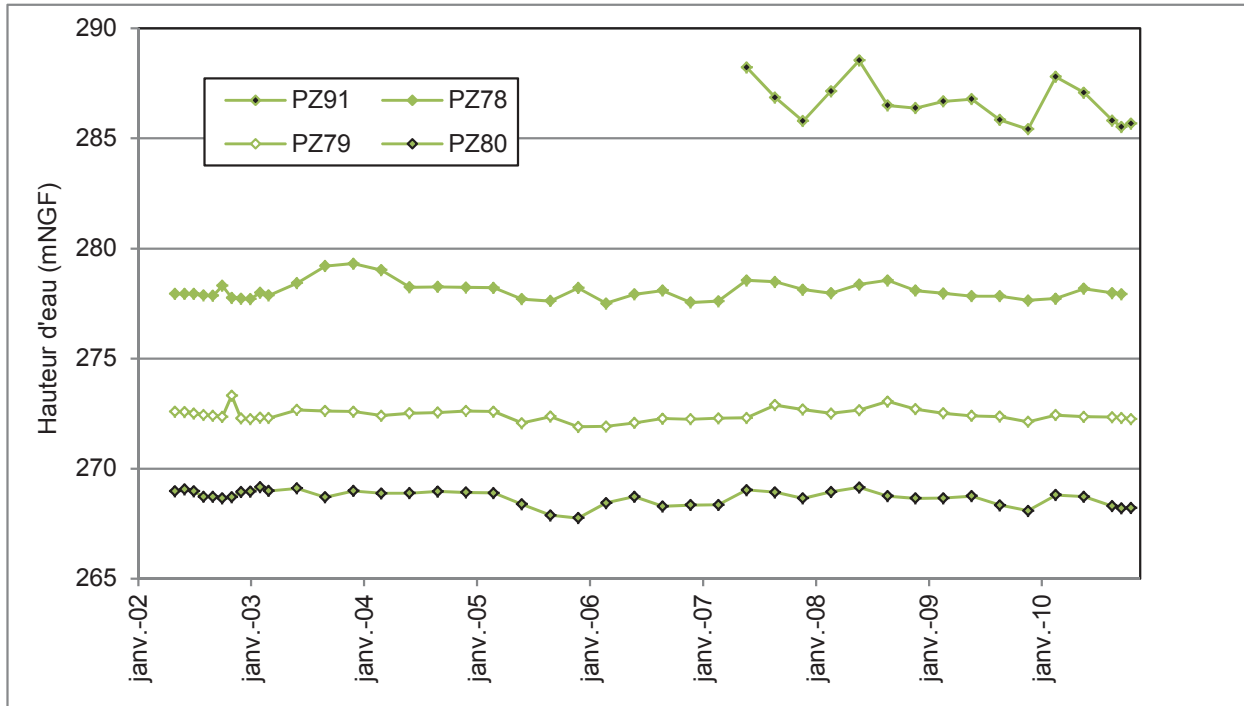
Cependant, à l'ouest du stockage de Lavaugrasse, les digues reposent sur deux thalwegs (représentés par les flèches bleu foncé dans la Figure 8), par lesquels des pertes à travers les couches arénisées des granites sont susceptibles d'avoir lieu. Ceci pourrait expliquer le marquage de la source SCE68 et du piézomètre PZ71 situés dans l'axe de ces thalwegs.

Figure 8 : Surface topographique d'origine du SIB



Sur le site du Brugeaud, les piézomètres PZ78, PZ79 et PZ80, situés dans la digue, montrent des variations de niveau de faible amplitude, alors que la côte piézométrique de l'ouvrage PZ91 varie de manière plus prononcée. Le gradient hydraulique entre ces ouvrages correspond à celui estimé dans la zone de Lavaugrasse, avec 0,06 m/m entre PZ91 et PZ80 et 0,08 m/m entre PZ78 et PZ80 (Figure 9).

Figure 9 : Variations piézométriques dans les ouvrages du Brugeaud entre 2002 et 2010

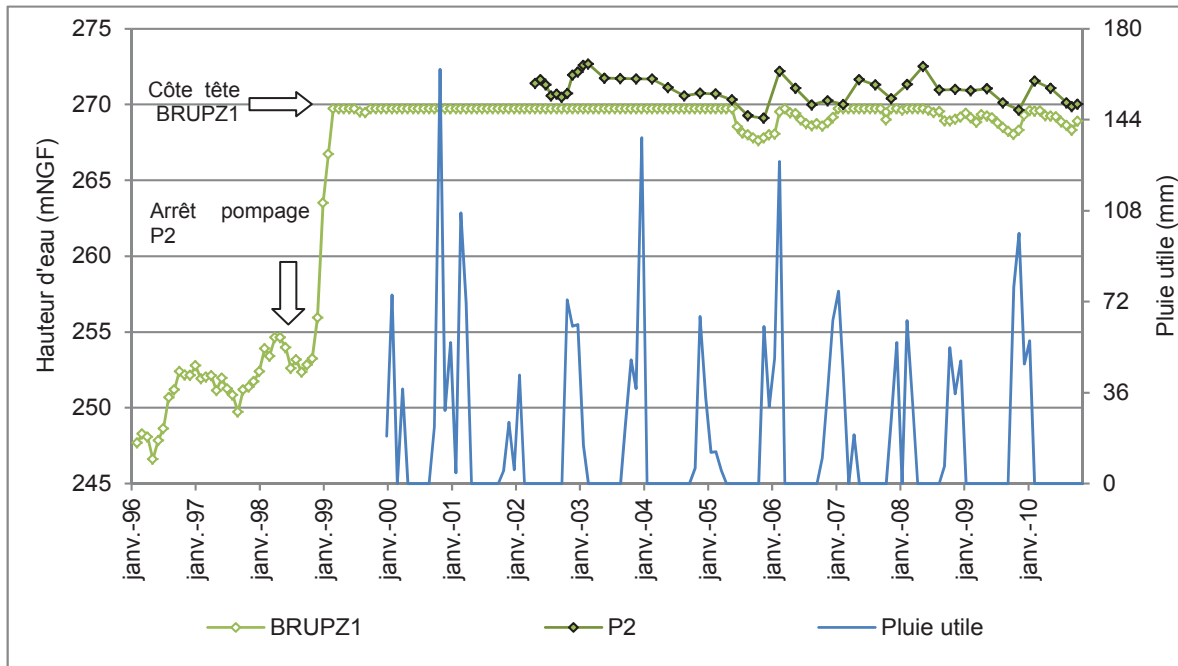


Les variations du piézomètre BRUPZ1 montrent nettement l'influence du pompage, qui imposait une côte de 250 m NGF au puits P2 de janvier 1992 à décembre 1998 (Figure 10). Pendant le pompage, le niveau de BRUPZ1 était à 253 m NGF traduisant un gradient sud nord avec une réalimentation probable par la Gartempe. Lorsque le pompage a été arrêté, le niveau de BRUPZ1 est remonté d'environ 17 m et depuis, le niveau devient régulièrement artésien.

Les variations de niveaux de BRUPZ1 sont bien corrélées avec celles de P2 et l'on note un décalage d'environ deux mois entre les périodes de réalimentation et la montée du niveau dans les ouvrages.

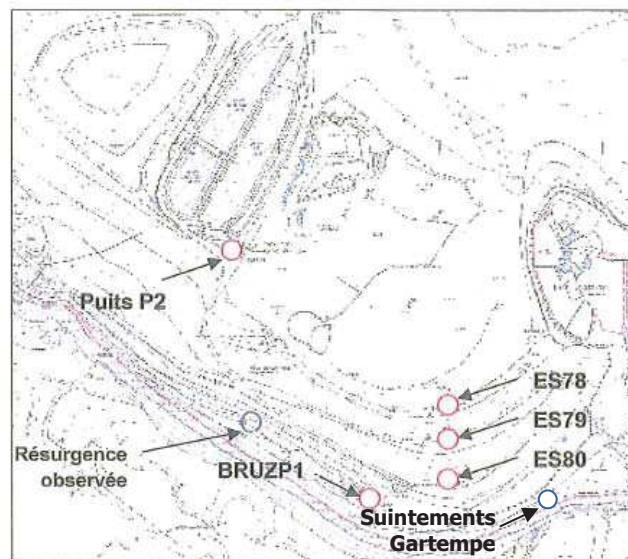
Bien que les points P2 et PZ91 soient situés à une altitude voisine, le niveau d'eau dans la MCO est plus de 15 m supérieur à celui de P2 (Figure 9 et Figure 10). Cela confirme l'absence de lien hydraulique direct entre les TMS et le stockage.

Figure 10 : Variations piézométriques dans les ouvrages BRUPZ1 et P2 entre 1996 et 2010



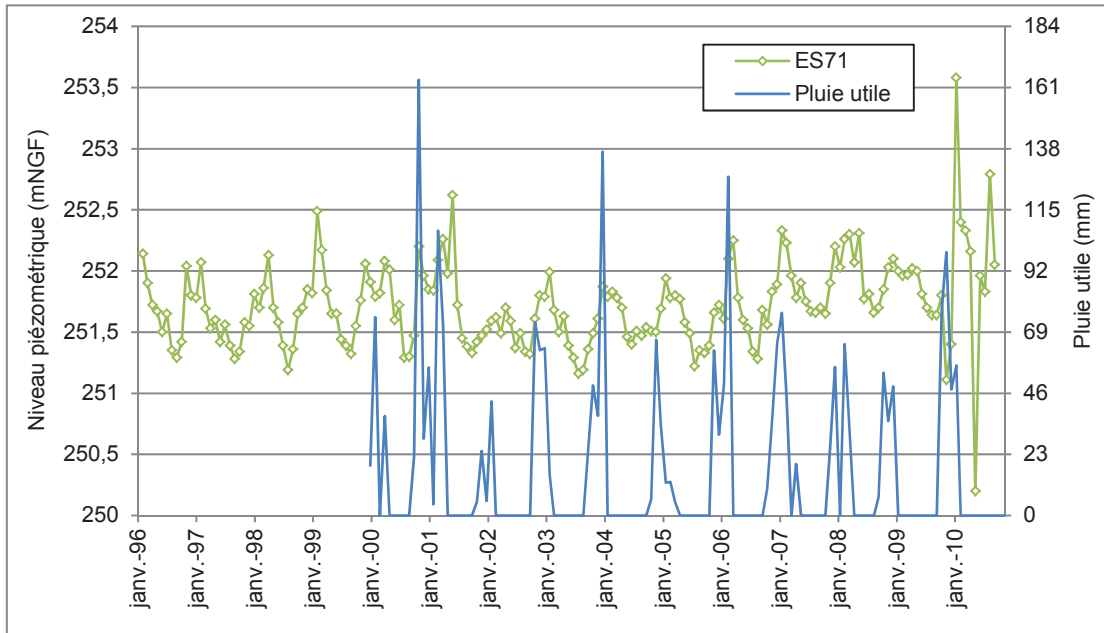
La topographie initiale du site a été profondément modifiée lors des travaux miniers du Brugeaud, et elle joue donc un rôle mineur dans les écoulements dans cette zone. Néanmoins, le thalweg marqué, orienté nord-est – sud-ouest (Figure 8), peut constituer un exutoire préférentiel et expliquer la localisation des résurgences d'eau en pied de digue observées lorsque le niveau de la nappe du granite n'est pas rabattu par le pompage en P2 (Figure 11).

Figure 11 : Localisation des ouvrages du Brugeaud et de la résurgence (12)



Le niveau piézométrique des ouvrages à l'extérieur du site de Bessines est bien corrélé avec la pluie utile. Dans le cas du piézomètre ES71, situé dans les granites, un décalage d'environ un mois existe entre la recharge et la réponse piézométrique (Figure 12).

Figure 12 : Variations piézométriques dans l'ouvrage ES71 entre 1996 et 2010



Les variations piézométriques des puits fermiers sont très similaires, que ces derniers soient situés à l'est (PTS41 et PTS42) ou à l'ouest du site (PTS43, PTS44 et PTS69). La pluviométrie semble avoir un effet immédiat et entraîne des fluctuations de niveau importantes (plus d'un mètre en moyenne pour PTS41, PTS43, PTS44 et PTS69, Figure 13 et Figure 14) comme on peut l'attendre dans la nappe des altérites. Par ailleurs, l'amplitude de variation des niveaux s'atténue à mesure que l'on se rapproche de la Gartempe (40 centimètre en moyenne pour PTS42).

Figure 13 : Variations piézométriques dans les puits fermiers à l'est du SIB entre 1996 et 2010

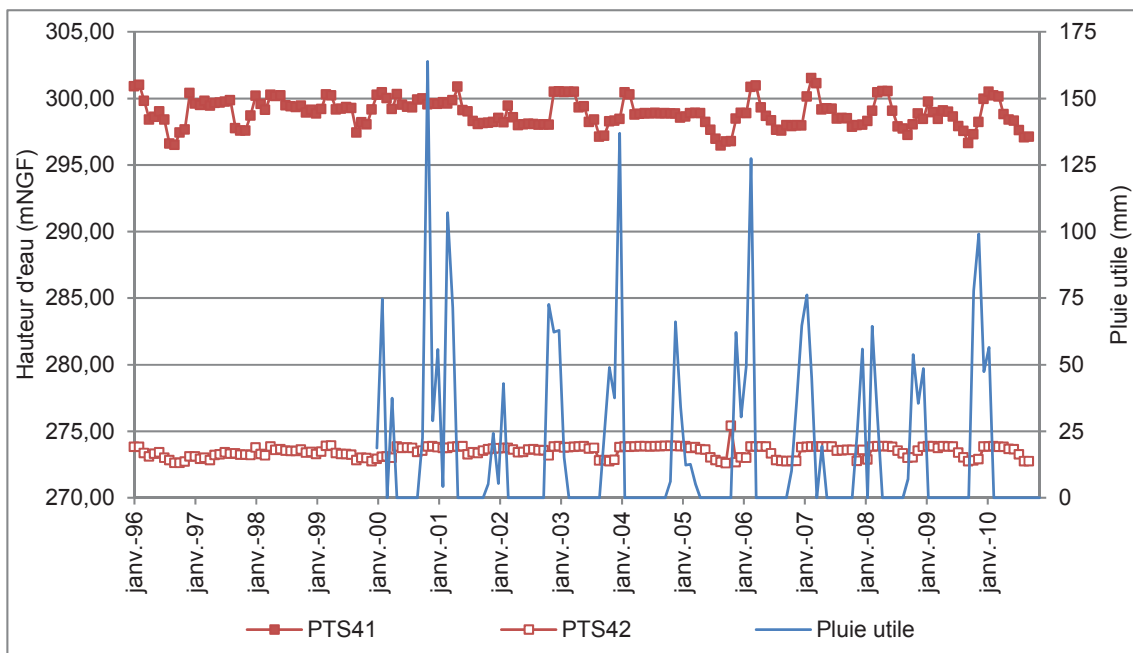
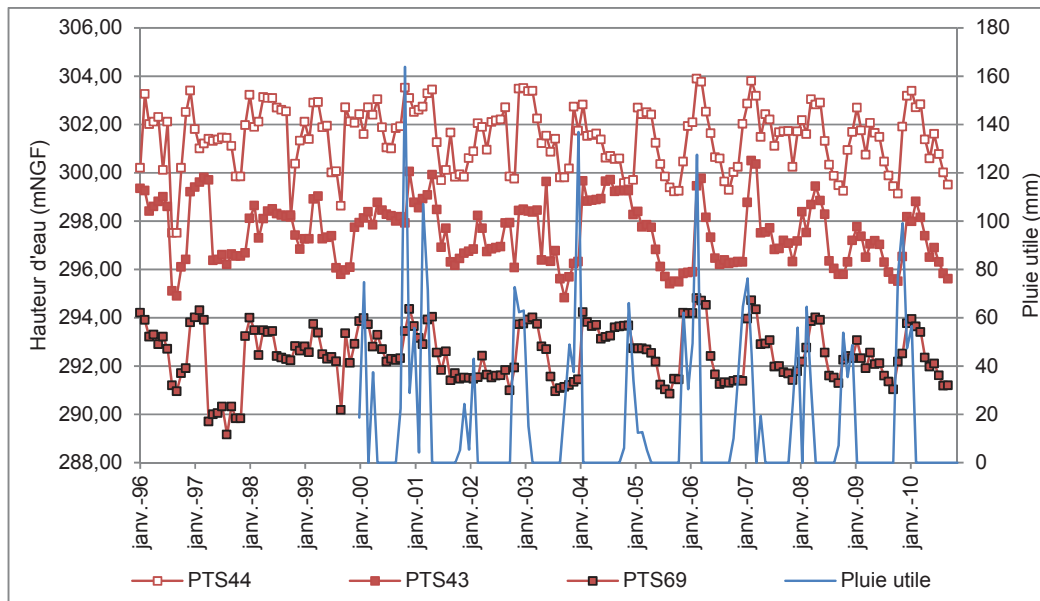


Figure 14 : Variations piézométriques dans les puits fermiers à l'ouest du SIB entre 1996 et 2010



I.2.2.4 Bilan des flux

La campagne de mesure de débits menée sur le site industriel de Bessines en novembre 2010 a fourni de précieuses informations sur son fonctionnement hydrogéologique (le compte rendu de la campagne de mesures est présenté en Annexe 3). L'interprétation de ces mesures permet ainsi de proposer un bilan des flux à l'échelle du site.

Les débits relevés lors de la campagne de mesures sont reportés dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Débits mesurés en novembre 2010 sur le site industriel de Bessines

Point	Zone concernée	Débit (m ³ /j)
SIBDOB	Lavaugrasse	151
SIBDOB2	Lavaugrasse	422
SIBLAVW	Lavaugrasse	128
SIBEST	Lavaugrasse & Bureaux	455
SIBFOS	Brugeaud	556
SIBPAL	Brugeaud	180
SIMOGAL	Lavaugrasse & granites	89
Total		1981

I.2.2.4.1 Ensemble du SIB

En se basant sur les observations des exploitants du site, nous avons considéré un décalage d'une semaine entre un évènement pluvieux et son effet sur les écoulements. La pluviométrie moyenne mesurée avant les mesures de débits est proche de 1,9 mm/j, à laquelle il faut soustraire l'ETP égal à 0,35 mm/j. Avec ces valeurs, le débit moyen entrant sur le SIB, d'une superficie d'environ 1 460 000 m², est égal à 2263 m³/j.

La somme des débits sortants mesurés sur le site représente $1981 \text{ m}^3/\text{j}$, soit 12% du flux entrant estimé. Ce résultat doit être interprété qualitativement puisque des flux d'entrée (eaux usées et industrielles provenant des zones SEPA et U308, eaux granitiques...) et de sortie (écoulements non canalisés, alimentation de la nappe...) ne peuvent être pris en compte. Cet écart est néanmoins faible au regard de la taille du site, et montre un bon dimensionnement du système et une bonne maîtrise des effluents.

A partir de ces données pluviométriques, les bilans locaux des sites du Brugeaud et de Lavaugrasse ont été réalisés (Tableau 8).

Tableau 8 : Comparaison des débits entrants et sortants sur les zones Brugeaud et Lavaugrasse

Zone	Surface (m^2)	Débit entrant (m^3/j)	Débit sortant (m^3/j)	Différence des débits entrant et sortant (m^3/j)
SIB	1 460 000	2 263	1 981	282
Brugeaud	308 380	478	736	-258
Lavaugrasse	489 910	759	745	14

I.2.2.4.2 Zone de Lavaugrasse

La zone de Lavaugrasse est constituée du bassin de stockage du même nom, ainsi que des verses situées au sud de celui-ci. La zone au nord-ouest du stockage n'a pas été prise en compte. Sa contribution aux débits de Lavaugrasse est en effet négligeable : l'absence de réaménagement de surface entraîne une forte infiltration au sein des granites, et le ruissellement, observé au niveau de la voie ferroviaire lors de la campagne de mesure, s'est révélé peu important.

La surface de la zone de Lavaugrasse est proche de $489\,910 \text{ m}^2$, ce qui représente un débit d'entrée par infiltration des précipitations égal à $759 \text{ m}^3/\text{j}$. Les débits de sortie considérés pour cette zone sont ceux qui ont été mesurés aux points SIBDOB, SIBDOB2 et SIBLAVW, dont la somme est environ égale à $700 \text{ m}^3/\text{j}$. A ces volumes peuvent être ajoutés une partie des eaux d'exhaure de l'ancienne descenderie du Vieux Moulin dont les analyses (présentées dans le chapitre suivant) montrent qu'il s'agit d'un mélange entre de l'eau du granite et des eaux ayant percolées à travers les verses à stériles (mélange estimé à minima à 50 % d'eau des verses à stériles). En ajoutant cette contribution aux sorties du système on atteint environ $745 \text{ m}^3/\text{j}$.

Le bilan des flux sur la zone de Lavaugrasse montre un léger excédent en entrée ($15 \text{ m}^3/\text{j}$), ce qui représente moins de 2% du débit entrant (à l'incertitude de mesure près).

Cependant, certaines sortie du système n'ont pas été quantifiées lors de la campagne de mesures mais restent néanmoins significatives. Il s'agit des eaux de ruissellement du secteur est de Lavaugrasse (que l'on ne peut isoler des eaux pluviales des zones de bureaux et des eaux industrielles collectées dans le même canal), des fuites vers la Gartempe (des venues d'eaux sont observées à l'aval du site) et des sorties supposées dans la partie ouest de la digue de Lavaugrasse. Malgré ces incertitudes, les résultats montrent que les principaux écoulements sont drainés par les ouvrages SIBDOB et SIBDOB2.

I.2.2.4.3 Zone du Brugeaud

La zone du Brugeaud s'étend sur une zone de $308\,380 \text{ m}^2$, et est composé du site de stockage à proprement dit et de la zone située immédiatement au nord de celui-ci, au-delà de la route de Lavaugrasse. Le débit entrant dû à la pluie est égal à $478 \text{ m}^3/\text{j}$; les débits de sortie de cette zone sont ceux mesurés en SIBFOS et SIBPAL, et leur somme est égale à $736 \text{ m}^3/\text{j}$. La différence des flux montre qu'une part importante du débit de sortie (environ 35%) ne peut être attribuée à des eaux météoriques.

Ces apports d'eau sont, pour la majorité, issus des granites, mis en charge après l'arrêt du pompage P2 à la fin de l'année 1998. En effet, le niveau dans le piézomètre BRUPZ1 est alors remonté jusqu'à la côte 270 m NGF environ. L'eau de la nappe des granites est donc en charge sous les digues et peut parfois être artésienne au niveau du piézomètre BRUPZ1. Il est probable que la nappe des granites réalimente les

alluvions de l'ancien lit de la Gartempe, phénomène accentué par le pompage de SIBPAL, et qu'elle ressorte également au pied de la digue au niveau dans le fossé « SIBFOS ». Ces apports par les granites contribuent aux débits mesurés sur SIBPAL et SIBFOS ce qui explique l'écart entre les entrées et les sorties du bilan de flux. Il faut également préciser qu'il existe en amont immédiat de BRUPZ1 des sorties d'eau diffuses dans la Gartempe dont l'importance ne peut être quantifiée.

I.2.2.4.4 Conclusion

Le bilan de flux réalisé sur le site industriel de Bessines montre que la grande majorité des eaux en circulation est maîtrisée. Les écoulements principaux semblent correctement drainés par les ouvrages SIBDOB, SIBDOB2, SIBPAL et SIBFOS.

Néanmoins, certaines incertitudes persistent à l'issue de l'interprétation de ces mesures.

En premier lieu, le ruissellement sur le bassin de Lavaugrasse est mélangé à des eaux pluviales et industrielles, et son importance n'a pu être quantifiée. Néanmoins, cet écoulement est récupéré et traité, et ne représente donc aucun risque environnemental.

Les fuites dans la Gartempe, apparaissant en amont et en aval du site, sont diffuses et n'ont pu être mesurées. Elles restent cependant relativement faibles en comparaison du débit de la rivière au sein de laquelle il se produit un fort effet de dilution.

Enfin, la qualité des eaux de la source ES68 et du piézomètre ES71 laissent supposer qu'il existe une fuite dans la partie Ouest du bassin de Lavaugrasse. Ces observations sont à mettre en relation avec l'existence de thalwegs dans le granite sur lequel repose la digue. Le volume d'eau que pourraient représenter ces pertes est cependant difficilement quantifiable.

I.2.3 Modélisation hydrodynamique du Brugeaud

Le modèle a été réalisé à l'aide du code de calcul MODFLOW-SURFACT. Il s'agit d'un outil de modélisation des écoulements souterrains basé sur le code MODFLOW de l'USGS et développé par HydroGeoLogic, inc. MODFLOW-SURFACT permet la modélisation des écoulements souterrains, zone non saturée incluse, des transports de polluants en phase ou dissous prenant en compte les mécanismes de dissolution/volatilisation et des réactions chimiques simples (cinétiques simples, décroissance radioactive et réactions séquentielles).

Les calculs d'écoulements des eaux en zone non saturée sont basés sur la résolution de l'équation de Richards par la méthode des différences finies.

I.2.3.1 Construction et paramètres du modèle

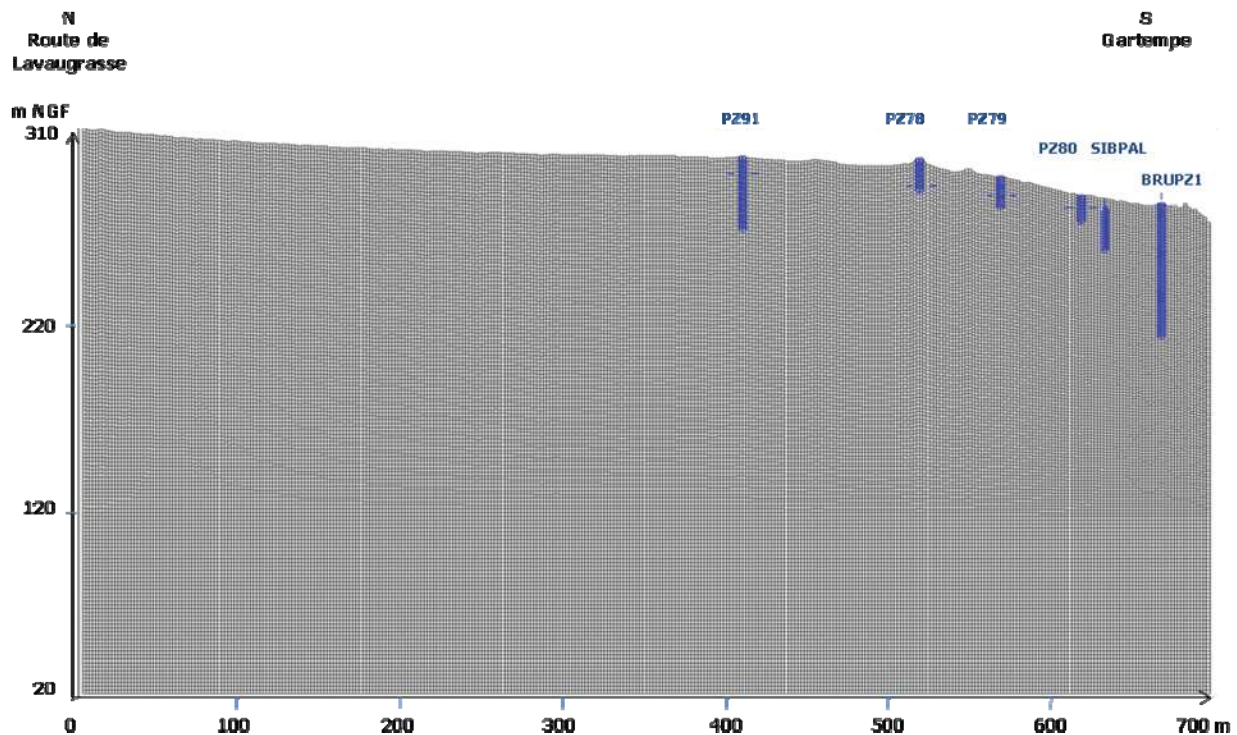
I.2.3.1.1 Emprise et maillage

La zone modélisée correspond à une coupe tracée perpendiculairement aux écoulements principaux (Figure 5). La route de Lavaugrasse (309 m NGF) constitue la limite nord du modèle et la Gartempe, la limite sud (260 m NGF). Ce modèle est donc bidimensionnel, et ses dimensions sont les suivantes :

- 700 m de long, de la route communale de Lavaugrasse à la Gartempe
- 294 m en vertical depuis la cote 15 m NGF à la cote 309 m NGF environ, et ce afin de prendre en compte les différents horizons présents dont les galeries des TMS

Les mailles sont de forme carrée de dimension 2 m (X) par 2 m (Z) par 1 m (Y). L'ensemble de la zone a fait l'objet d'un maillage uniforme (Figure 15). Cette discrétisation a été choisie de manière à pouvoir étudier les écoulements en zone non saturée ainsi que le transport d'éléments dissous. Au total, le modèle comporte 50 750 mailles.

Figure 15 : Géométrie et maillage de la zone modélisée



I.2.3.1.2 Géométrie du modèle

I.2.3.1.2.1 Géométrie générale

La zone d'étude est discrétisée verticalement en 145 couches numériques. La topographie du terrain variant entre les cotes 309 et 255 m NGF, le programme réalise un ajustement de l'épaisseur des couches afin que celle-ci soit uniforme sur une colonne donnée.

La topographie de la première couche a été extrapolée à partir des 33 points levés sur le plan topographique du site fourni par AREVA.

Les formations géologiques naturelles en place sont homogènes, l'encaissant étant constitué de granite. Il n'y a donc pas de nécessité de représenter des couches géologiques de géométrie particulière. Par contre, les terrains rapportés durant l'exploitation du site présentent des hétérogénéités importantes. Différentes entités sont donc prises en compte dans le modèle :

- le granite sain constituant l'encaissant,
- le granite endommagé par l'exploitation en périphérie de la MCO,
- les résidus de traitement constituant le cœur du stockage,
- la fosse dite « Jean-Jeannette » contenant les déchets de démantèlement au nord du stockage,
- les TMS,
- la digue du Brugeaud constituée de sables de sous-verse et d'une couverture en stériles,
- la digue « du thalweg » située en bordure de la Gartempe,
- l'ancien lit de la Gartempe.

I.2.3.1.2.2 Géométrie du bassin de stockage

Le bassin de stockage est constitué de plusieurs formations, aux propriétés hydrauliques différentes. Les résidus de traitement représentent la quantité prépondérante des matériaux stockés. Au nord, se trouvent les déchets de démantèlement de l'usine SIMO (fosse Jean-Jeannette). Au sud, le bassin est fermé par la digue du Brugeaud, constituée de la partie fine et grossière des sables de sous-verse, et recouverte d'une couverture en stériles.

Les sources bibliographiques mises à disposition permettent de représenter de manière approximative la géométrie globale de la MCO. La profondeur de la MCO est communément fixée à la cote 170 m NGF.

I.2.3.1.3 Conditions aux limites

Les conditions aux limites prises en compte sont les suivantes :

- nord : potentiel imposé à la cote 298 m NGF, correspondant au niveau piézométrique mesuré dans les deux forages (Forage 1 et 2) situés en limite nord du site. Cette limite amont alimente le modèle en eau souterraine.
- sud : potentiel imposé à la cote 256 m NGF, correspondant à la côte du fil d'eau de la Gartempe.
- pluie utile estimée à 150 mm/an, alimentant l'intégralité de la zone étudiée (recharge d'année sèche).

I.2.3.1.4 Particularités du site

La zone étudiée présente certaines particularités, qui doivent être décrites de manière spécifique dans le modèle.

La digue dite « du thalweg » a été construite entre 1962 et 1964 en vue de détourner la Gartempe et de protéger le site d'une crue millénaire. Cette digue est localisée en aval immédiat de la digue du Brugeaud. Elle est constituée de « terres et enrochements à noyau argileux » (12). Cette digue joue un rôle primordial dans les écoulements souterrains de par sa position aval et sa faible perméabilité. En effet, le noyau argileux présente une faible perméabilité qui s'oppose au libre écoulement des eaux souterraines. Elle est donc prise en compte dans le modèle sous la forme de deux zones : l'une de faible perméabilité associée au noyau d'argile, et l'autre de perméabilité plus importante associée au mélange de terre et d'enrochement. Aucune valeur de perméabilité n'a été mesurée.

Deux ouvrages, SIBPAL et SIBFOS, assurent le drainage du pied de la digue du Brugeaud. Bien que n'étant pas directement positionnés sur la coupe choisie, les forts débits de pompage de ces ouvrages contribuent fortement au rabattement de la nappe. Afin de représenter leur effet, ils ont été projetés sur la coupe modélisée et représentés sous la forme d'un pompage cumulant les débits de SIBFOS et SIBPAL.

Enfin, le rapport d'expertise de Coyne et Bellier (12), rédigé en mars 2006, met en évidence la présence de trois drains positionnés dans le parement aval de la digue du Brugeaud. Il existe peu de données quant à la géométrie, au fonctionnement et à l'état de ces ouvrages. Vraisemblablement mis en place lors de la création de la digue, ils ont pour but de rabattre, par drainage, la cote piézométrique au droit de la digue permettant ainsi une meilleure stabilité. Aucune information d'ordre bibliographique n'est connue quant à la part d'eau effectivement drainée par ces ouvrages. Ces drains ont été pris en compte dans le modèle sous la forme d'une cellule de type « drain ». Ils sont positionnés à une côte approximative, déterminée à partir des figures du rapport (12), et leur diamètre est estimé à 900 mm. Le coefficient de perméabilité associé fera l'objet d'un calage.

I.2.3.1.5 Paramètres hydrogéologiques

Afin de décrire les formations présentes dans le domaine étudié, plusieurs zones de perméabilités différentes ont été définies. Ces zones sont les suivantes :

- le granite sain
- le granite endommagé
- les résidus
- la partie fine des sables de sous-verse de la digue du Brugeaud
- la partie grossière des sables de sous-verse de la digue du Brugeaud
- la couverture de stériles sur la digue et le stockage
- les TMS
- le mélange de terre et d'enrochement, partie externe de la digue « du thalweg »
- le cœur d'argile de cette digue
- les déchets de démantèlement
- les alluvions constituant l'ancien lit de la Gartempe

Il existe très peu de données bibliographiques relatives aux paramètres hydrogéologiques des formations présentes sur le site. Les perméabilités des différentes zones sont donc des valeurs ajustées qui gardent à ces paramètres leurs sens physiques de façon à rester en cohérence avec le modèle réalisé sur le site de Bellezane (2).

I.2.3.1.6 Paramètres de la zone non saturée

Les écoulements en zone non saturée ont été pris en compte. Dans la mesure où nous ne disposons pas de mesure sur site, les paramètres utilisés sont issus de la base de données de l'USDA.

I.2.3.2 Calage hydrodynamique en régime permanent

I.2.3.2.1 Méthodologie

Le calage a été réalisé en régime permanent. L'état piézométrique de référence retenu pour le calage des paramètres hydrodynamiques du modèle correspond à l'état piézométrique de fin de basses eaux mesuré sur le terrain le 19 octobre 2010.

Les conditions aux limites, les perméabilités, les échanges avec les drains ont été ajustés sur la base de cet état de référence afin de caler l'état piézométrique calculé.

I.2.3.2.2 Carte de perméabilité

Figure 16 : Zones de perméabilité dans le domaine modélisé

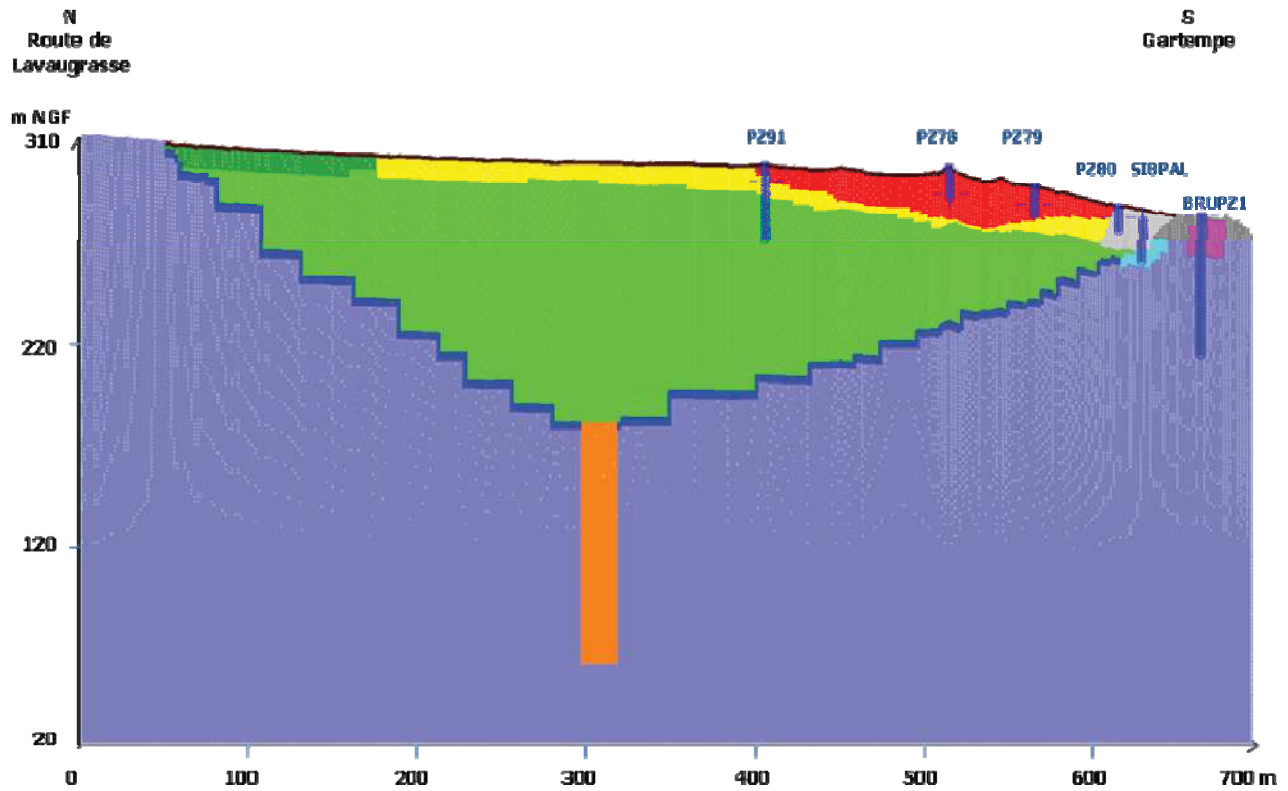


Tableau 9 : Valeur des perméabilités horizontales ajustées des différentes zones

Zone	Couleur	Perméabilité (m/s)
Granite sain	Mauve	1.10^{-7}
Granite endommagé	Bleu foncé	2.10^{-7}
Résidus	Vert clair	1.10^{-8}
Partie fine du sable de sous-verse	Rouge	5.10^{-7}
Partie grossière de sable de sous-verse	Jaune	1.10^{-5}
Couverture de stériles	Noir	1.10^{-7}
Base de la digue du Brugeaud	Gris clair	2.10^{-7}
TMS	Orange	1.10^{-2}
Partie externe de la digue du Thalweg	Gris foncé	4.10^{-8}
Cœur d'argile de la digue du Thalweg	Rose	1.10^{-8}
Ancien lit de la Gartempe	Bleu clair	5.10^{-4}
Déchets de démantèlement	Vert foncé	5.10^{-6}

Excepté pour les TMS et les granites, la perméabilité verticale a été considérée un ordre de grandeur inférieure aux perméabilités horizontales reportées dans le

Tableau 9.

I.2.3.2.3 Résultats et interprétation

I.2.3.2.3.1 Etat piézométrique

La piézométrie calculée par le modèle est représentative des écoulements observés : écoulement du nord vers le sud avec un gradient de l'ordre de 7%. L'écart entre les niveaux calculés et mesurés est compris entre 10 et 50 cm (Tableau 10).

Tableau 10 : Ecart entre les niveaux piézométriques mesurés et calculés aux points de contrôle

Points de contrôle	Niveau piézométrique mesurée (m NGF)	Niveau piézométrique calculée (m NGF)	Ecart (m)
PZ91	285,53	284,99	-0,5
PZ78	277,92	277,77	-0,2
PZ79	272,31	272,40	0,1
PZ80	268,2	268,39	0,2
BRUPZ1	268,31	268,50	0,2

La Figure 17 et la Figure 18 montrent que le pompage de SIBPAL crée un cône de dépression qui génère une réalimentation par la Gartempe.

Figure 17 : Contour des isopièzes et saturation des cellules

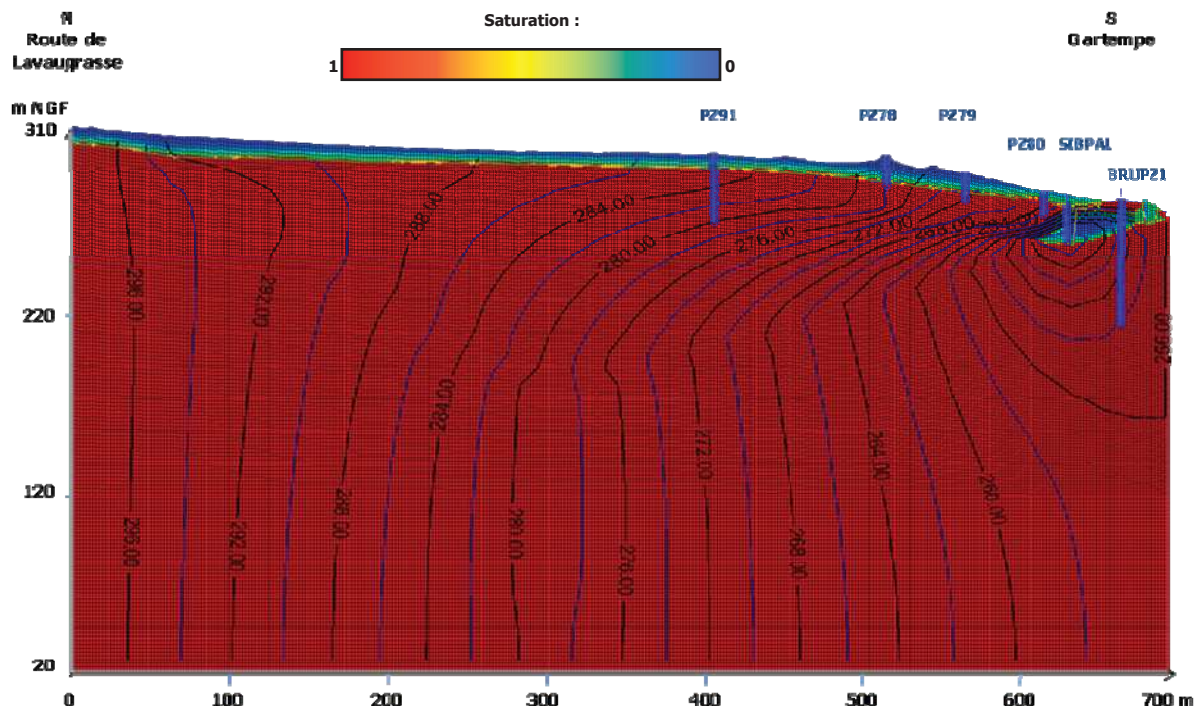
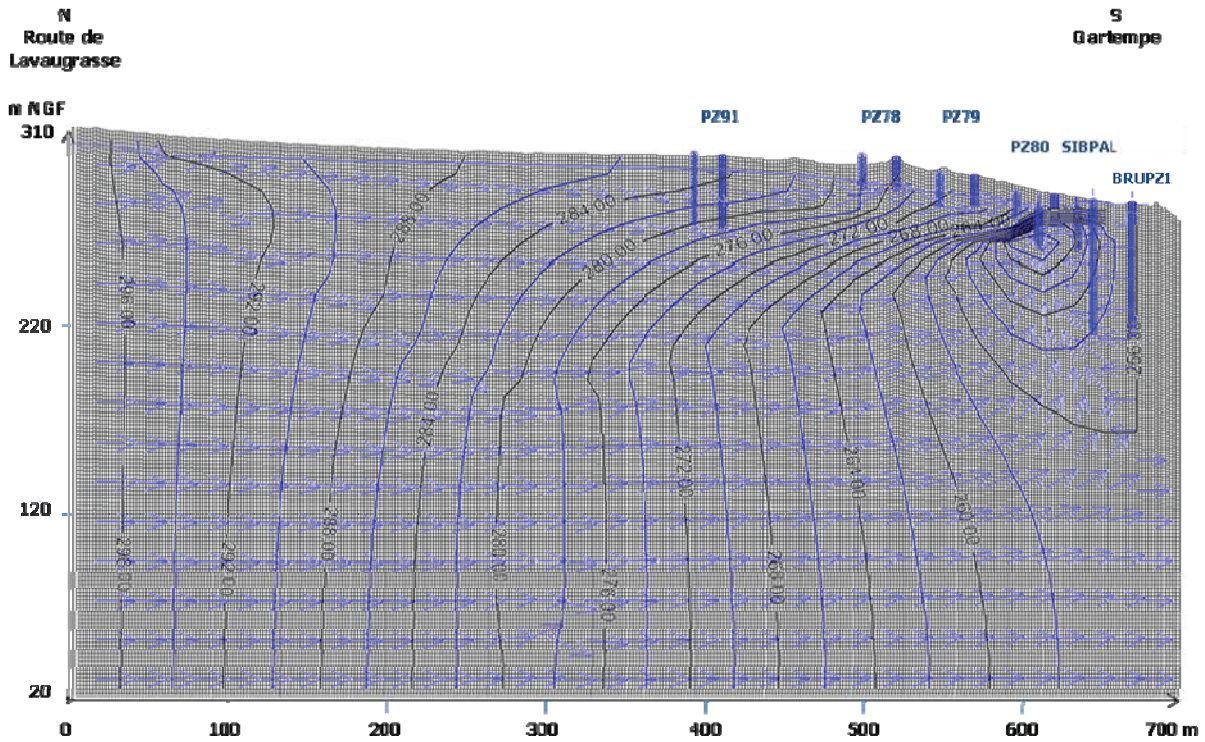


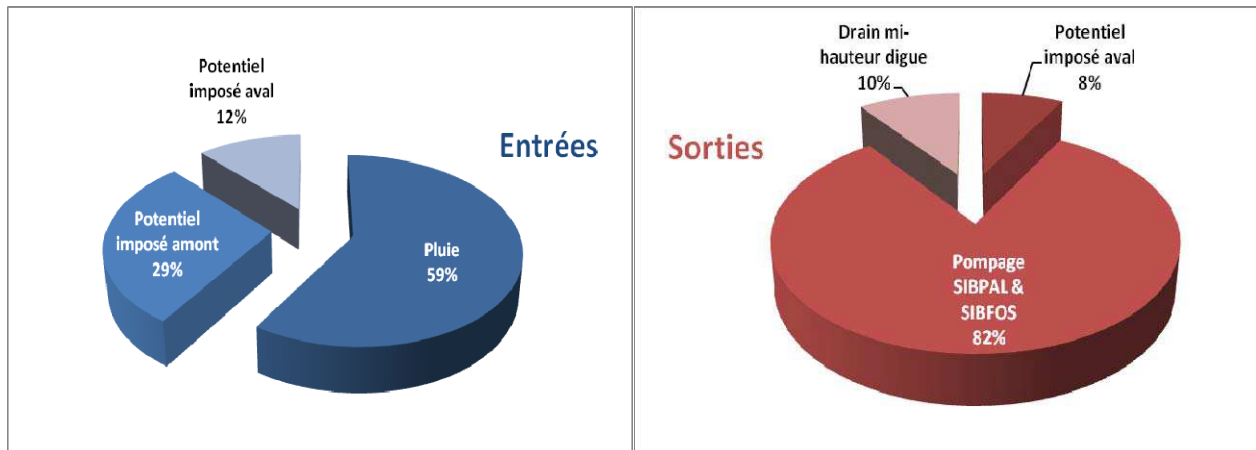
Figure 18 : Contour des isopièzes et champs de vitesse



I.2.3.2.3.2 Bilan des flux

Le bilan des flux calculé par le modèle est présenté Tableau 11. Ces résultats montrent que le pompage SIBPAL-SIBFOS est l'exutoire principal du système (82% des sorties). Les sorties dans la Gartempe représentent 8% des volumes sortants du modèle. Le rapport entre le volume de pluie en entrée et le volume d'eau sorti au niveau de SIBPAL-SIBFOS est concordant avec les mesures réalisées sur site (0,7 pour le modèle et 0,65 mesuré).

Tableau 11 : Bilan des flux d'entrée et de sortie calculé par le modèle



Entrées			Sorties		
Type	Débit (m ³ /j)	Fraction du total (%)	Type	Débit (m ³ /j)	Fraction du total (%)
Pluie	0,287	59	Potentiel imposé aval (Gartempe)	0,039	8
Potentiel imposé amont	0,139	29	Pompage SIBPAL & SIBFOS	0,400	82
Potentiel imposé aval (Gartempe)	0,060	12	Drain mi-hauteur digue	0,047	10
-	-	-	Drains haut et bas digue	0	0
Total	0,486	100	Total	0,486	100

I.2.3.3 Conclusion

Le calage obtenu rend bien compte de la réalité. Il faut toutefois souligner que le pompage SIBPAL a une forte influence sur les écoulements et les sens des échanges avec la Gartempe. En effet, le pompage induit une réalimentation de la nappe (12% des entrées) par la Gartempe. En condition non influencée, la nappe est plutôt drainée par la Gartempe. Ainsi, plus en amont, comme au droit de BRUPZ1 (éloigné de SIBPAL) l'effet du pompage n'est sans doute plus perceptible et la nappe doit s'écouler dans la Gartempe.

L'analyse de sensibilité montre que ce pompage a une grosse influence sur les résultats du bilan.

La quantification des sorties de nappe dans la Gartempe permettrait de mieux ajuster le modèle.

I.2.4 Modélisation du transport de masse sur le site du Brugeaud

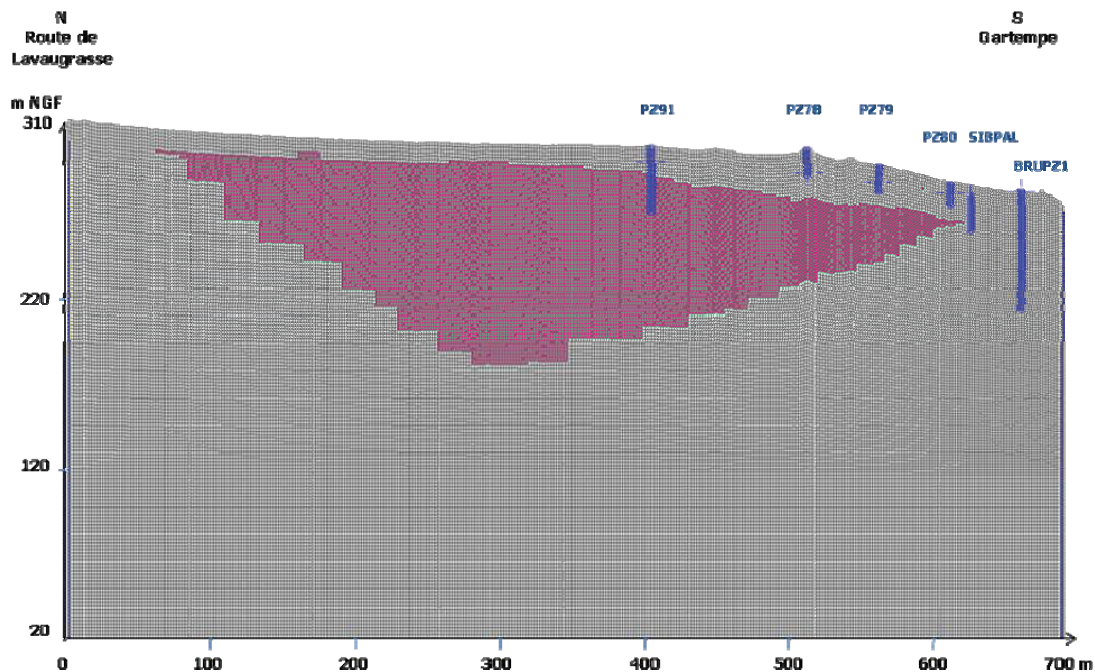
I.2.4.1 Objectifs

L'objectif de cette modélisation est d'estimer la propagation d'un élément conservatif dans le milieu et d'observer les phénomènes d'atténuation des concentrations le long de la ligne d'écoulement.

I.2.4.2 Schématisation

Les résidus stockés dans l'ancienne MCO constituent la principale source de pollution. Une concentration arbitraire égale à 100 unités a donc été attribuée à la zone correspondante (Figure 19).

Figure 19 : Condition initiale de transport

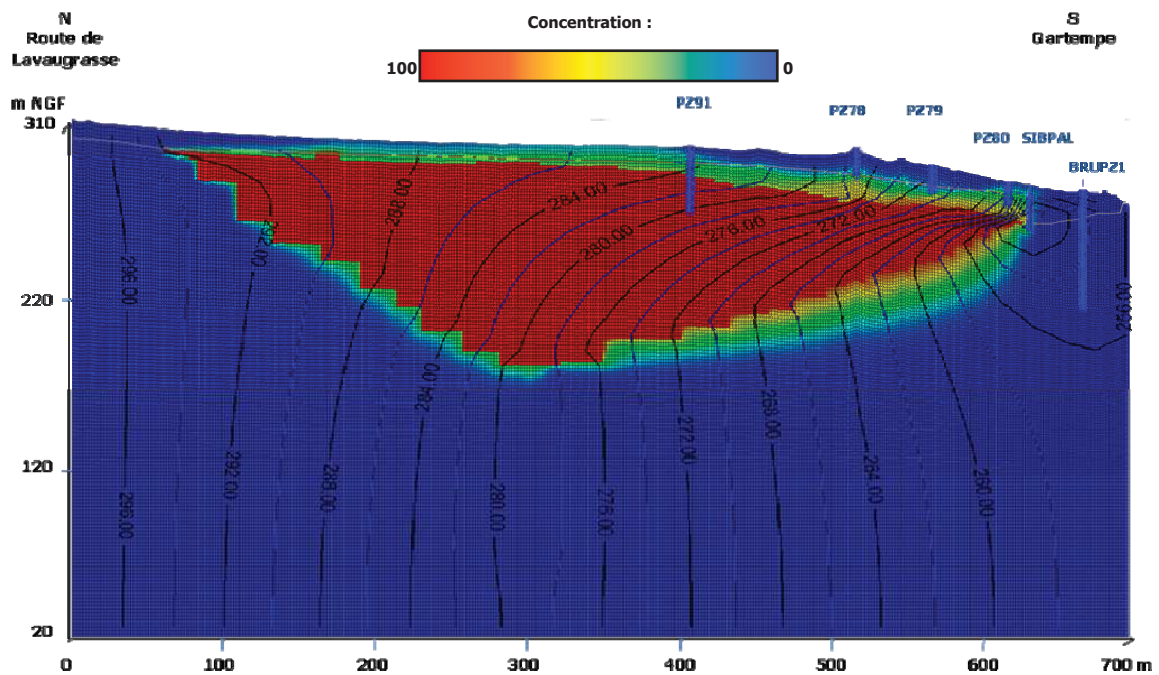


Les paramètres de transport utilisés sont des dispersivités longitudinale et transversale respectivement égales à 2 m et 0,2 m. Le coefficient de diffusion a été fixé à une valeur de 10^{-9} m/s². Le transport étant principalement convectif, ce dernier ne constitue pas un paramètre sensible.

I.2.4.3 Résultats

Les résultats obtenus après une durée simulée de 20 ans montre un panache principalement confiné dans le bassin de stockage (Figure 20). La masse sort en majorité par le pompage SIBPAL-SIBFOS, et entraîne une concentration de sortie proche de 50 unités. On n'observe pas de sortie dans la Gartempe.

Figure 20 : Champ de concentration après 20 ans



I.2.4.4 Conclusion

Les résultats de la modélisation du transport montrent que le système est relativement bien confiné et que le pompage de SIBPAL permet de drainer les eaux marquées issues de la percolation à travers la MCO.

Cependant, au droit de BRUPZ1 les analyses montrent de fortes concentrations en éléments divers caractéristiques des eaux ayant percolées dans la MCO. Il en est de même pour les eaux prélevées au droit des suintements dans la Gartempe. Comme expliqué au paragraphe précédent, les effets du pompage s'estompe à mesure que l'on s'en éloigne et il est probable qu'en amont, le panache de pollution se diffuse jusqu'à la Gartempe. La quantification des suintements le long de la Gartempe entre BRUPZ1 et SIBPAL permettrait de mieux ajuster le débit d'exhaure du modèle paramètre influent sur l'extension et la dilution du panache.

I.3 Le site de Montmassacrot

I.1.1 Historique du site de Montmassacrot

L'exploitation minière du site de Montmassacrot a débuté par des travaux miniers souterrains en 1976. Deux chantiers ont vu le jour, exploités par tranches descendantes jusqu'à la côte 441 m NGF, et totalisant près de 600 m de galeries. L'extraction de 49 000 tonnes de matériaux représentant un volume de vide de 14 000 m³. En 1977, l'activité s'est développée par une mine à ciel ouvert, isolée des travaux souterrains par la mise en place d'une dalle de béton de 120 m de long par 10 m de large environ (Figure 22). La côte de fond de la MCO est environ 470 m NGF et son emprise au sol proche de 8 000 m². L'exploitation a nécessité un rabattement de la nappe à la côte de fond de fouille, soit 470 m NGF pour la MCO, 441 m NGF pour les TMS. Les travaux miniers ont été arrêtés en 1979 pour la MCO, 1981 pour les TMS. Ils ont respectivement permis l'extraction de près de 828 214 tonnes et 25 344 tonnes de matériaux bruts. A l'arrêt des travaux, l'exhaure a été réduite et un plan d'eau s'est développé dans la MCO à une côte comprise entre 480 et 485 m NGF.

En vue de la reconversion de la MCO en bassin de stockage, le dénoyage de celle-ci à la côte 468 m NGF a été entrepris, et un drain a été placé en fond, mis en communication des TMS par un puits drainant à travers la dalle de béton. Le stockage de résidus de traitement a débuté en 1987 et s'est poursuivi jusqu'en 1990. L'opération de remblaiement a nécessité l'édification d'une digue de fermeture dans la partie sud-ouest de la MCO. Constituée de tout-venant de stériles miniers, elle est construite par la méthode verticale entre 1987 et 1989 au fur et à mesure du stockage des résidus. Près de 737 000 tonnes de matériaux ont été disposés sur le site de Montmassacrot durant cette période (soit 400 000 m³). La surface au sol du stockage atteint environ 22 000 m².

Entre 1993 et 1995, des travaux de réaménagement ont eu lieu sur le site de Montmassacrot. Ils ont principalement consisté en la mise en place d'une couverture de stériles miniers sur le bassin de stockage et en la réalisation d'un bouchon de sécurité percé de quatre conduites dans l'ancienne descenderie. Un remodelage de la digue a également eu lieu, avec un adoucissement de la pente du parement aval et l'ajout de pistes drainantes permettant une meilleure collecte des eaux.

Depuis l'arrêt du pompage, le niveau piézométrique dans le stockage et les TMS est régulé par l'exhaure dans l'ancienne descenderie, dont la côte de sortie se situe à 493 m NGF.

I.3.1 Contexte environnemental du site de Montmassacrot

I.3.1.1 Contexte géographique

Le site de stockage de Montmassacrot est situé dans le département de la Haute-Vienne, à environ 3 km au sud-est de la commune de Bessines-sur-Gartempe. Il est situé sur un point haut local, d'altitude comprise entre 500 et 520 m NGF, et est bordé par des pentes fortes à l'est et au nord-ouest. A l'ouest, le site est séparé du hameau de Montmassacrot par un thalweg encaissé. Au sud-est, une vallée, empruntée par le ruisseau de Belzanes, sépare le site des pentes plus élevées du Puy Nado et des hauts plateaux qui se développent vers le sud.

I.3.1.2 Contexte hydrographique

Le site de Montmassacrot se trouve dans le bassin versant de la Gartempe. Sa position topographique entraîne un rayonnement des eaux de surface à partir de l'ancienne MCO et orienté est – ouest et nord – sud. Deux rus temporaires peuvent être observés à proximité du site. A l'est se trouve le ruisseau de Belzanes, s'écoulant de l'ouest vers l'est ; à l'ouest, le ruisseau s'écoule du sud vers le nord.

Les fortes pentes du site et les terrains peu perméables du bassin de la Gartempe entraîne une prédominance du ruissellement sur la recharge. Le débit des cours d'eau locaux sont donc très dépendant des événements climatiques, et connaissent de fortes variations entre les saisons de basses et hautes eaux.

I.3.2 Contexte hydrogéologique

I.3.2.1 Description des points de mesure

Un réseau de surveillance a été mis en place au sein et à proximité du site de stockage de Montmassacrot. Un suivi piézométrique et/ou des analyses de la qualité des eaux ont donc été réalisés sur les ouvrages suivants :

Piézomètres :

- ES28, proche du thalweg ouest du site et dans lequel les mesures ont été arrêtées en mars 2003 en raison de l'écrasement du tubage
- PZ29, situé au sud-ouest de la MCO, proche du bassin de collecte des eaux
- PZ81, situé dans la digue, à l'ouest des résidus, dans lequel la première mesure a eu lieu en mai 2002
- PZ66 (anciennement MMT SOND), localisé au droit des TMS, dans les résidus

Sources :

- ES25 : située à l'est à environ 600 m de la mine, cette source est régulièrement à sec lorsque les précipitations sont faibles
- ES26 : située à l'est de la mine, proche de ES25
- BRGM 13 : située au nord de la mine, dans le village de Marcoueix
- BRGM 14 : située dans un thalweg au sud-est de la mine, à environ 500 m de celle-ci
- MMT B : à l'est et en aval du site, dans le ruisseau du Mas. Ce point de prélèvement remplace ES28 à partir d'avril 2003

Puits fermier :

- BRGM 04 : situé à l'ouest de la MCO, dans le village de Montmassacrot
- BRGM 05 : situé au sud-est de la mine, en amont de celle-ci, dans le village de Baubiat
- BRGM 12 : situé au nord du site, dans le village de Marcoueix
- ES27 (ou PTS27): situé à l'ouest de la MCO, proche du village de Montmassacrot, analyses arrêtées en septembre 2003

Eaux de site :

- MMT DIG : eau issue des drains de la digue de Montmassacrot
- MMT1 : eau d'exhaure issue de l'ancienne descenderie, drainant maintenant les TMS
- MMT1 bis : eau prélevée dans le bassin collecteur, situé à l'ouest du site, et regroupant les eaux d'exhaure et de ruissellement avant leur pompage vers la station de traitement de Bellezane

La localisation de ces différents points est reportée sur la Figure 21 et la Figure 22.

Figure 21 : Localisation des points de contrôle sur le site de Montmassacrot

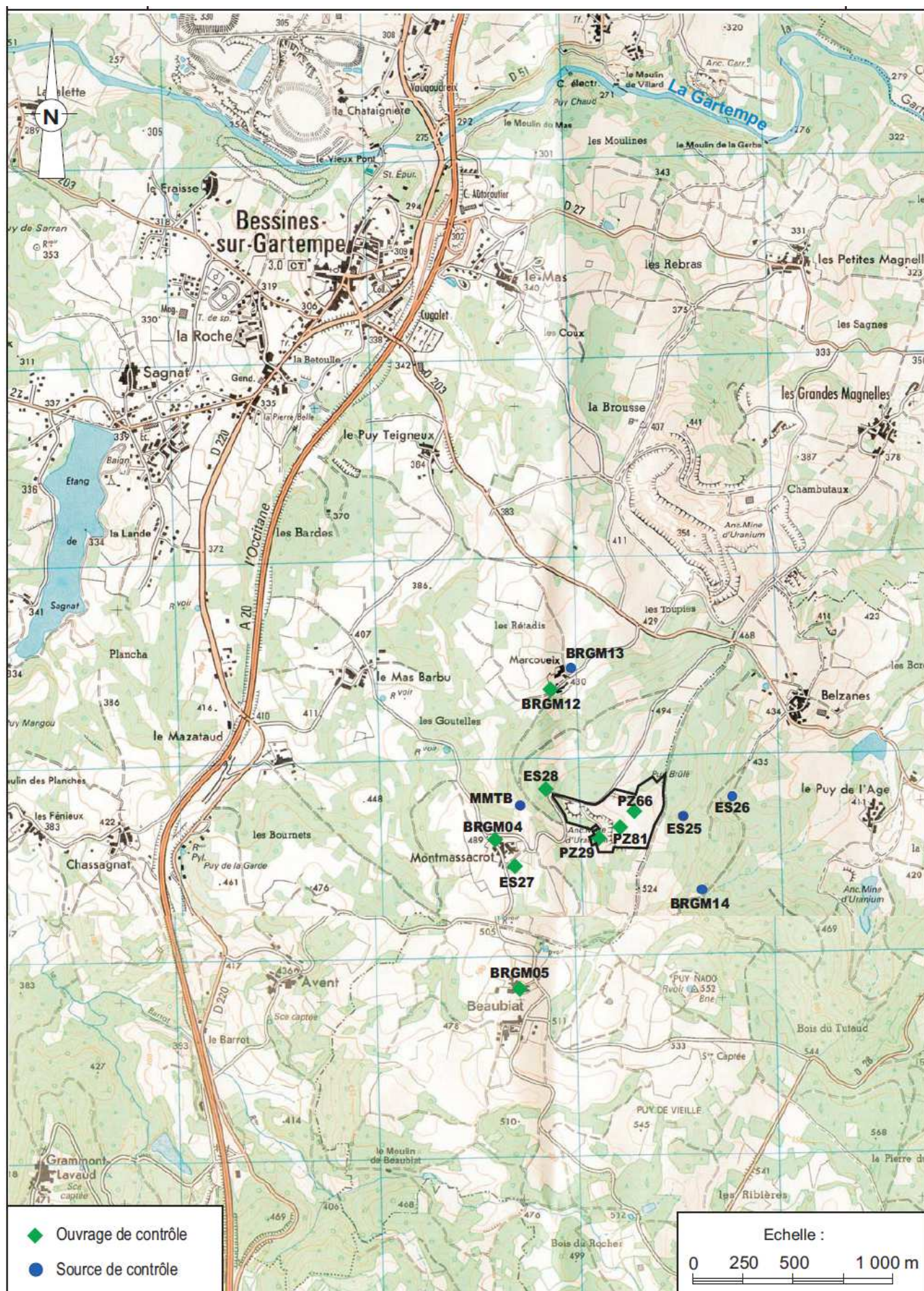
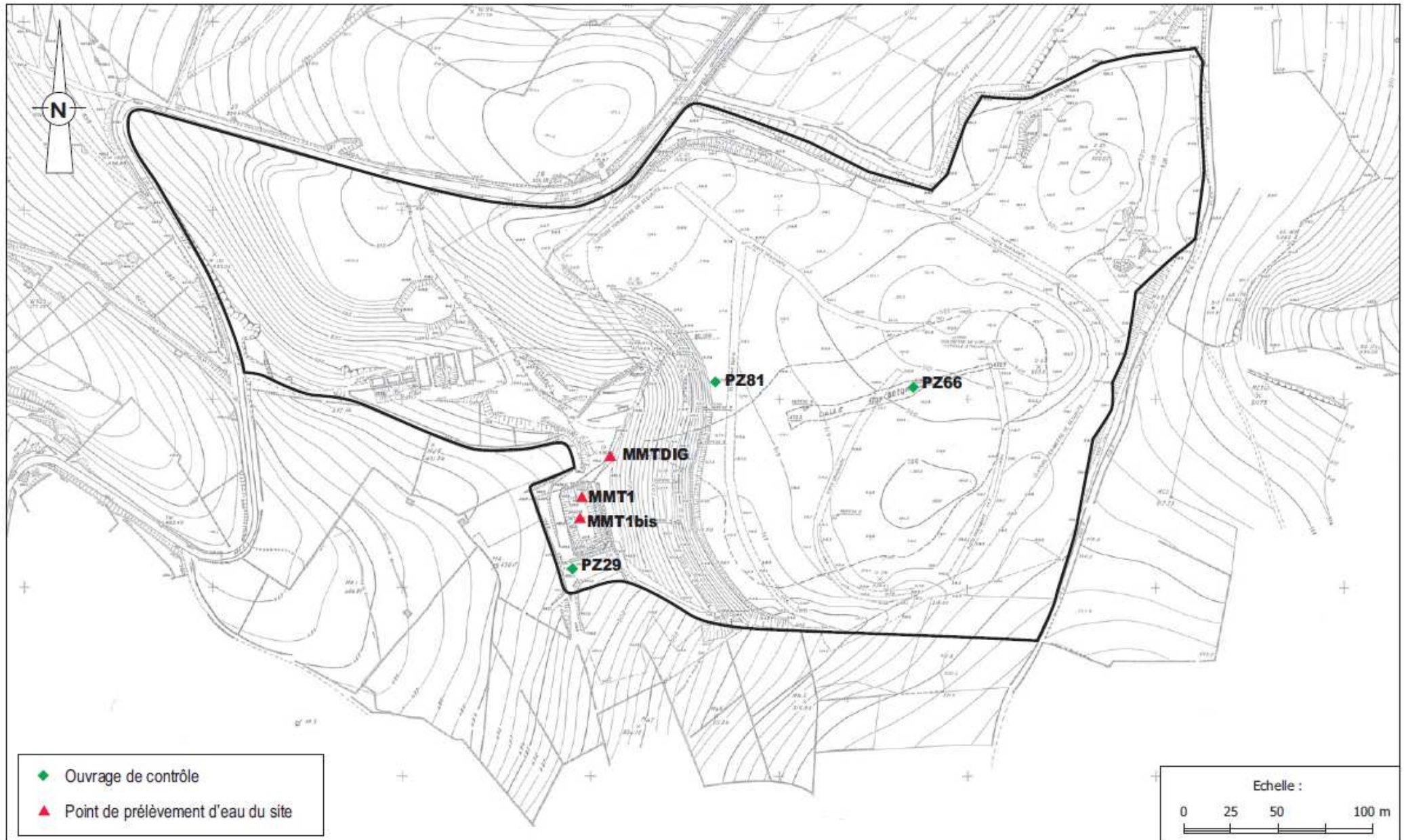


Figure 22 : Localisation de l'emprise des travaux miniers et des points de contrôles à l'intérieur du site de Montmassacrot



La mesure du niveau piézométrique et l'analyse de qualité n'a pas été réalisée sur l'intégralité des points surveillés. Le Tableau 12 synthétise le type des mesures faites sur chacun des points de contrôle, ainsi que la période de suivi.

Les chroniques d'analyse chimique réalisées sur le site de Montmassacrot sont reportées dans l'Annexe 2.

Tableau 12 : Type et période du suivi des différents points de contrôle du site de Montmassacrot

Point observé	Type d'ouvrage	Période du suivi piézométrique	Période du suivi de qualité
ES28	Piézomètre	Janvier 1993-Mars 2003	Janvier 1993-Mars 2003
PZ29	Piézomètre	Janvier 1993-Novembre 2010	Janvier 1993-Septembre 2010
PZ66	Piézomètre	Janvier 1993-Novembre 2010	Janvier 1993-Décembre 2003
PZ81	Piézomètre	Mai 2002-Novembre 2010	-
ES27	Puits fermier	-	Janvier 1996-Septembre 2003
BRGM 04	Puits fermier	Mesures ponctuelles octobre et novembre 2010	Mai 1994-Mars 2010
BRGM 05	Puits fermier	Mesure ponctuelle novembre 2010	Mai 1994-Mars 2010
BRGM 12	Puits fermier	Mesures ponctuelles octobre et novembre 2010	Mai 1994-Mars 2010
ES25	Source	-	Mai 1994-Mars 2010
ES26	Source	-	Mai 1994-Mars 2010
BRGM 13	Source	-	Mai 1994-Mars 2010
BRGM 14	Source	-	Mai 1994-Mars 2010
MMT B	Source	-	Avril 2003-Août 2010
MMT DIG	Eau de site	-	Décembre 1995-Avril 2010
MMT 1	Eau de site	-	Décembre 1995-Septembre 2010
MMT 1 bis	Eau de site	-	Décembre 1995-Août 2010

I.3.2.2 Analyse des variations piézométriques

Le suivi du niveau de nappe consiste en des relevés dans quatre piézomètres, ES28, PZ29, PZ81 et PZ66, réalisés à une fréquence mensuelle sur la période allant de janvier 1993 à mars 2003, puis trimestrielle de mars 2003 à aujourd'hui, excepté ES28 pour cette dernière période. Deux campagnes de mesures ont été menées par BURGEAP-NUDEC en octobre 2010 et novembre 2010 et ont permis des relevés supplémentaires sur les ouvrages PZ29, PZ81, PZ66, BRGM 04, BRGM 05 et BRGM 12 (Annexe 3).

Les coupes des piézomètres ES28 et PZ29 montrent que ceux-ci ne sont pas cimentés au niveau de la nappe altérite. Le niveau d'eau qu'ils indiquent est donc un niveau moyen entre les eaux contenues dans les arènes granitiques et la nappe située dans le socle.

Le Tableau 13 résume les niveaux minimum et maximum pour les ouvrages ES28, PZ29, PZ66 et PZ81, ainsi que leurs caractéristiques lorsque celles-ci étaient disponibles.