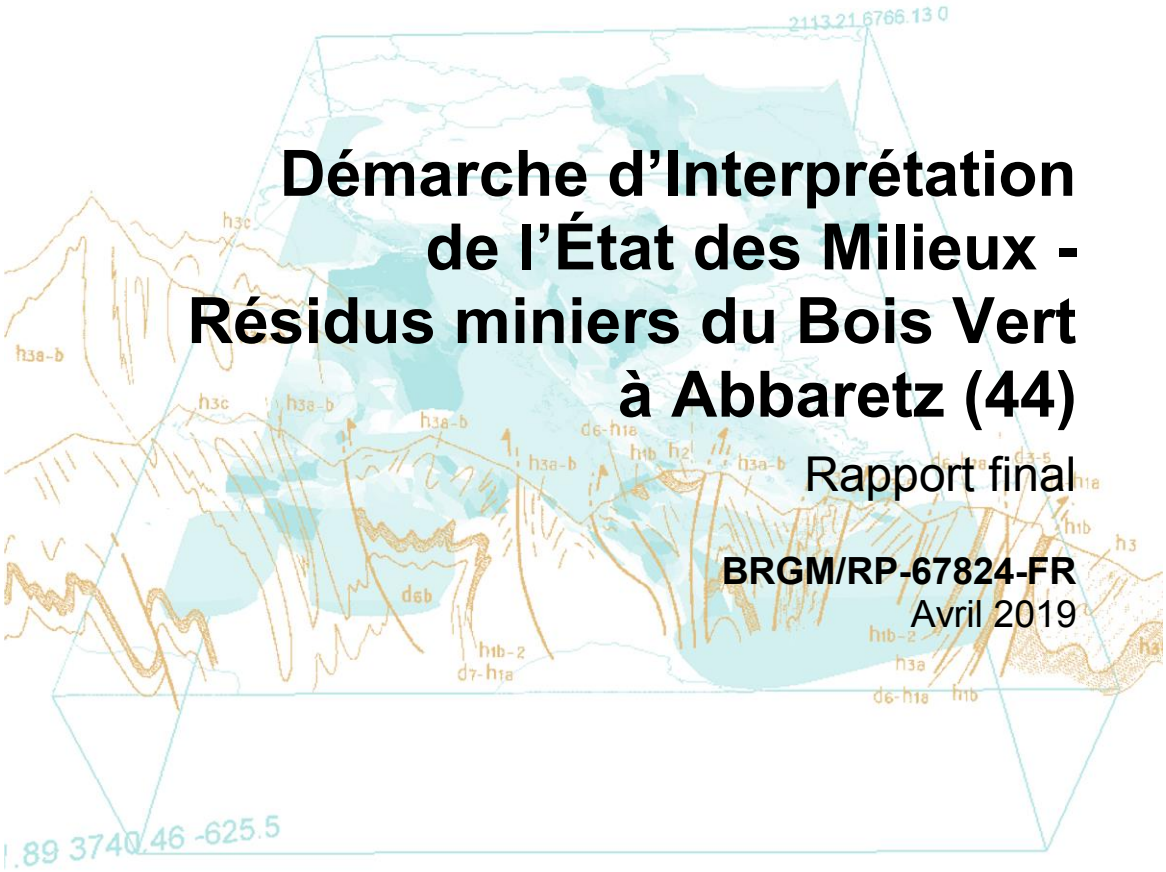
Document à accès réservé



Démarche d'Interprétation de l'État des Milieux - Résidus miniers du Bois Vert à Abbaretz (44)

Rapport final

BRGM/RP-67824-FR

Avril 2019

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès réservé

Démarche d'Interprétation de l'État des Milieux - Résidus miniers du Bois Vert à Abbaretz (44)

Rapport final

BRGM/RP-67824-FR
Avril 2019

I. Girardeau et A. Coftier

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : Louis De Lary De Latour	Nom : Philippe Sabourault
Fonction : Ingénieur Environnement	Fonction : Directeur UTAM CO
Date : 30/04/2019	Date : 30/04/2019
Signature :	Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Avertissement

*Ce rapport est adressé en communication exclusive à la **DREAL des Pays-de-la-Loire** en deux exemplaires papiers et un CD Rom.*

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

Le BRGM ne saurait être tenu responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait, et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Mots-clés : IEM, Abbaretz, Résidus miniers, Étain, Arsenic, Mine.

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

Girardeau I., Coftier A. (2019) – Démarche d'Interprétation de l'État des Milieux - Résidus miniers du Bois Vert à Abbaretz (44). Rapport final. BRGM/RP-67824-FR, 237 p., 90 ill., 9 ann.

© BRGM, 2019, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le gisement d'étain de la région d'Abbaretz (44) a fait l'objet d'une exploitation minière jusqu'en 1957. Le site du Bois Vert situé sur la concession minière d'Abbaretz (44) présente deux terrils de stériles et résidus miniers issus de l'exploitation à ciel ouvert de la mine. Ce site, de par sa topographie insolite, est largement fréquenté que ce soit par la population locale ou une population plus élargie (régionale, voire nationale) pour de nombreux usages (promenade, randonnées, jogging, VTT, BMX, courses d'orientation, équitation, etc.).

L'objectif de la présente étude est de mener une démarche d'Interprétation de l'État des Milieux (IEM) conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. Cette démarche consiste à s'assurer que l'état des milieux est compatible avec les usages constatés. Cette étude a été commandée par la DREAL Pays-de-la-Loire.

L'étude historique et documentaire menée a mis en évidence un certain nombre de sources potentielles de pollution issues notamment des anciennes installations de traitement de minerai et des dépôts de stériles et résidus miniers.

L'étude de vulnérabilité réalisée a mis en évidence un certain nombre d'usages des milieux au droit et autour du site. Les usages, les milieux et voies d'exposition potentielles identifiés dans le schéma conceptuel préliminaire sont les suivants :

Localisation	Milieux d'exposition	Voies d'exposition	Usages
Sur site	Sols superficiels	Ingestion de sols et de poussières Inhalation de poussières	Randonnée, promenade, pique-nique, jogging, VTT, équitation, BMX
Hors site	Eaux souterraines	Ingestion d'eau	Domestique (dont sanitaire), agricole (abreuvement)

Une synthèse des données existantes et des investigations complémentaires sur les milieux sols superficiels et eaux souterraines ont été menées.

Les analyses réalisées sur les puits recensés autour du site ont mis en évidence une incompatibilité pour certains puits et pour certains usages (sanitaire et abreuvage). Le détail des ouvrages et usages concernés est précisé en conclusion du présent rapport.

Concernant les sols superficiels, les analyses réalisées ont démontré que le site présentait des teneurs en Al, As, B, Be et Sn supérieures au fond pédo-géochimique local. En l'absence de valeurs réglementaires sur le milieu sol, des calculs de risques sanitaires en tenant compte de la bioaccessibilité ont été réalisés. Ces calculs ont démontré une incompatibilité pour certains usages au droit de certaines zones du site (le détail des zones et usages est précisé en conclusion du présent rapport).

Les résultats de l'étude ayant démontré des incompatibilités par rapport aux usages recensés, il est recommandé de mettre en œuvre des **mesures de gestion immédiates** dans l'attente d'un éventuel plan de gestion. Ces mesures immédiates concernent notamment :

- l'information des utilisateurs d'eau souterraine non compatible et les restrictions d'usage qui s'y rapportent ;
- l'information des usagers du site (par exemple par réunion publique, bulletin municipal, etc.) et la pose de panneaux d'information au droit des terrils pour limiter l'accès du public aux zones concernées.

Des recommandations, en terme de mesures de gestion à moyen et long terme ont été formulées pour chaque milieu, notamment :

- pour le milieu eaux souterraines : restrictions d'usage pour les puits à usage non compatible, surveillance des puits à usage sensible, mise en place d'un mécanisme de conservation de la mémoire pour garantir la pérennité de la compatibilité des usages avec la qualité du milieu, réalisation d'une étude complémentaire sur l'hydrogéologie du secteur ;
- pour le milieu sols superficiels : interdiction de l'accès du public sur certaines zones, aménagements pour garantir la pérennité de la compatibilité des usages sur d'autres zones, mise en place d'un mécanisme de conservation de la mémoire pour garantir la pérennité de la compatibilité des usages avec la qualité du milieu, réalisation d'investigations complémentaires au droit des anciennes installations de traitement du minerai.

Il est proposé de réaliser un plan de gestion afin qu'un bilan coûts-avantages des options de gestion possibles à moyen terme soit mené avant mise en œuvre.

Conformément à l'instruction n° DGS/EA1/DGPR/DGAL/2017/145 du 27 avril 2017, le rapport a fait l'objet d'une validation par les autorités compétentes (DREAL et ARS notamment). Le présent rapport en version finale prend en compte les remarques et avis de ces autorités.

Sommaire

1. Introduction 11
1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE 11
1.2. MÉTHODOLOGIE 11
2. Localisation et identification de la zone d'étude 13
3. Historique minier du site 17
3.1. EXPLOITATION MINIÈRE 17
3.2. INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DE MINERAI 18
3.2.1. Procédé de traitement 19
3.2.2. Implantation des installations et bâtiments connexes 24
3.3. PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES 33
3.4. PLAN DE RECOLLEMENT 46
4. Étude de vulnérabilité 49
4.1. GÉOLOGIE ET GITOLOGIE 49
4.1.1. Géologie 49
4.1.2. Gitologie 49
4.2. HYDROGÉOLOGIE 52
4.3. HYDROGRAPHIE 52
4.4. RECENSEMENT DES USAGES 53
4.4.1. Usage des sols 53
4.4.2. Usage des eaux souterraines 59
4.4.3. Usage des eaux superficielles 63
4.5. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE RÉFÉRENTIELS LOCAUX DISPONIBLES (FOND GÉOCHIMIQUE) 63
4.5.1. Sols 63
4.5.2. Eaux souterraines 67
5. Sources de pollution et vecteurs de transfert 69
5.1. SOURCES (POTENTIELLES) DE POLLUTION ET POLLUANTS ASSOCIÉS 69
5.2. VECTEURS DE TRANSFERT 70
6. Schéma conceptuel initial 71
7. Synthèse des données existantes sur la qualité des milieux 73
7.1. SOLS SUPERFICIELS 73
7.2. EAUX SOUTERRAINES 76
8. Investigations complémentaires 79
8.1. EAUX SOUTERRAINES 79
8.1.1. Méthodologie 79
8.1.2. Résultats 80
8.2. SOLS SUPERFICIELS 87

8.2.1. Méthodologie 87
8.2.2. Résultats 91
9. Interprétation de l'État des Milieux 99
9.1. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE 99
9.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS POUR LES EAUX SOUTERRAINES 100
9.2.1. Comparaison aux valeurs de référence 100
9.2.2. Conclusions et recommandations sur la compatibilité du milieu avec ses usages recensés 101
9.3. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS POUR LES SOLS SUPERFICIELS 102
9.3.1. Rappel du schéma conceptuel et définition des scénarios d'exposition 102
9.3.2. Hypothèses de l'évaluation des risques sanitaires 106
9.3.3. Résultats de l'évaluation des risques sanitaires 124
10. Conclusions et recommandations 135
10.1. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS SUR LE MILIEU EAUX SOUTERRAINES 135
10.2. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS SUR LE MILIEU SOLS SUPERFICIELS 137
10.3. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES 138
11. Bibliographie 139

Liste des illustrations

Illustration 1 - Démarche d'Interprétation de l'État des Milieux (DGPR, B3S, Avril 2017) 12
Illustration 2 - Plan de localisation de la concession d'Abbaretz et des sites d'exploitation et d'exploration (source : Cottard, 2010) 13
Illustration 3 - Définition du périmètre de la zone d'étude 14
Illustration 4 - Vue aérienne des terrils d'Abbaretz 15
Illustration 5 - Photographies du phénomène de DMA sur le site du Bois Vert – Abbaretz 16
Illustration 6 - Projet de déviation de la route de Nozay (source : Archives Départementales, cote 75W503) 18
Illustration 7 - Usine de débourbage (source : Archives Départementales 44, cote 414W39) 19
Illustration 8 - Étape de concassage (source : Archives Départementales 44, cote 414W39) 20
Illustration 9 - Laverie et atelier des tables (source : Archives Départementales 44, cote 414W39) 21
Illustration 10 - Flowsheet schématique de la laverie d'Abbaretz au 15/04/1955 (source : Archives départementales 44, cote 414W39) 22
Illustration 11 - Projet de flowsheet de la laverie du 21/09/1955 23
Illustration 12 - Extrait du rapport de l'ingénieur des mines du 17/08/1955 (source : archives départementales 44, cote 2254 W 130) 24
Illustration 13 - Plans des installations de la SNMO du 31/10/1951 mis à jour le 02/01/1953 (source : Archives départementales 44, cote 414W39) 25
Illustration 14 - Vue aérienne des installations du site du Bois Vert à Abbaretz (date inconnue, source : http://dpsm.brgm.fr/Pages/zoom-sur-un-site-minier-02-2014.aspx) 26

Illustration 15 - Plans des installations de la SNMO du 31/10/1951 mis à jour le 01/02/1956 - 1/2 (source : Archives Départementales 44, cote 414W39) 27
Illustration 16 - Plans des installations de la SNMO du 31/10/1951 mis à jour le 01/02/1956 - 2/2 (source : Archives Départementales 44, cote 414W39) 28
Illustration 17 - Implantation des installations et bâtiments de la laverie entre 1951 et 1956 (source : Archives Départementales 44, cote 414W39) 29
Illustration 18 - Usine de traitement de minerai du Bois Vert à Abbaretz (date inconnue, source : http://stjoabbaretz.free.fr/mine.htm) 30
Illustration 19 - Vue d'ensemble des bâtiments post-exploitation (source : Archives Départementales 44, cote 13Fi) 30
Illustration 20 - Vue d'ensemble de la mine post-exploitation (source : Archives Départementales 44, cote 13Fi) 31
Illustration 21 - Localisation du bâtiment du transformateur démantelé en 2011 au nord du site du Bois Vert sur le plan des installations de la SNMO du 31/10/1951 (source : Archives Départementales 44, cote 414W39) 32
Illustration 22 - Reportage photographique des travaux réalisés en octobre 2011 au nord du site du Bois Vert (source : rapport BRGM RP-60441-FR) 33
Illustration 23 - Photographie aérienne du site en 1948 34
Illustration 24 - Photographie aérienne du site en 1952 35
Illustration 25 - Photographie aérienne du site en 1961 36
Illustration 26 - Photographie aérienne du site en 1965 37
Illustration 27 - Photographie aérienne du site en 1966 38
Illustration 28 - Photographie aérienne du site en 1974 39
Illustration 29 - Photographie aérienne du site en 1985 40
Illustration 30 - Photographie aérienne du site en 1991 41
Illustration 31 - Photographie aérienne du site en 1993 42
Illustration 32 - Phototgrahie aérienne du site en 2004 43
Illustration 33 - Photographie aérienne du site en 2009 44
Illustration 34 - Photographie aérienne du site en 2012 45
Illustration 35 - Plan de recollement des anciennes installations de traitement de minerai (1952) sur orthophotographie actuelle 46
Illustration 36 - Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de la feuille de Nozay 51
Illustration 37 - Réseau hydrographique de la région d'Abbaretz (source : Cottard, 2010) 53
Illustration 38 - Présentation des « infrastructures » présentes pour les différents usages du site 55
Illustration 39 - Photographies des différents usages recensés au droit du site 56
Illustration 40 - Carte des usages recensés aux alentours du site 58
Illustration 41 - Localisation des puits recensés aux alentours du site du Bois Vert 60
Illustration 42 - Récapitulatif des usages recensés sur les puits de particuliers autour du site 61
Illustration 43 - Photographies des puits recensés aux alentours du site 63
Illustration 44 - Localisation des mesures à fluorescence X portable acquises en 2009 sur le site du Bois Vert et utilisées pour le calcul du fond géochimique local 65
Illustration 45 - Localisation des échantillons de sols « témoins » prélevés en 2009 66
Illustration 46 - Fonds pédo-géochimiques de la zone d'étude 67
Illustration 47 - Schéma conceptuel préliminaire 71

Illustration 48 - Localisation des prélèvements de sols réalisés par ANTEA en 2002 73
Illustration 49 - Résultats des analyses réalisées par Antea en 2002 sur le site du Bois Vert 74
Illustration 50 - Localisation des échantillons analysés par le BRGM en 2009.....74
Illustration 51 - Résultats des analyses réalisées par le BRGM en 2009 sur le site du Bois Vert 75
Illustration 52 - Comparaison des données moyennes issues des études précédentes au fond pédo-géochimique local 76
Illustration 53 - Résultats des analyses d'eau souterraine réalisées lors des études précédentes 77
Illustration 54 - Sélection des puits prélevés 79
Illustration 55 - Résultats des analyses dans les eaux souterraines.....81
Illustration 56 - Cartographies des concentrations dans les eaux souterraines des puits échantillonnés 84
Illustration 57 - Diagramme de Piper réalisé sur les eaux souterraines prélevées 85
Illustration 58 - Diagramme de schöeller-Berkaloff réalisé sur les eaux souterraines prélevées 86
Illustration 59 - Localisation des mesures à fluorescence X portable (pXRF) 88
Illustration 60 - Localisation des prélèvements pour analyses au laboratoire.....89
Illustration 61 - Localisation des prélèvements réalisés pour la caractérisation des matériaux 91
Illustration 62 - Distribution granulométrique des échantillons de stériles et résidus 92
Illustration 63 - Résultats des analyses en laboratoire sur la fraction < 2 mm.....93
Illustration 64 - Résultats des analyses en laboratoire sur la fraction < 250 µm.....93
Illustration 65 - Corrélation des mesures à fluorescence X portable avec les analyses de laboratoire.94
Illustration 66 - Comparaison des résultats 2016 avec les analyses précédentes et le fond pédo-géochimique de la zone d'étude 95
Illustration 67 - Répartition des teneurs en arsenic mesurées par pXRF au droit du site.....96
Illustration 68 - Distribution des teneurs en arsenic 96
Illustration 69 - Résultats de bioaccessibilité absolue, gastrique et gastro-intestinale, de l'arsenic dans les 10 échantillons de résidus et de stériles testés (valeur = moyenne des 2 réplicats, barre d'erreur = minimum et maximum des 2 réplicats).....98
Illustration 70 - Critères d'interprétation des résultats des calculs de risques effectués sans additivité dans le cadre de l'IEM (DGPR, 2017) 99
Illustration 71 - Comparaison des résultats sur les eaux souterraines aux valeurs de référence disponibles 100
Illustration 72 - Définition des zones, usages et voies d'exposition considérés pour l'évaluation des risques sanitaires 102
Illustration 73 - Délimitation des zones 1 et pique-nique et localisation des mesures sélectionnées pour ces scénarios.....103
Illustration 74 - Délimitation de la zone 2 et localisation des mesures sélectionnées pour ce scénario 103
Illustration 75 - Délimitation de la zone 3 et localisation des mesures sélectionnées pour ce scénario 104
Illustration 76 - Délimitation de la zone 4 et localisation des mesures sélectionnées pour ce scénario 104
Illustration 75 - Scénarios d'exposition considérés pour l'évaluation des risques sanitaires 105
Illustration 76 - Teneurs en ETM retenues dans les matériaux de surface.....107

Illustration 77 - Synthèse des valeurs retenues pour le paramètre « masse de terre ingérée par jour » en fonction des différents scénarios d'exposition 109
Illustration 78 - Synthèse des valeurs retenues pour le paramètre « Nombre de jours de fréquentation du site » en fonction des différents scénarios d'exposition 112
Illustration 79 - Synthèse des valeurs retenues pour le paramètre « masse corporelle » en fonction des différents scénarios d'exposition 114
Illustration 80 - Nombre d'années d'exposition des cibles retenu 115
Illustration 81 - Identification du potentiel dangereux des substances retenues 116
Illustration 82 - Valeurs toxicologiques retenues pour la voie orale (valeurs au 16/11/2017) 119
Illustration 83 - Niveaux de risques pour chaque scénario d'exposition calculés sans additivité 125
Illustration 84 - Niveaux de risques pour chaque scénario d'exposition calculés avec additivité 127
Illustration 85 - Valeurs toxicologiques retenues pour la voie respiratoire (valeurs au 16/11/2017) 129
Illustration 86 - Niveaux de risques calculés avec additivité en tenant compte de l'exposition par inhalation de poussières telluriques des cibles pratiquant les activités de « promenade, randonnée, jogging » sur la zone 1 130
Illustration 87 - Niveaux de risques calculés avec additivité en tenant compte de l'exposition par inhalation de poussières telluriques des cibles pratiquant les activités de « prise de repas / jeux d'enfants » au niveau de l'aire de pique-nique 130
Illustration 88 - Milieux, voies d'exposition et usages recensés au droit de la zone d'étude dans le schéma conceptuel préliminaire 135
Illustration 89 - Mesures de gestion proposées sur les puits de particuliers recensés autour du site 136
Illustration 90 - Mesures de gestion proposées au droit des dépôts de stériles et résidus 137

Liste des annexes

Annexe 1 - Liste des documents consultés aux Archives Départementales 44 141
Annexe 2 - Réponse de l'Agence Régionale de Santé (ARS) Pays de la Loire sur les captages AEP 145
Annexe 3 - Bulletins d'analyses eaux souterraines 149
Annexe 4 - Protocole de mesure de la bioaccessibilité 151
Annexe 5 - Bulletins d'analyses sols 171
Annexe 6 - Tableau de résultats des mesures à fluorescence X portable 173
Annexe 7 - Tableaux des valeurs à fluorescence X portable retenues pour chaque zone d'usage identifiée 225
Annexe 8 - Modélisation des émissions de poussières 231
Annexe 9 - Courrier de l'ARS - Avis sur l'étude d'IEM sur le site du Bois Vert à Abbaretz 235

1. Introduction

1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Le gisement d'étain de la région d'Abbaretz (44) a fait l'objet d'une exploitation jusqu'en 1957. Le site du Bois Vert situé sur la concession minière d'Abbaretz présente deux terrils de stériles et résidus miniers issus de l'exploitation à ciel ouvert de la mine.

Dans le cadre du projet d'aménagement du site, le bureau d'études ANTEA a réalisé en 2006 pour le compte de l'*association pour le développement touristique du pays de Châteaubriant*, une évaluation des risques sanitaires au regard des usages envisagés et réalisés à l'époque (Antéa, 2006).

Depuis 2006, un certain nombre d'études a été mené sur le site (de 2008 à 2010, cf. § 11), mettant notamment en évidence la présence d'un drainage minier acide au pied des terrils. Le plan de gestion pour la maîtrise de ce drainage acide a été élaboré par le BRGM/DPSM et remis à la DREAL en 2015 (Hoang, 2015). Les travaux pour sa mise en œuvre ont débuté courant 2017.

Lors de visites de terrain, il a été mis en évidence une évolution des usages du site depuis 2006 ne correspondant plus aux scénarios étudiés à l'époque. Par ailleurs, des incertitudes subsistaient concernant le transfert potentiel de pollution via les eaux souterraines, cette voie de transfert ayant été très peu étudiée précédemment.

La DREAL a demandé au BRGM/DPSM le 9 septembre 2015, en accord avec GEODERIS, de réaliser une Interprétation de l'État des Milieux prenant en compte les usages actuels constatés en parallèle de la mise en œuvre du plan de gestion du drainage minier acide.

Un certain nombre d'études ayant déjà été menées sur le site, cette démarche a été réalisée à partir des données existantes, et par l'acquisition de données complémentaires en tant que de besoin.

1.2. MÉTHODOLOGIE

La démarche adoptée dans cette étude s'appuie sur la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués mise à jour en avril 2017 par la Direction Générale de Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES) (http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Methodo_SSP_2017.pdf).

La démarche d'Interprétation de l'État des Milieux (IEM) consiste à **s'assurer que l'état des milieux est compatible avec des usages déjà fixés**, c'est-à-dire les usages constatés. Cette démarche a pour objectif de distinguer, lorsque les usages sont fixés :

- **les milieux (d'exposition) qui ne nécessitent aucune action particulière**, c'est-à-dire ceux qui permettent une libre jouissance des usages constatés sans exposer les populations à des niveaux de risques excessifs ;
- **les milieux (d'exposition) qui peuvent faire l'objet d'actions simples de gestion** pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux d'exposition et les usages constatés ;
- **les milieux (ou les situations) qui nécessitent la mise en œuvre d'un plan de gestion**.

La mise en œuvre de cette démarche repose sur la constitution du **schéma conceptuel** permettant d'établir un bilan factuel de l'état des milieux en vue d'appréhender les relations entre les sources de pollution, les voies de transfert et les enjeux à protéger. Le processus est progressif, itératif, évolutif tout en étant interactif avec les données acquises et les orientations envisagées. Ainsi, du schéma conceptuel préliminaire construit à l'aide des données initiales, le schéma conceptuel évolue au fur et à mesure de l'acquisition des connaissances.

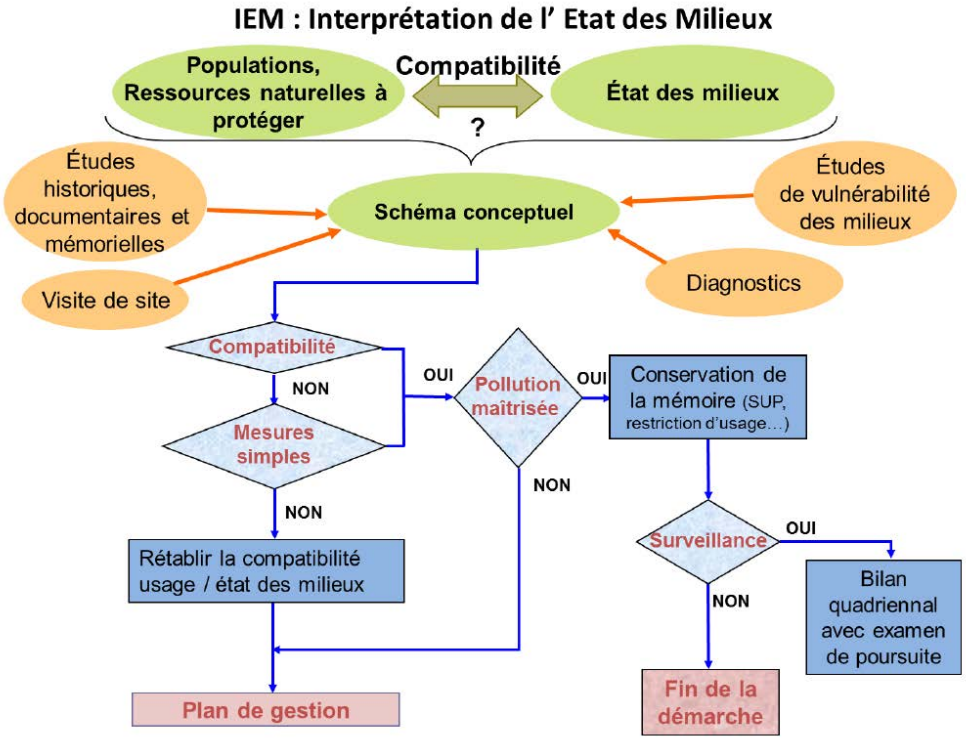


Illustration 1 - Démarche d'Interprétation de l'État des Milieux (DGPR, B3S, Avril 2017).

Les éventuels impacts sur la faune et la flore locales ne sont pas évalués dans la présente étude.

2. Localisation et identification de la zone d'étude

La concession d'Abbaretz est située sur les communes d'Abbaretz et de Nozay, au nord-est du département de la Loire-Atlantique.

La concession, d'une superficie de 934 ha 65 a, a été l'objet de deux sites d'exploitation (le Bé et le Bois Vert) et de deux sites de prospection (Beaulieu et Le Maire).

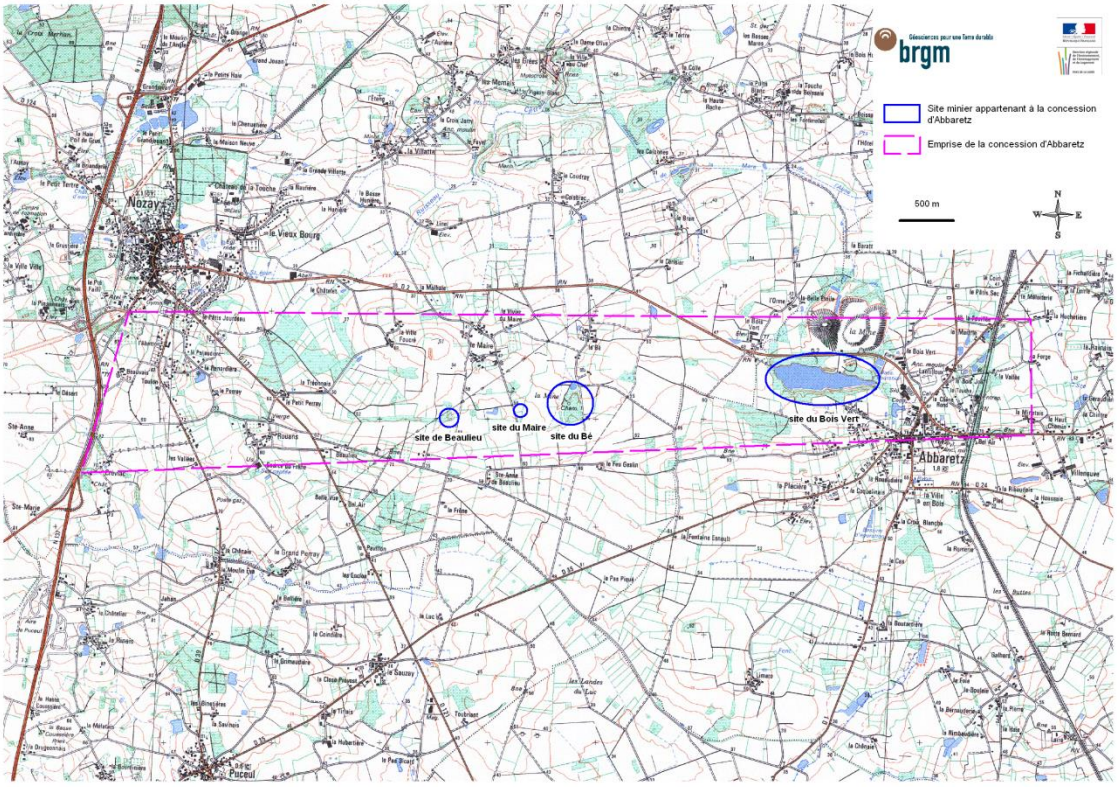


Illustration 2 - Plan de localisation de la concession d'Abbaretz et des sites d'exploitation et d'exploration (source : Cottard, 2010).

Le site d'exploitation du Bois Vert comprend des terrils de résidus et stériles situés au nord de la route départementale RD2 et un lac (ancienne mine à ciel ouvert remplie d'eau) situé au sud de la RD2.

Compte tenu de l'évolution des usages recensés par rapport à l'étude ANTEA de 2006, le périmètre de la présente IEM concerne uniquement le site des terrils de stériles et résidus situé au nord de la route départementale (RD 2). En effet, les usages n'ayant a priori pas évolué au niveau du lac de la mine et ses alentours (sud de la RD2) par rapport à ceux considérés dans l'étude de 2006 (ANTEA, 2006), l'IEM n'a pas concerné cette partie du site (cf. Illustration 3).

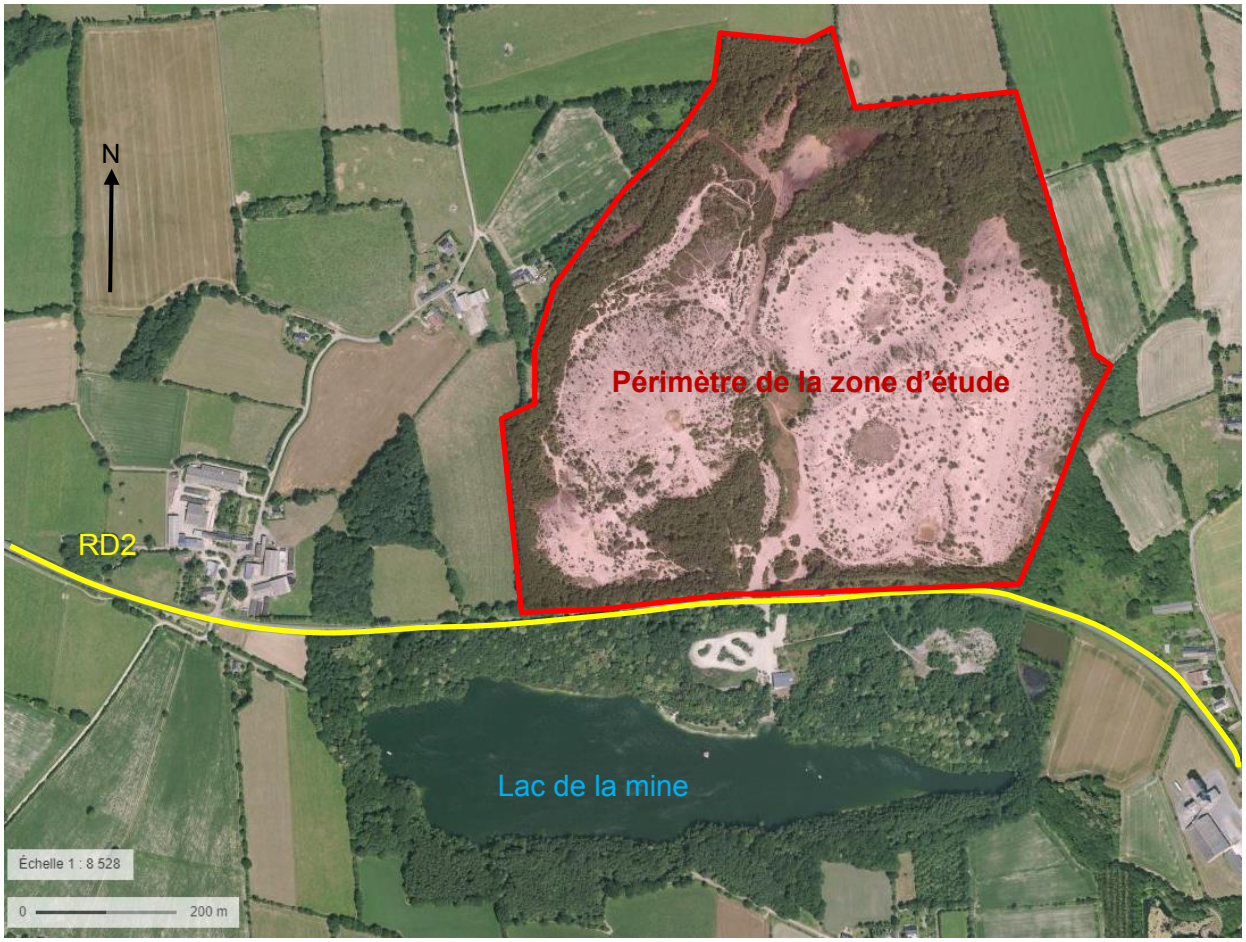


Illustration 3 - Définition du périmètre de la zone d'étude.

Le site d'étude comprend deux terrils miniers :

- un terril dit « conique », d'un volume estimé à 1 970 000 m^3, constitué de stériles de découverture et d'exploitation (matériaux hétérogènes, de nature et de granulométrie variées) ;
- un terril dit « tabulaire » constitué par plusieurs dépôts totalisant environ 1 730 000 m^3 provenant de l'usine de traitement du minerai (matériaux plus homogènes, de granulométrie plus fine).

Illustration 4 - Vue aérienne des terrils d'Abbaretz.

Un drainage minier acide (DMA) est présent sur le site du Bois Vert : les minéraux sulfurés résiduels contenus dans les terrils, au contact de l'air atmosphérique et de l'eau (de pluie), s'oxydent et se dissolvent générant des eaux acides (pH = 3 à 4) chargées en éléments traces métalliques dissous et en sulfates. Ce phénomène peut être résumé par l'équation suivante (exemple de la pyrite FeS_2) :

$$4FeS_2 + 15O_2 + 14H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H_2SO_4$$

Équation 1

Illustration 5 - photographies du phénomène de DMA sur le site du Bois Vert – Abbaretz.

Le plan de gestion pour la maîtrise de ce DMA a été remis à la DREAL en 2015 (Hoang, 2015), et les travaux pour sa mise en œuvre ont débuté en 2017. Le plan de gestion est divisé en plusieurs étapes :

- étape 1 : réalisation d'un état initial et création de fossés de collecte des eaux acides avec un point de rejet unique. Les travaux de cette étape ont été réceptionnés le 30 août 2017. Des panneaux d'information du public pour protéger les ouvrages réalisés (« passage interdit ») ont été mis en place courant 2018 ;
- étape 2 : suivi du site pendant 1 an et conception du système de traitement passif des eaux acides ;
- étape 3 : réalisation des travaux pour la mise en place du système de traitement.

3. Historique minier du site

L'historique minier du site a déjà été détaillé dans les études précédentes, cependant les Archives Départementales de Loire-Atlantique (cf. références des dossiers consultés en Annexe 1) et les photographies aériennes de l'IGN (source : https://www.geoportail.gouv.fr/) ont été consultées afin de le compléter, notamment pour affiner les connaissances sur les installations de traitement du minerai et les dépôts de résidus.

Les paragraphes suivants présentent la synthèse des informations collectées.

3.1. EXPLOITATION MINIÈRE

Le gisement d'étain de la région d'Abbaretz a fait l'objet d'exploitations très anciennes, à l'époque gallo-romaine, dont on retrouve des vestiges selon un axe orienté E-W sur plus de 6 km entre Nozay et Abbaretz.

En 1911, la Société Nantaise des Minerais de l'Ouest (SNMO) entreprend des campagnes de recherche souterraines, notamment sur le site du Bois Vert par le fonçage d'une descenderie dite de la Baronnerie. Le fonçage a été abandonné à 105 m de longueur en raison de la mauvaise tenue des terrains et d'une abondance des venues d'eau.

En 1920, la concession d'Abbaretz est accordée à la SNMO, dans le même temps que celle-ci doit faire face à une chute du cours de l'étain.

En 1942, dans le cadre de nouveaux travaux de recherche, un second puits est foncé sur le site du Bois Vert à 300 m à l'est de la descenderie de la Baronnerie. D'une profondeur de 36 m, le fonçage de ce puits a également été interrompu en raison de la mauvaise tenue des terrains.

En 1951, à la suite d'études démontrant que seule une exploitation à ciel ouvert est viable, l'exploitation du site du Bois Vert démarre. Des travaux préalables de déviation de la route départementale n°2 ont été nécessaires pour l'exploitation. Sur les plans historiques de demande de déviation, il est montré l'emprise prévue de l'exploitation à ciel ouvert ainsi que celle de la future laverie et du futur dépôt de schistes altérés (Illustration 6).

Concernant la stratégie d'exploitation, il est prévu une exploitation par blocs dont une première phase consistera en l'exploitation d'un premier demi-bloc de 550 mètres de long et de 250 mètres de large – dit « demi-bloc ouest » -, là où la minéralisation s'est révélée la plus prometteuse.

À partir d'avril 1955, l'exploitation du deuxième demi-bloc d'environ 300 mètres de long – dit « demi-bloc est » - débute mais ce bloc présente une teneur en cassitérite plus faible avec la présence de produits sulfurés (pyrite et mispickel).

L'exploitation de chaque bloc s'effectuera par gradins de 11 m de haut avec un pendage à 45° et extraction directe à la pelle mécanique grâce à l'altération des schistes, peu résistants. En 1955, la hauteur des gradins sera réduite à 9,5 m et leur pendage à 37° pour assurer la sécurité du site suite à plusieurs éboulements. Par endroits, l'exploitation de la mine à ciel ouvert a nécessité l'utilisation de foreuse pneumatique ou la pratique du minage pour les bans de quartz plus durs.

La mine à ciel ouvert recoupera l'ensemble des anciens travaux de recherche et atteindra des profondeurs allant de 40 à 70 m.

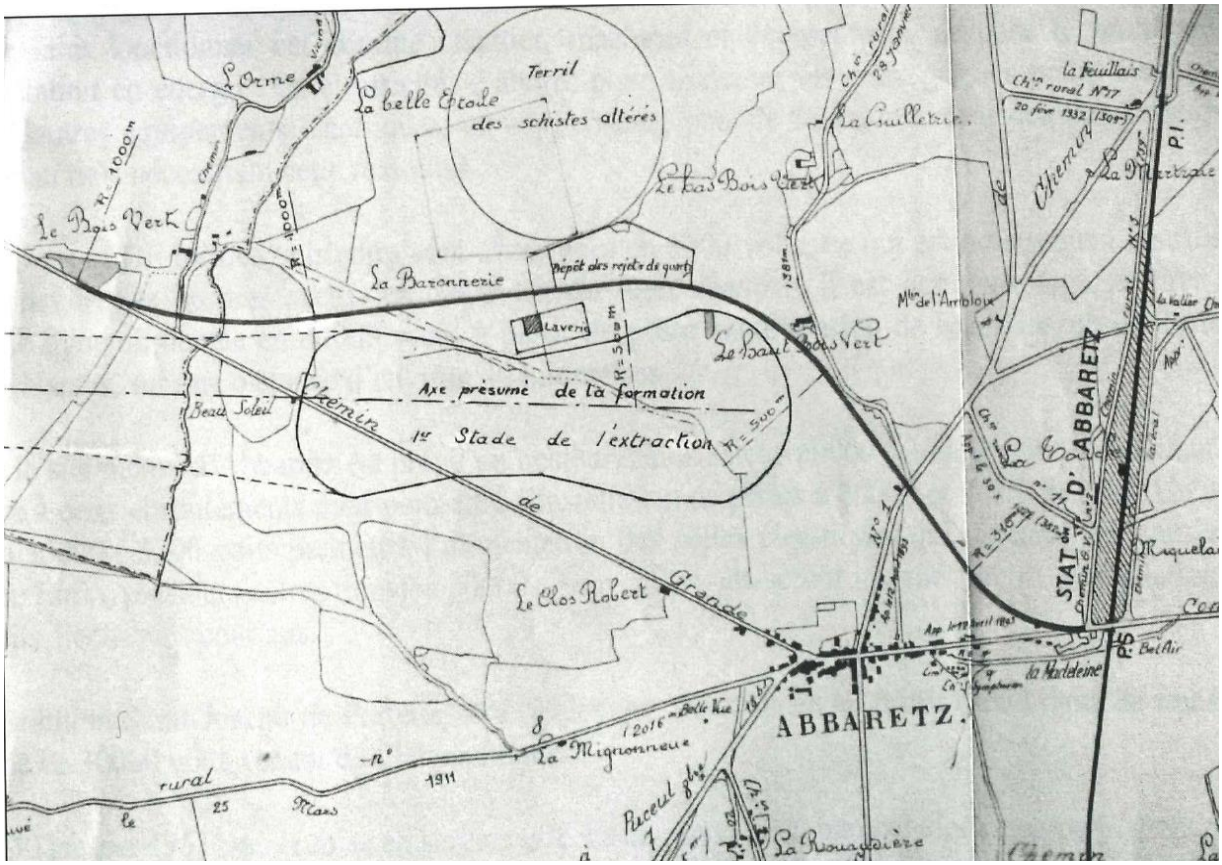


Illustration 6 - Projet de déviation de la route de Nozay (source : Archives Départementales, cote 75W503).

Au printemps 1955 et courant 1956, à la suite de nouveaux sondages prospectifs sur le site de Beaulieu, il est décidé de préparer toutes les installations nécessaires à l'exploitation de ce gisement en prévision de la fin de l'exploitation du gisement du Bois Vert.

Cependant en 1957, la SNMO, déjà fortement endettée et à court de liquidité, se voit refuser une nouvelle avance par ses actionnaires, ce qui va précipiter l'arrêt de l'exploitation de la mine.

A contrario, en juillet de cette même année 1957, le Conseil des Ministres accorde à la SNMO la prolongation pour une durée illimitée de la concession d'Abbaretz.

L'exploitation prendra fin en novembre 1957 après avoir extrait près de 4 millions de m^3 de matériaux dont 1 750 000 m^3 de stériles et 2 millions de m^3 de minerai à partir duquel auront été produites 3750 tonnes de concentrés de cassitérite (minerai d'étain). L'exploitation du site de Beaulieu n'a jamais vu le jour.

Quarante ans plus tard, le 27 janvier 1997, la SNMO dépose un dossier de renonciation à la concession valant également Déclaration d'Arrêt Définitif des Travaux (DADT). La société est dissoute le 11 mars 2004, suite au décès de son dernier actionnaire, et l'État hérite de la concession devenue orpheline.

3.2. INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DE MINERAI

Les éléments de ce chapitre proviennent principalement de l'ouvrage de D. Braud sur la mine d'Abbaretz (Braud, 2013) ainsi que des éléments retrouvés aux Archives Départementales de Loire-Atlantique (44).

3.2.1. Procédé de traitement

Les différentes étapes du traitement sont les suivantes :

- ***le convoyage du minerai et du stérile*** : Les blocs de minerai défruités sont déversés à la pelle mécanique dans une trémie mobile dotée d'une grille. Si les blocs sont trop gros, ils sont débités à la masse par les mineurs. Passé à travers la cribleuse, le minerai est alors envoyé par tapis roulant à un convoyeur par bandes transporteuses. Un premier jeu de courroies transporteuses conduit les roches de recouvrement ou les schistes peu minéralisés au terril (conique) de l'autre côté de la route. Un second jeu de courroies emmène le minerai à l'usine de débourbage.
- ***l'usine de débourbage :*** Le minerai stannifère qui arrive au débourbage subit d'abord un criblage, tri puis concassage. Il est ensuite lavé à l'eau dans de grandes cuves munies de pâles (log washer) pour le séparer de l'argile. Un dernier tri manuel est réalisé pour éliminer les morceaux de schistes qui n'ont pas été délités.

  Cette étape permet ainsi de séparer les deux constituants essentiels des schistes minéralisés :
- d'une part, un minerai sableux et rocheux égoutté, contenant le quartz et les minéraux lourds, qui est ensuite acheminé vers l'usine de concassage ;
- d'autre part, les argiles, les micas et les schistes, qui sont réduits en éléments assez fins (de dimension inférieure au millimètre) et sont entraînés par l'eau de lavage sous forme de pulpe et évacués dans de grands bassins de décantation.

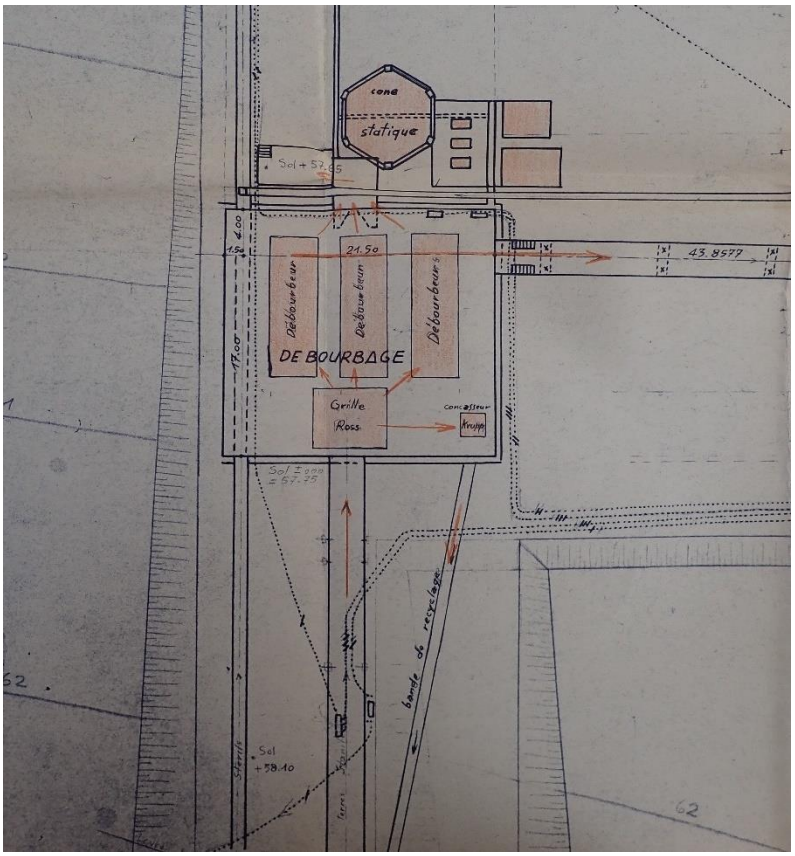


Illustration 7 - Usine de débourbage (source : Archives Départementales 44, cote 414W39)

- l'usine de concassage : Les quartz provenant de l'usine de débourbage sont ensuite triés, broyés et concassés à 4 cm puis 1 cm avant d'être envoyés à l'étape de concentration.

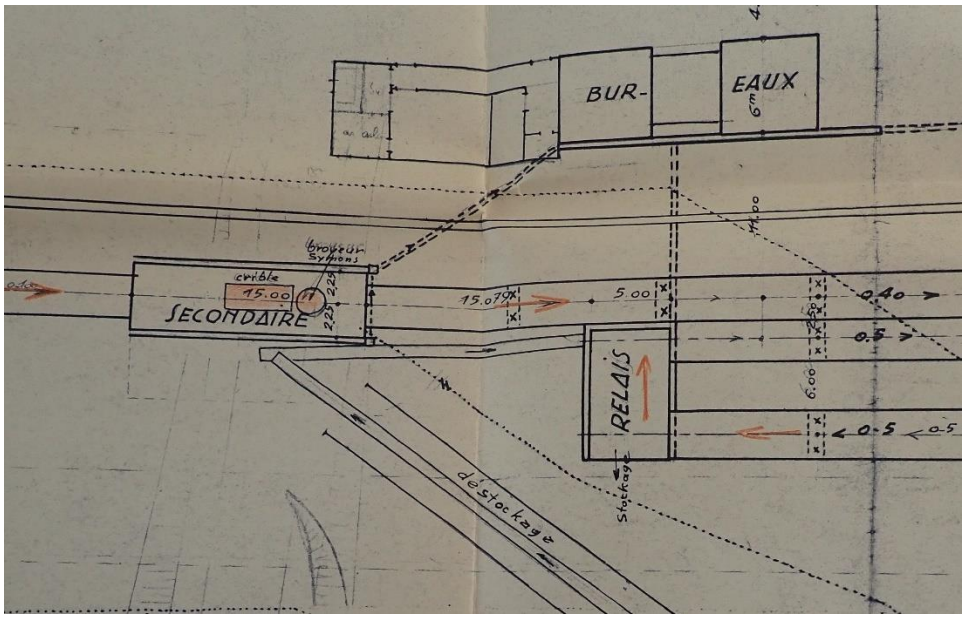


Illustration 8 - Étape de concassage (source : Archives Départementales 44, cote 414W39).

- l'équipement de concentration : Les minerais sortant du concassage passent d'abord sur des cribles qui permettent de séparer les différentes granulométries :
  - la fraction la plus grosse (> 6 mm) passe dans un broyeur avant de repasser aux cribles,
  - la fraction moyenne (2,8-6 mm) tombe alors dans deux bacs à piston (Harz-jigs) qui fournissent trois produits en sortie :
    - les concentrés,
    - les tailings (ou résidus),
    - les produits mixtes qui sont criblés, broyés et passés dans quatre bacs à piston (jigs Denver) ;
  - La fraction fine (0-2,8 mm) qui passe également dans quatre bacs à piston à lits filtrants (jigs Denver).

    Les tailings produits à cette étape sont directement convoyés par courroie transporteuse sur les aires de décantation au nord de la route, au pied du terril. Les minerais fins et les concentrés sont alors envoyés sous forme de pulpe mélangée à l'eau d'entrainement vers le bâtiment des tables.
- le bâtiment des tables : La pulpe arrivant dans ce bâtiment étant trop diluée, passe tout d'abord dans un cyclone. Une fois épaissie, elle est envoyée sur des tables vibrantes sur lesquelles s'effectue la concentration définitive. Les produits finis sont alors nettoyés dans des rhéolaveurs (couloir de lavage gravimétrique), triés ensuite à la main et ensachés dans des sacs de 25 kg pour expédition vers le site de fusion.

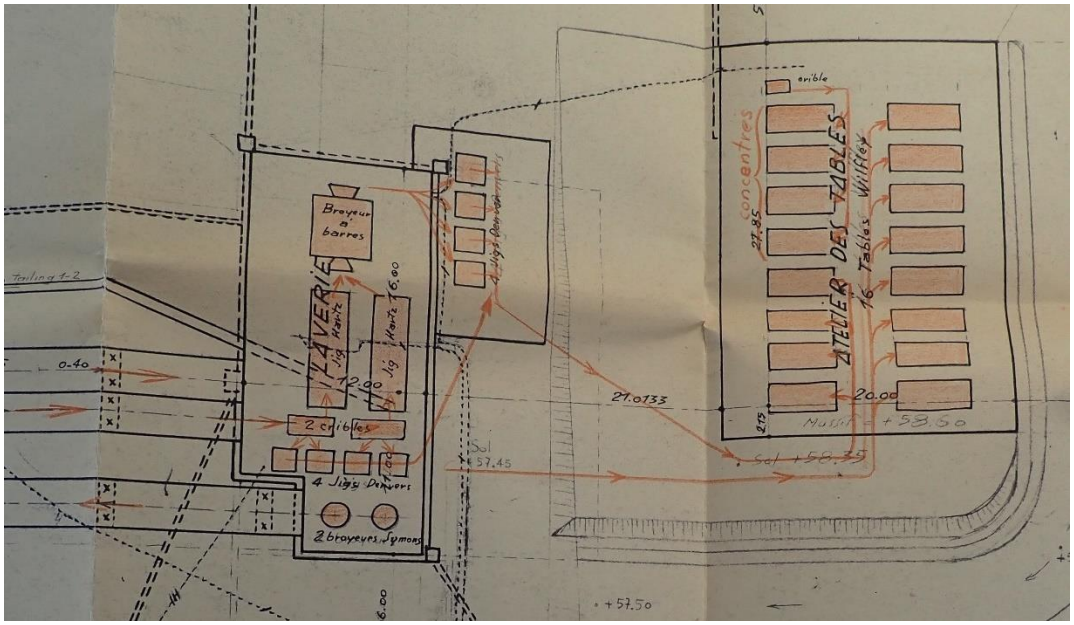


Illustration 9 - Laverie et atelier des tables (source : Archives Départementales 44, cote 414W39).

- la gestion des eaux : Ce procédé était très gourmand en eau (300 à 350 m^3/h). Pour ce faire, l'usine avait son propre captage d'eau venant de Nort-sur-Erdre. Par ailleurs, la pulpe issue du débourbage était envoyée par une pompe sur les aires de décantation au pied du terril. Le mélange passait dans des cyclones qui permettait d'évacuer les boues dans les aires de décantation et de récupérer l'eau envoyée alors par siphonage dans des rigoles qui alimentait un grand bassin près de la ferme de la Belle Étoile, derrière le terril. L'eau était alors reprise dans ce réservoir par des pompes à destination de l'atelier de débourbage pour la faire rentrer de nouveau dans le circuit d'exploitation.

Le flowsheet de la laverie est présenté sur l'illustration suivante (Illustration 10).

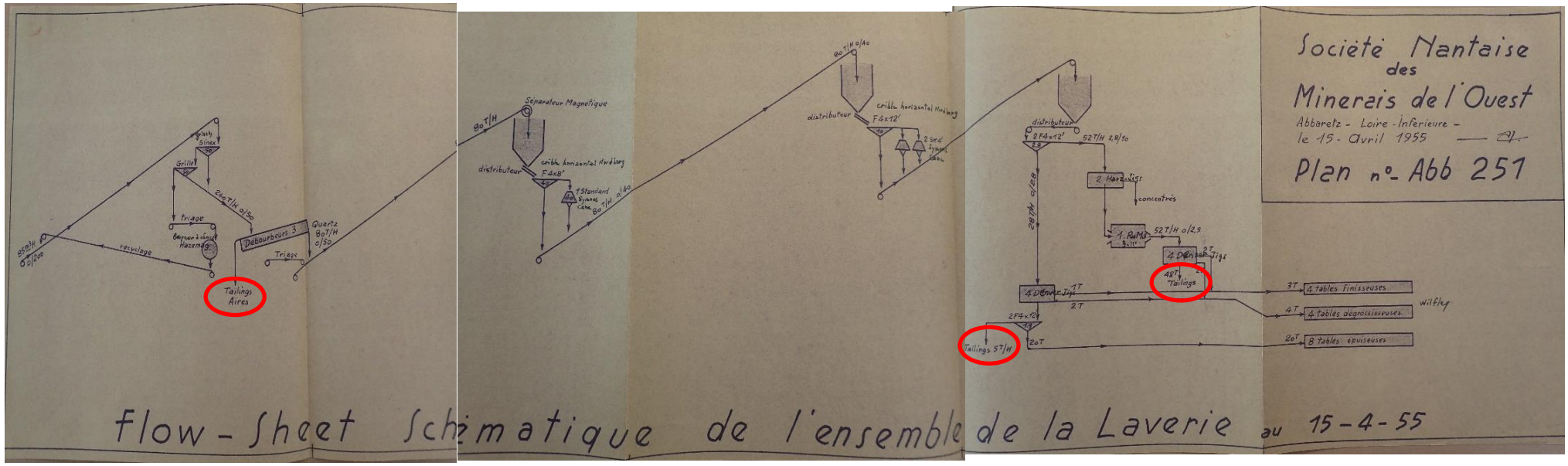


Illustration 10 - Flowsheet schématique de la laverie d'Abbaretz au 15/04/1955 (source : Archives départementales 44, cote 414W39).

Ainsi, d'après ce schéma de fonctionnement, plusieurs types de produits étaient envoyés sur le site de stockage au nord de la route :

- les stériles et roches de découvrement envoyés par courroies transporteuses pour former le terril conique ;
- les pulpes de débourbage contenant de l'eau et la gangue du minerai qui sont envoyées dans des aires de décantation ;
- les tailings issus de l'étape de concentration qui sont également envoyées sous forme liquide dans les aires de décantation.

Il est à noter qu'il n'est pas fait mention de tailings issus des tables vibrantes sur ce schéma. En effet, l'étape de concentration ne conduit, d'après ce schéma, qu'à une production de tailings de l'ordre de 53t/h.

Cependant, deux sources indiquent la production de taillings au niveau des tables vibrantes :

- l'ouvrage de D. Braud (Braud, 2013 p 76) ;
- le projet de flowsheet de la SNMO pour augmenter le débit de la laverie, envoyé à l'ingénieur des mines le 06 juin1956 (Illustration 11). Sur ce projet, il est bien fait mention de production de tailings au niveau des tables vibrantes. La production de tailings dans ce projet est prévue à 156 t/h, hors zone du débourbeur.

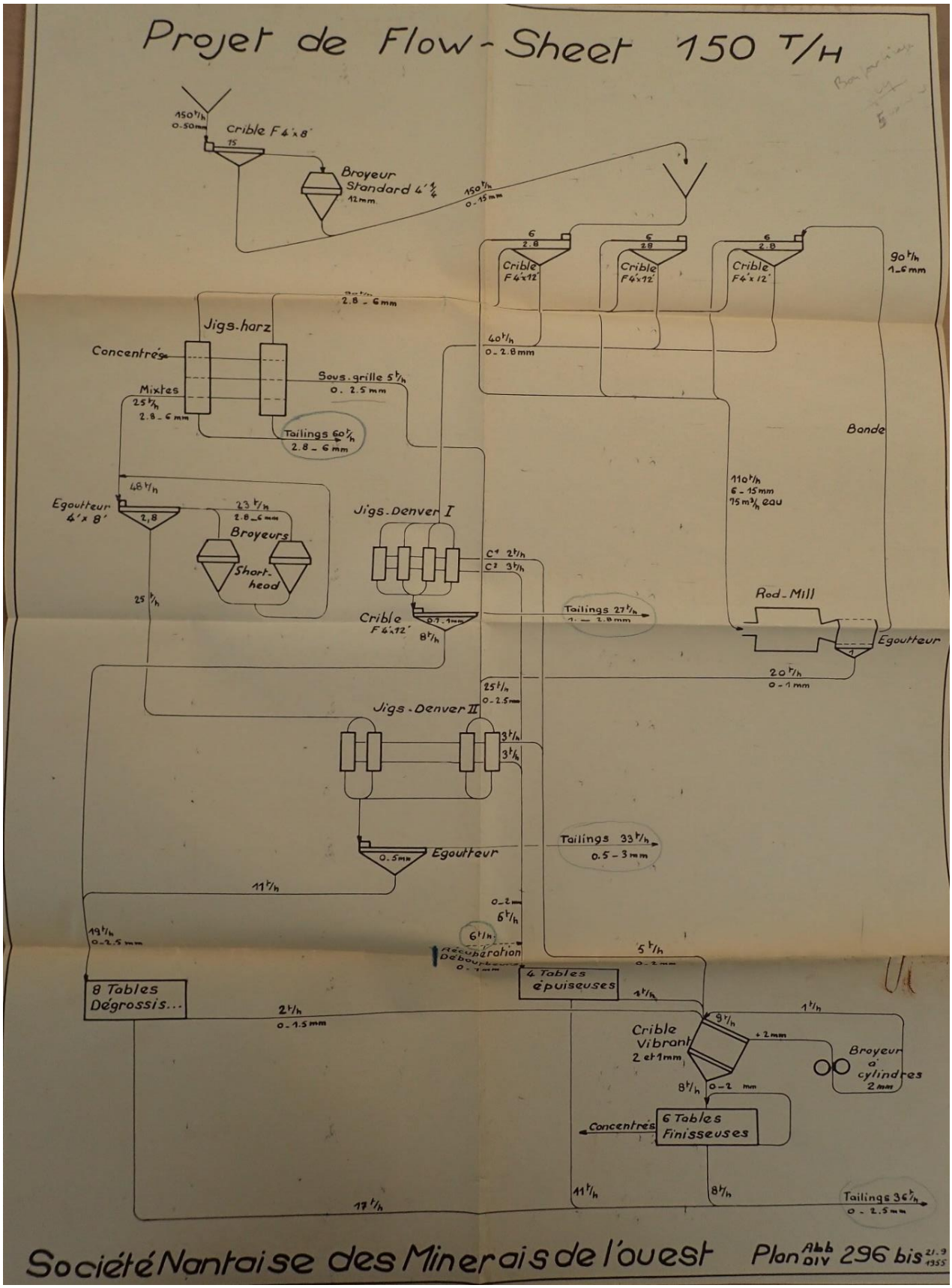
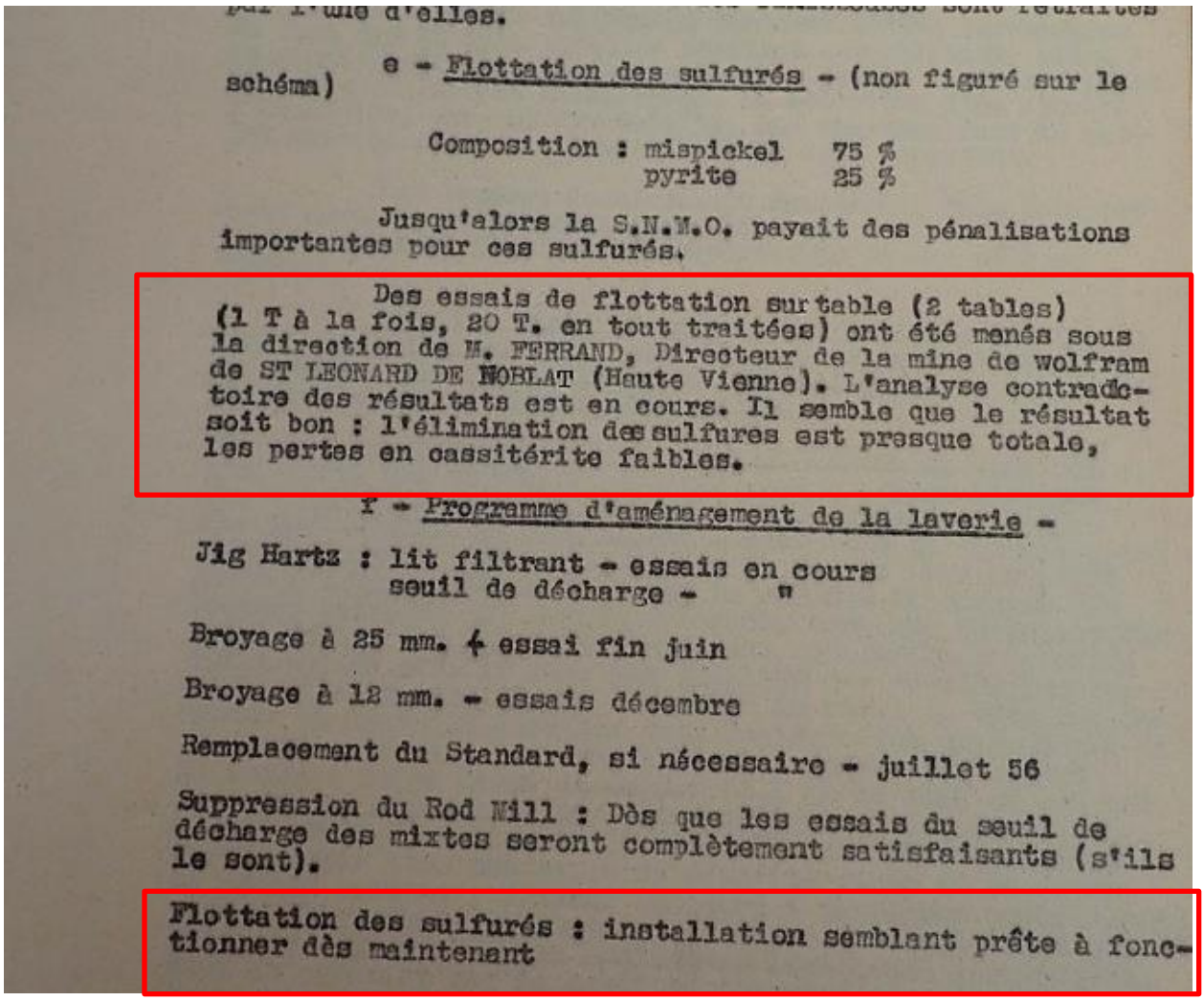


Illustration 11 - Projet de flowsheet de la laverie du 21/09/1955.

Par ailleurs, le rapport de l'ingénieur des mines du 17 Août 1955 (Illustration 12) mentionne qu'une étape de flottation des minéraux sulfurés a été testée sur site car jusqu'alors la SNMO payait des pénalités importantes pour ces sulfurés. Ces essais de flottation sur tables semblent efficaces et les installations semblent prêtes à fonctionner au moment du rapport de l'ingénieur des mines. Cependant, il n'est pas fait mention du type de flottation testé et mis en place (quels produits de flottation utilisés notamment et localisation des installations ?).



e - Flottation des sulfurés - (non figuré sur le schéma)

Composition : mispickel 75 %
pyrite 25 %

Jusqu'alors la S.N.M.O. payait des pénalisations importantes pour ces sulfurés.

Des essais de flottation sur table (2 tables) (1 T à la fois, 20 T. en tout traitées) ont été menés sous la direction de M. FERRAND, Directeur de la mine de wolfram de ST LEONARD DE NOBLAT (Haute Vienne). L'analyse contradictoire des résultats est en cours. Il semble que le résultat soit bon : l'élimination des sulfures est presque totale, les pertes en cassitérite faibles.

f - Programme d'aménagement de la laverie -

Jig Hartz : lit filtrant - essais en cours
seuil de décharge - "

Broyage à 25 mm. - essai fin juin

Broyage à 12 mm. - essais décembre

Remplacement du Standard, si nécessaire - juillet 56

Suppression du Rod Mill : Dès que les essais du seuil de décharge des mixtes seront complètement satisfaisants (s'ils le sont).

Flottation des sulfurés : installation semblant prête à fonctionner dès maintenant

Illustration 12 - Extrait du rapport de l'ingénieur des mines du 17/08/1955 (source : archives départementales 44, cote 2254 W 130).

3.2.2. Implantation des installations et bâtiments connexes

Concernant les installations et les divers bâtiments au droit du site, les plans retrouvés aux Archives Départementales ont permis de déterminer leur implantation.

L'illustration ci-après (Illustration 13) indique l'emplacement en 1953 des aires de décantation et du terril conique au nord de la route départementale. Il est supposé que les deux bassins situés au nord de ces aires de décantation, sont les bassins permettant la récupération des eaux pour les réintégrer au process de traitement. Il est à noter également que sur ces plans, il est indiqué la présence de stériles et de roches de découverture sur le pourtour de la mine à ciel ouvert au sud de la route.

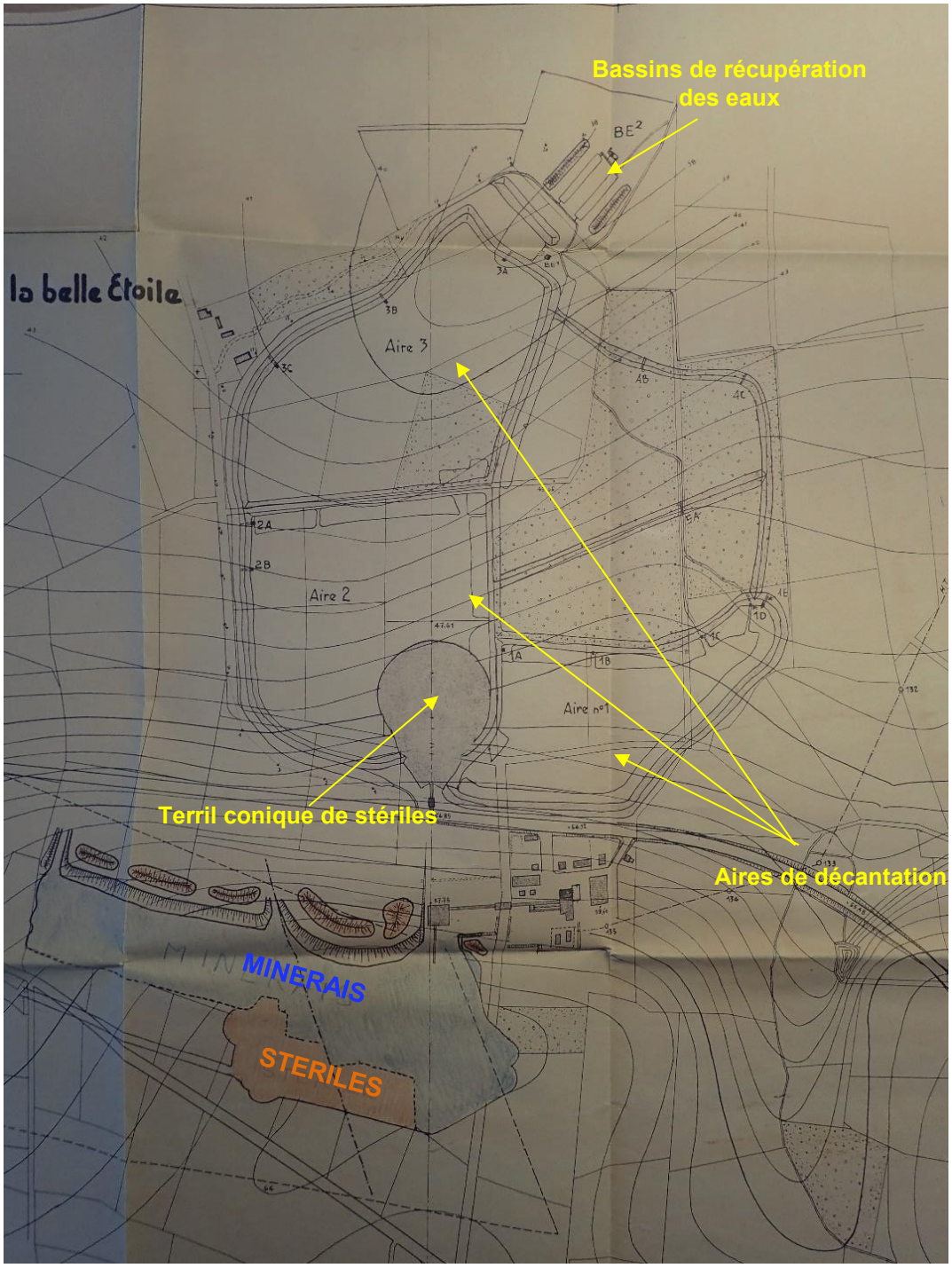


Illustration 13 – Plans des installations de la SNMO du 31/10/1951 mis à jour le 02/01/1953 (source : Archives départementales 44, cote 414W39).

Ainsi, d'après cette illustration, on peut déduire que la présence de tailings s'étend sur une plus grande superficie que celle de l'actuel terril dit « tabulaire ». Des résidus de traitement sont en effet présents sous et autour du terril conique actuel formés de stériles, ainsi qu'au nord du site. Cette présence de tailings sur la partie ouest du site peut donc être à l'origine du drainage minier acide observé sur cette partie du site.

La photographie aérienne ci-après (Illustration 14) confirme la véracité de ces plans avec l'ensemble des installations et des aires de décantation bien visibles. Cette photographie aurait donc été prise entre 1953 et 1955.

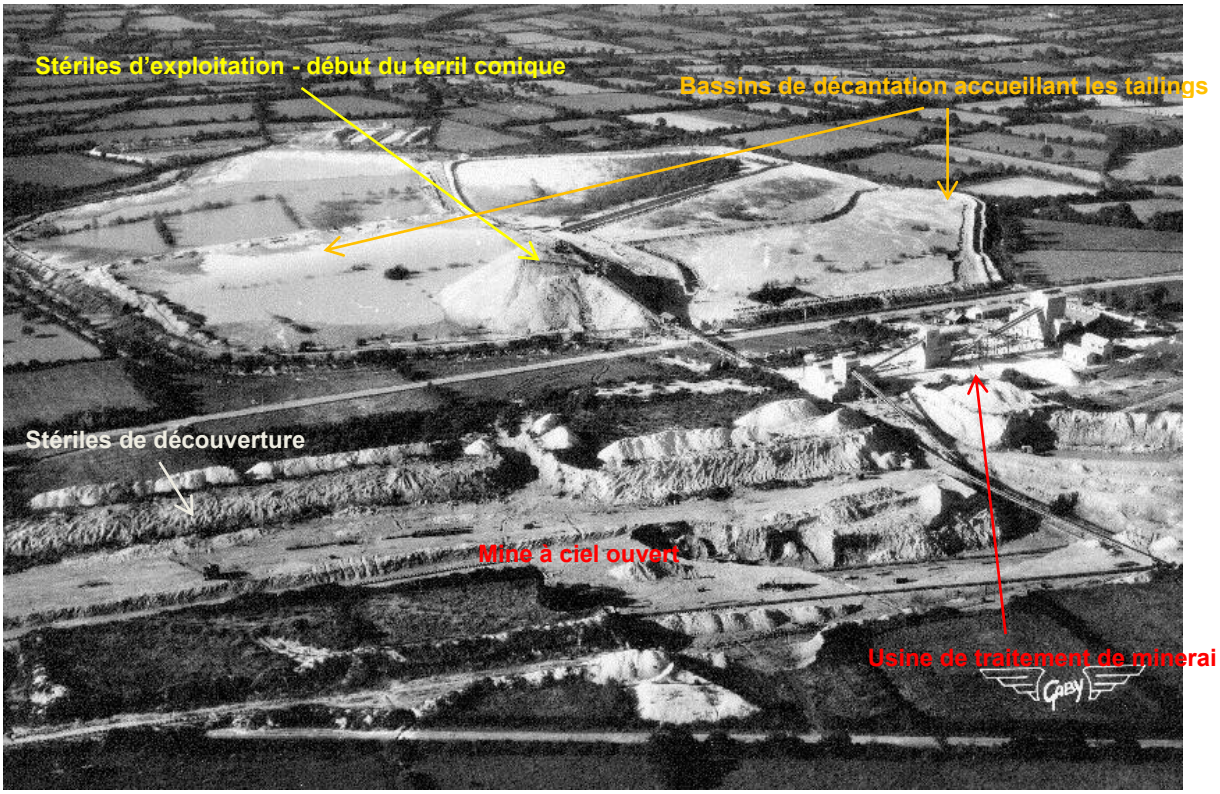


Illustration 14 - Vue aérienne des installations du site du Bois Vert à Abbaretz (date inconnue, source : http://dpsm.brgm.fr/Pages/zoom-sur-un-site-minier-02-2014.aspx).

L'illustration ci-après (Illustration 15) indique l'extension des aires de décantation vers l'est en 1956. Cette nouvelle extension donne la délimitation des dépôts visible de nos jours sur le site du Bois Vert. Elle permet également d'observer l'extension du terril conique formé par les stériles au-dessus de l'aire de décantation 2.

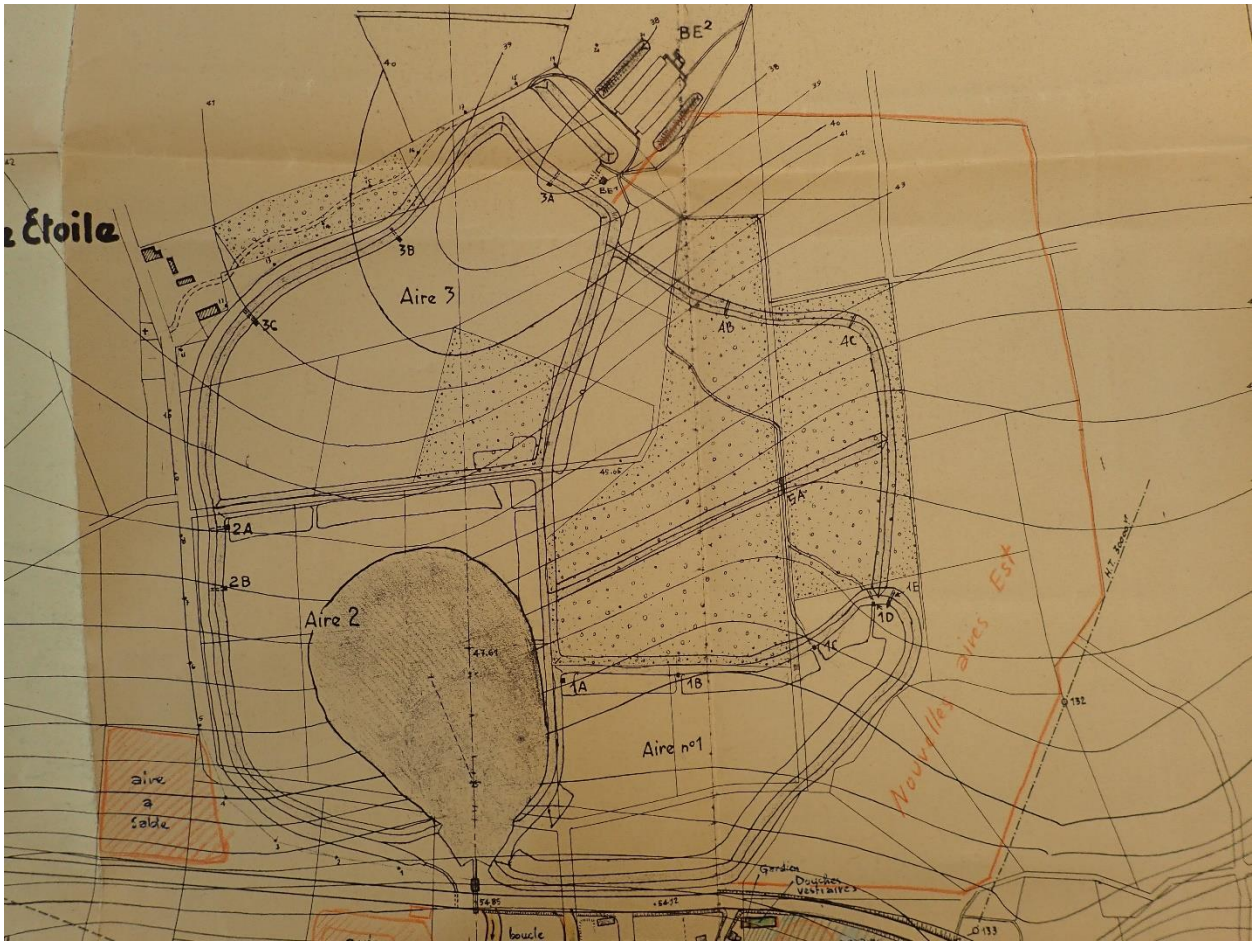


Illustration 15 – Plans des installations de la SNMO du 31/10/1951 mis à jour le 01/02/1956 - 1/2 (source : Archives Départementales 44, cote 414W39).

L'illustration ci-après, issue du même plan (Illustration 16), permet également de voir qu'au sud de la route, il est mentionné des aires et terril à sable à l'est et à l'ouest des installations de traitement sans précision sur l'origine exacte de ces matériaux.

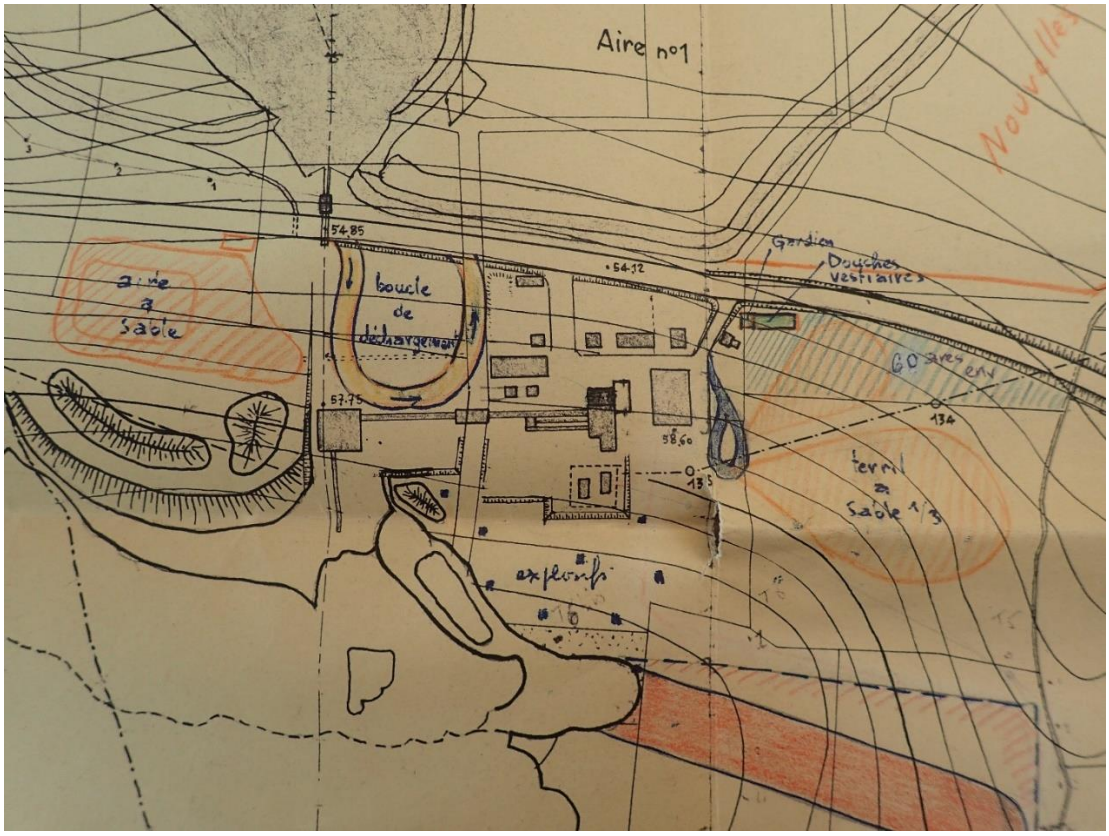


Illustration 16 - Plans des installations de la SNMO du 31/10/1951 mis à jour le 01/02/1956 - 2/2 (source : Archives Départementales 44, cote 414W39).

Concernant la nature des différents bâtiments au droit du site, l'illustration ci-après (Illustration 17) présente leur localisation.

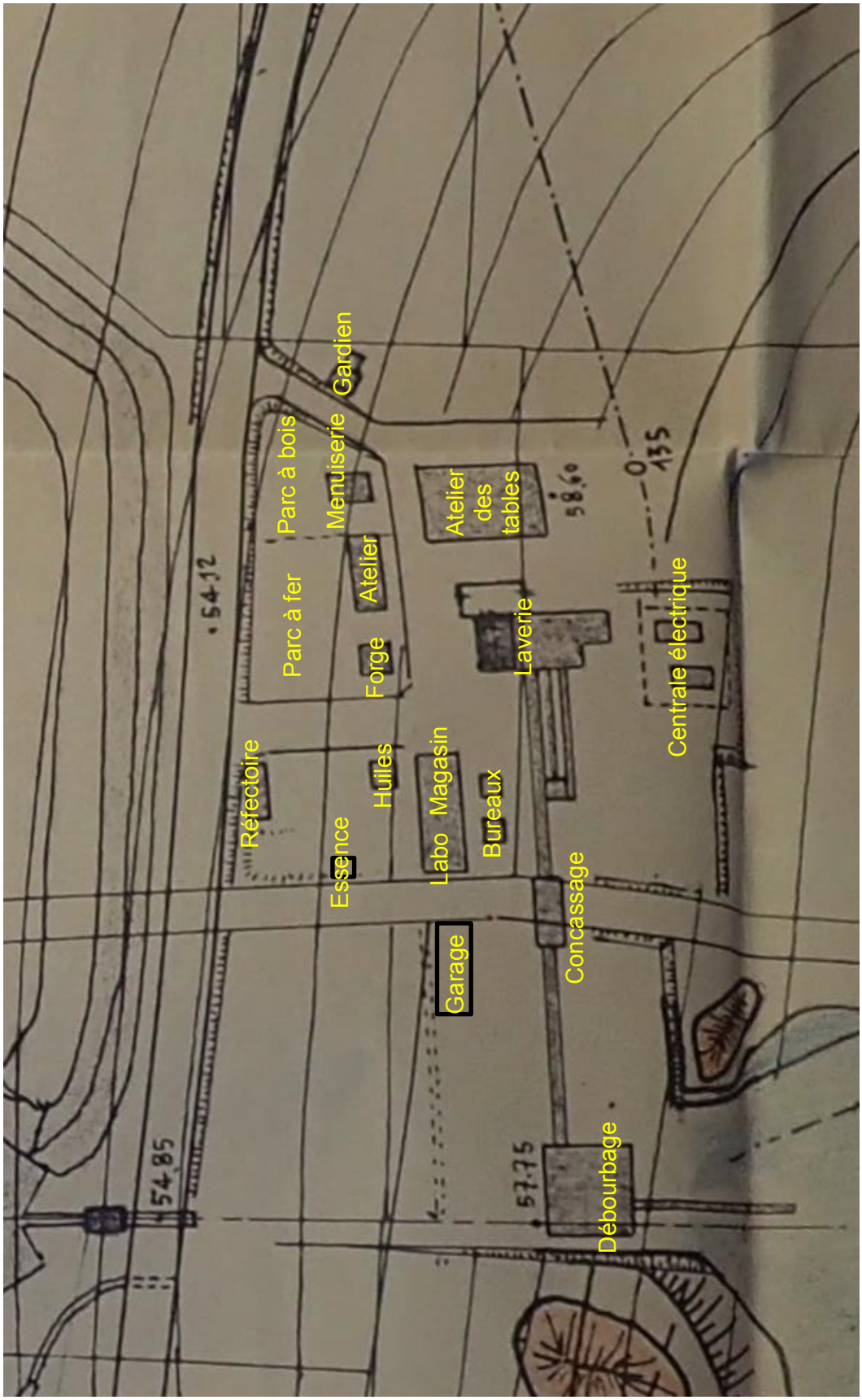


Illustration 17 - Implantation des installations et bâtiments de la laverie entre 1951 et 1956 (source : Archives Départementales 44, cote 414W39).

Illustration 18 - Usine de traitement de minerai du Bois Vert à Abbaretz (date inconnue, source : http://stjoabbaretz.free.fr/mine.htm)

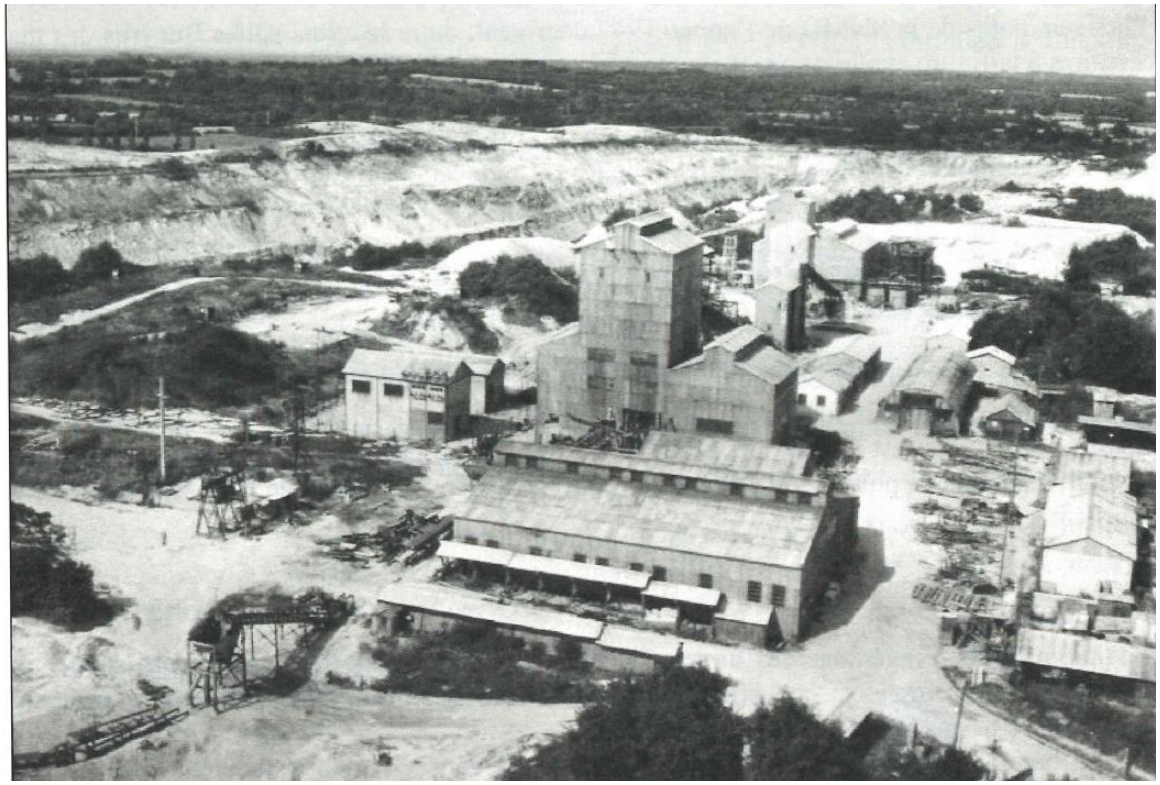


Illustration 19 - Vue d'ensemble des bâtiments post-exploitation (source : Archives Départementales 44, cote 13Fi).

Illustration 20 - Vue d'ensemble de la mine post-exploitation
(source : Archives Départementales 44, cote 13Fi)

Par ailleurs, au droit du site du Bois Vert, au nord des aires de décantation et des bassins de récupération des eaux, un bâtiment abritant un condensateur électrique et un transformateur a été démantelé et démoli en octobre 2011 (Deroualle, 2012). Sa localisation correspondrait au bâtiment figurant sur le plan des installations de la SNMO du 31/10/1951 :

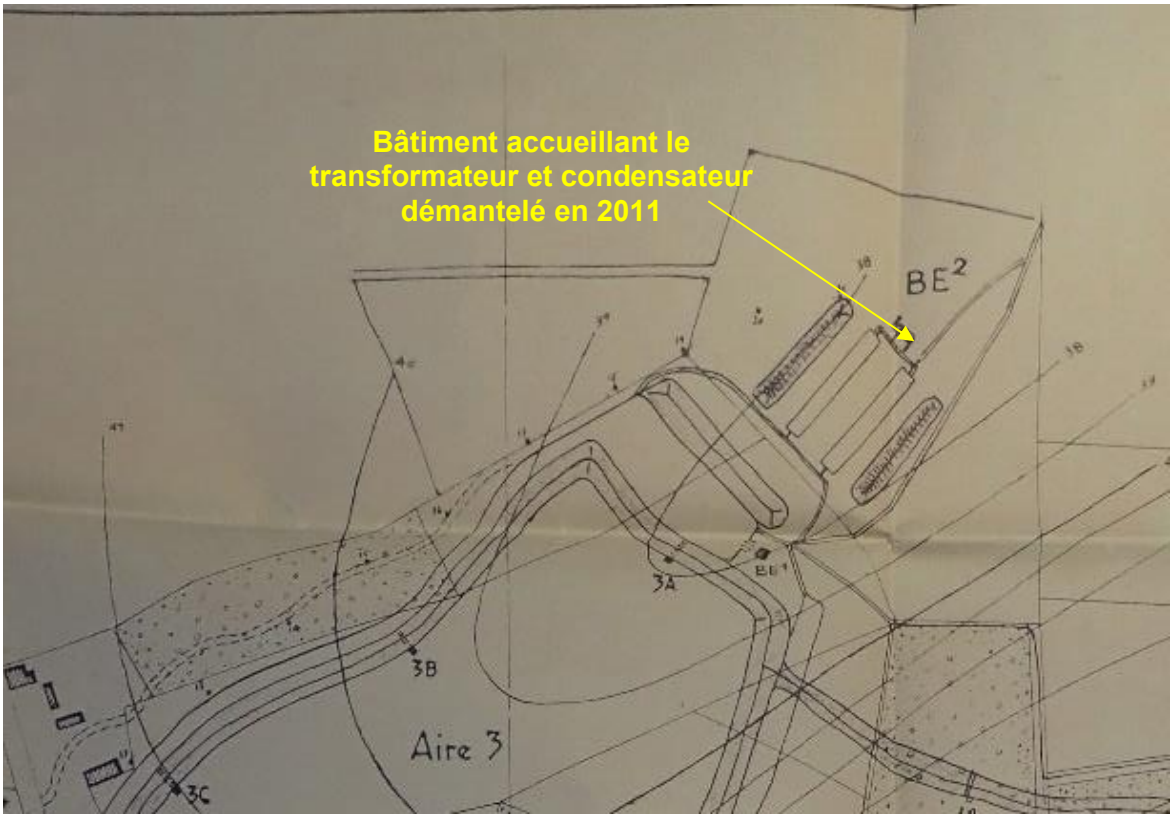


Illustration 21 - Localisation du bâtiment du transformateur démantelé en 2011 au nord du site du Bois Vert sur le plan des installations de la SNMO du 31/10/1951 (source : Archives Départementales 44, cote 414W39).

Le reportage photographique suivant illustre les travaux réalisés en 2011 sur ce bâtiment (vidange du transformateur, évacuation et destruction en filière agréée des huiles et des anciens appareils (transformateur et condensateur), démolition du bâtiment).

Illustration 22 - Reportage photographique des travaux réalisés en octobre 2011 au nord du site du Bois Vert (source : rapport BRGM RP-60441-FR).

3.3. PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES

Les photographies aériennes historiques de l'IGN ont été consultées. Les photographies présentant le plus d'intérêt pour l'étude sont présentées ci-après.

a) 1948

Illustration 23 - Photographie aérienne du site en 1948.

En 1948, les travaux d'exploitation à ciel ouvert n'avaient pas encore débuté. Seules des traces de l'exploitation souterraine sont visibles en surface. La route départementale n° 2 d'Abbaretz à Nozay n'était pas encore déviée. En lieu et place des actuels terrils, des champs agricoles sont présents. Les fermes de la Belle Étoile et du Bois Vert sont visibles.

b) 1952

Illustration 24 - Photographie aérienne du site en 1952.

En 1952, démarrent les travaux d'exploitation à ciel ouvert. Les installations et bâtiments de la laverie tels que décrits sur les plans (Illustration 17) sont visibles. Les premières aires de décantation des tailings issus de la laverie sont visibles au nord de la route départementale qui a été déviée. Le début du terril conique de stériles est visible également.

c) 1961

Illustration 25 -Photographie aérienne du site en 1961.

En 1961, l'exploitation de la mine a cessé. Le remplissage en eau de la mine à ciel ouvert a commencé. Les terrils se sont étendus et ont leur configuration actuelle. Les anciens bassins de récupération des eaux des aires de décantation se distinguent au nord des terrils. Au sud de la route départementale, les anciennes installations de la laverie sont toujours présentes. Les aires et terrils à sable de part et d'autre de la laverie mentionnés précédemment (Illustration 16) sont visibles également.

d) 1965

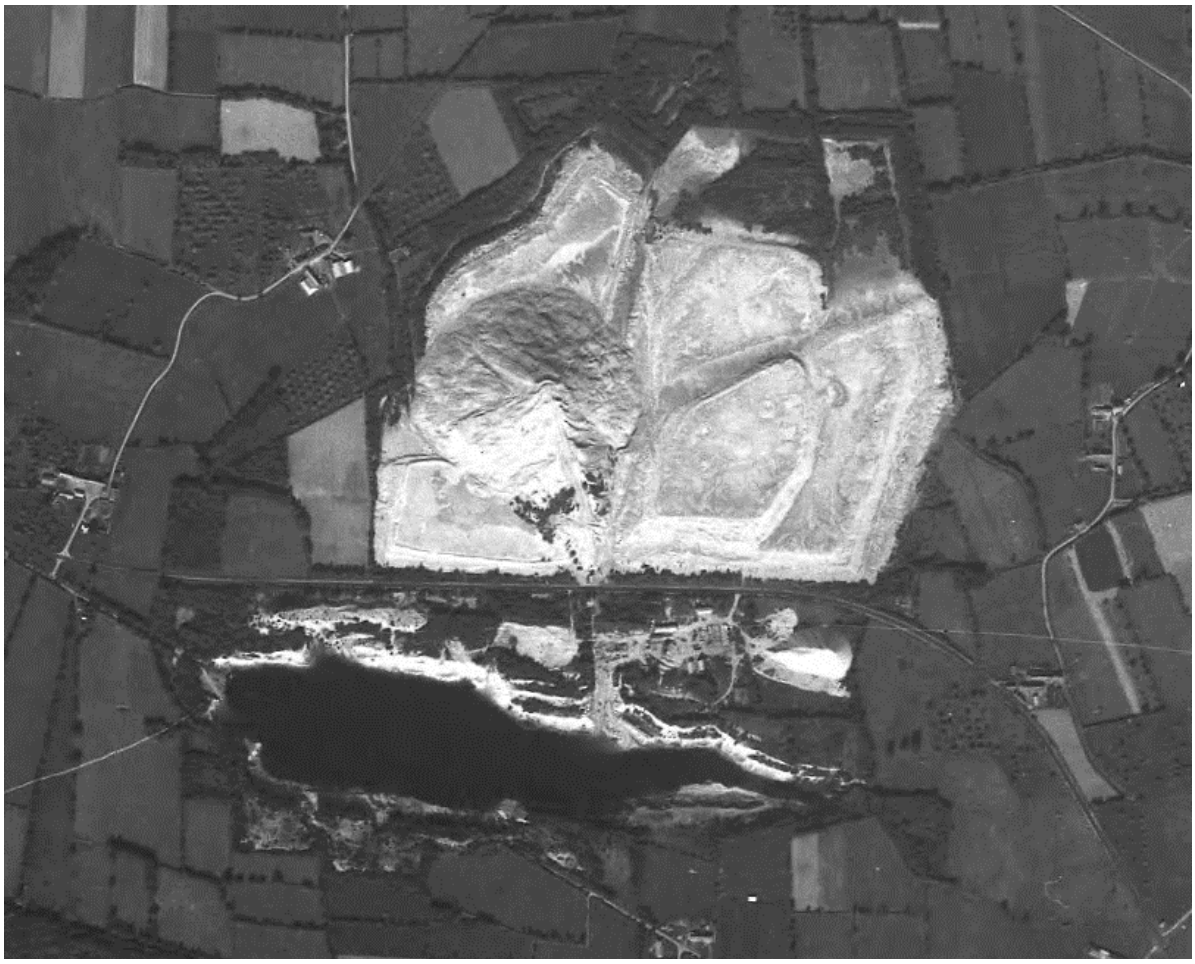


Illustration 26 - Photographie aérienne du site en 1965

La mine à ciel ouvert est remplie d'eau. Les bâtiments de la laverie sont pour partie toujours en place, l'autre partie (atelier de débourbage, concassage) semble avoir été démantelée. La végétation commence à pousser au pied du terril conique. Le terril à sable à l'est de la laverie est toujours présent.

e) 1966

Illustration 27 - Photographie aérienne du site en 1966.

Les bâtiments de l'ancienne laverie semblent tous avoir été démantelés, excepté les bâtiments de la centrale électrique.

f) 1974

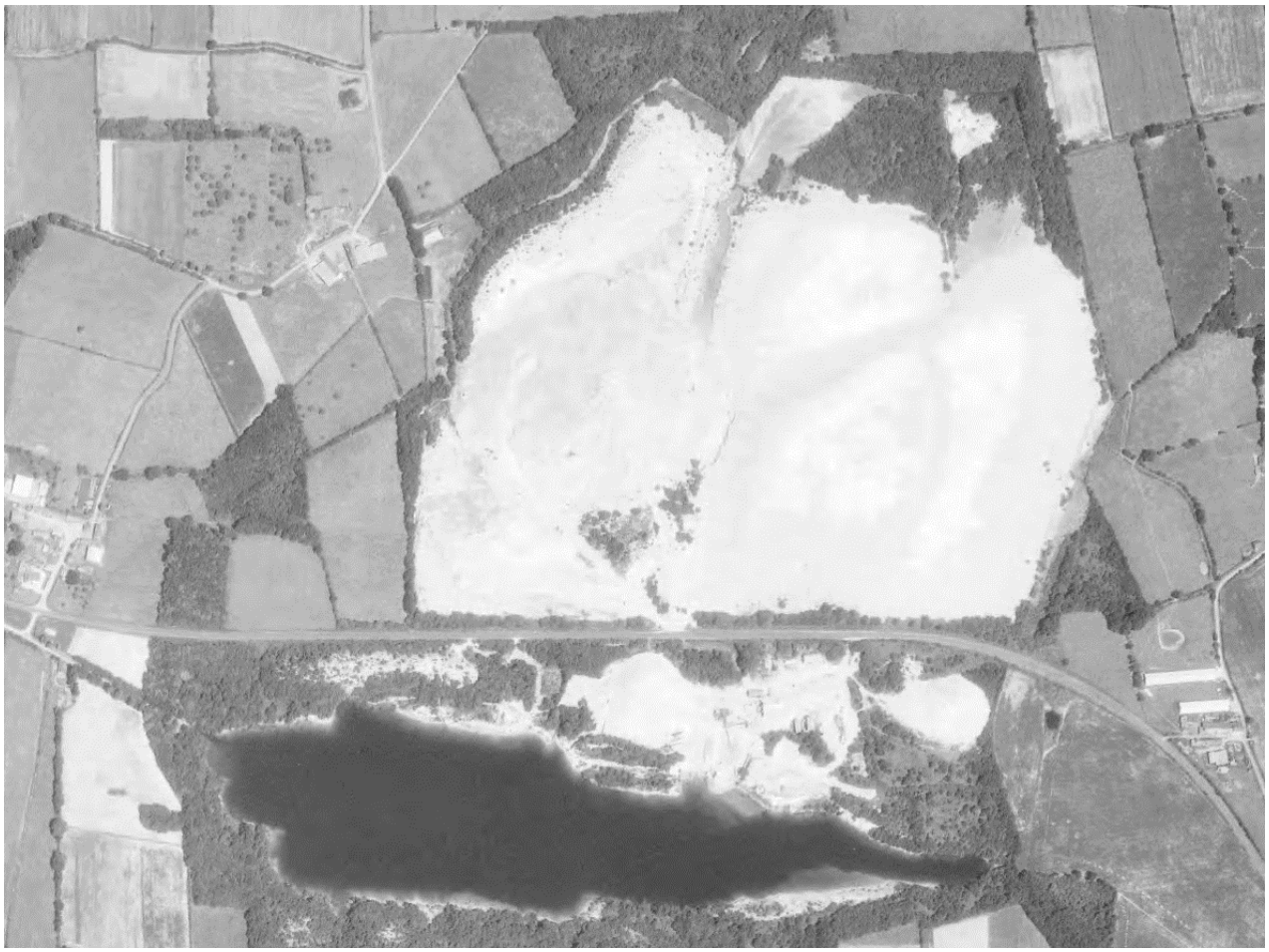


Illustration 28 - Photographie aérienne du site en 1974.

Le site de l'ancienne laverie semble avoir été défriché. La mauvaise qualité du cliché ne permet pas d'observer d'activité particulière sur le site.

g) 1985

Illustration 29 - Photographie aérienne du site en 1985.

Ce cliché permet d'observer que le terril à sable à l'est de l'ancienne laverie n'est plus présent. Les matériaux ont été évacués du site. La végétation s'est densifiée dans la partie nord des terrils et autour du lac de la mine. Les bâtiments de la centrale électrique sont toujours visibles.

h) 1991

Illustration 30 - Photographie aérienne du site en 1991.

Le site de l'ancienne laverie semble avoir été abandonné de toute exploitation, la végétation s'est déployée. Des traces d'emprunts de matériaux sur le terril tabulaire sont nettement visibles.

i) 1993

Illustration 31 - Photographie aérienne du site en 1993.

La végétation au nord des terrils s'est éclaircie, laissant supposer le démarrage du drainage minier acide.

j) 2004

Illustration 32 - Phototgrahie aérienne du site en 2004.

Le site au droit de l'ancienne laverie est dans sa configuration actuelle, un parking a été aménagé pour l'accueil du public. Des sentiers semblent avoir été aménagés autour des terrils.

k) 2009

Illustration 33 - Photographie aérienne du site en 2009.

Malgré la mauvaise qualité du cliché, des traces de l'actuelle piste pour chevaux sont visibles au droit du terril tabulaire (partie nord).

I) 2012

Illustration 34 - Photographie aérienne du site en 2012.

Le bâtiment d'accueil du public au droit de l'ancienne laverie est présent dans sa configuration actuelle. La piste actuelle pour l'équitation sur le terril tabulaire nord est visible (cf. zoom et flèche rouge).

3.4. PLAN DE RECOLLEMENT

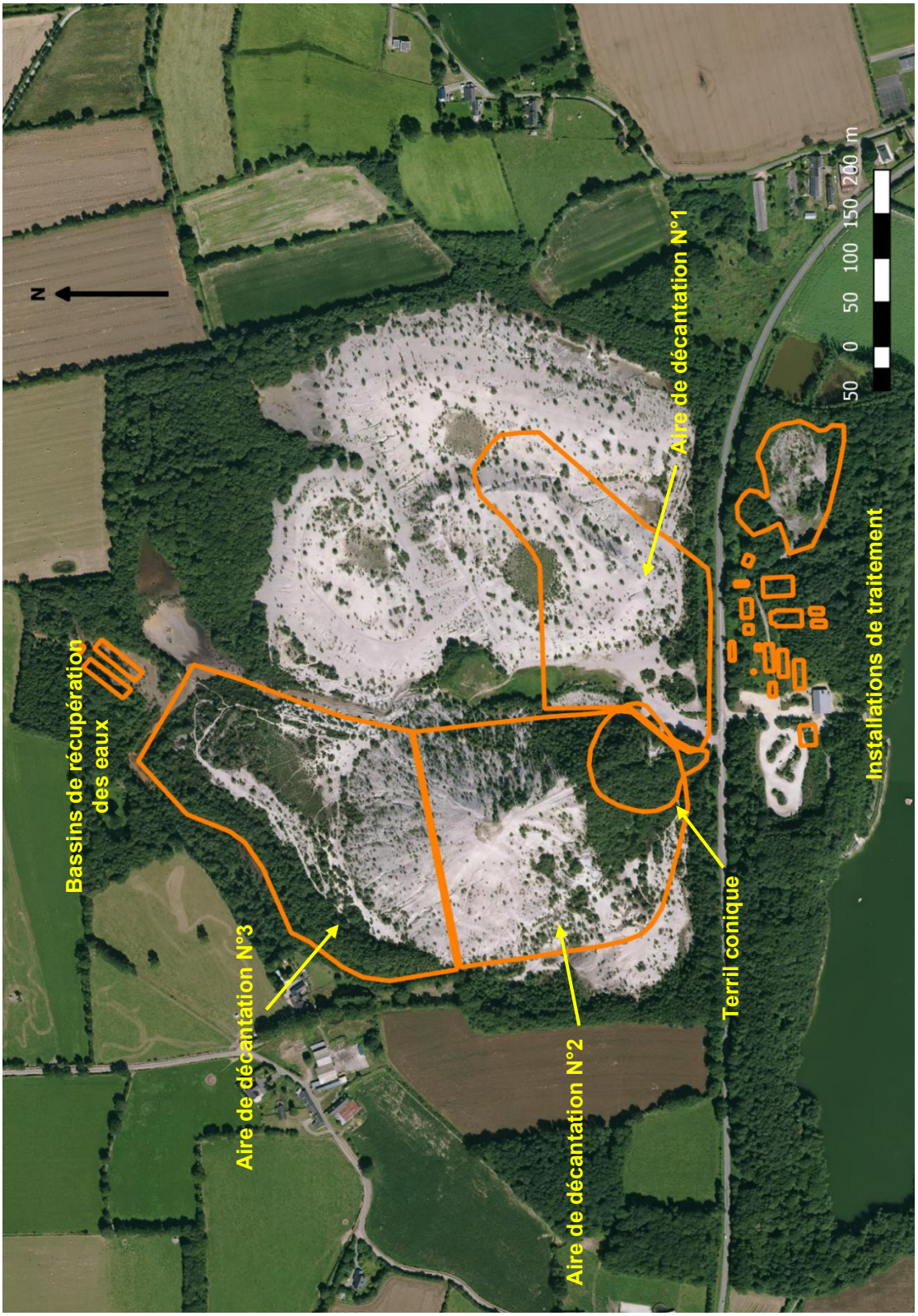


Illustration 35 - Plan de recollement des anciennes installations de traitement de minerai (1952) sur orthophotographie actuelle.

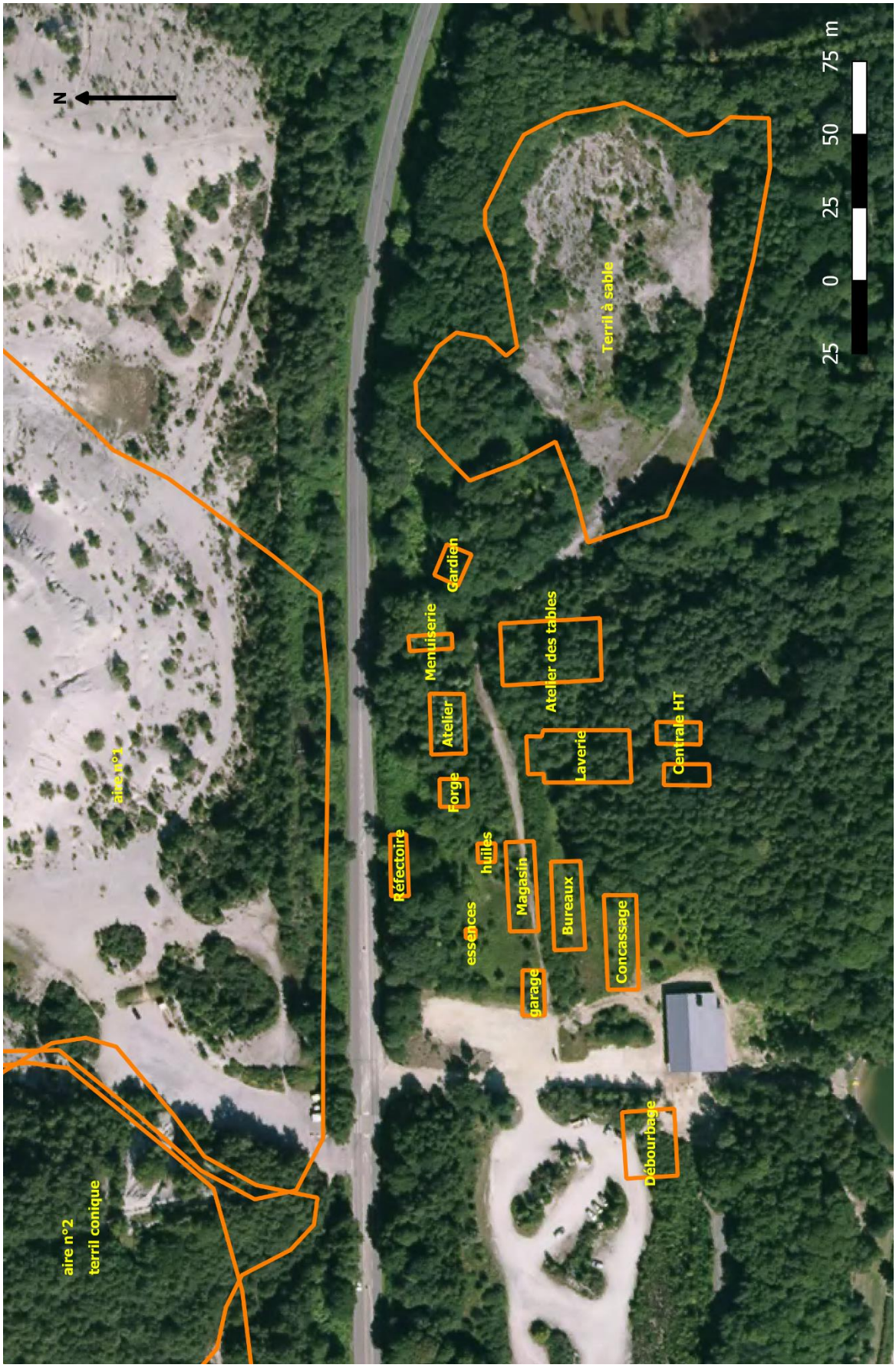


Illustration 35 - Plan de recollement des anciennes installations de traitement de minerai (1952) sur orthophotographie actuelle.

4. Étude de vulnérabilité

4.1. GÉOLOGIE ET GITOLOGIE

4.1.1. Géologie

Entre l'anticlinal de Lanvaux au nord et une branche de l'anticlinal de Cornouaille au sud, s'allonge le synclinal dissymétrique de Nozay dont le flanc nord seul est complet ; au sud le Gothlandien (Silurien) est en contact par faille avec les micaschistes de Blain.

La bande de leucogranites à muscovite, à quartz automorphes et feldspaths dominants Grand-Champ-Allaire s'ennoie dans la partie ouest de cette ondulation synclinale pour affleurer à nouveau à l'ouest de Nozay.

Les grès métamorphiques de la forêt d'Ancenis sont les témoins orientaux du prolongement en profondeur de cette intrusion granitique.

L'Illustration 36 présente un extrait de la carte géologique de la feuille de Nozay.

4.1.2. Gitologie

Le gisement du district stannifère d'Abbaretz est en relation étroite avec un système complexe de filons de quartz situés dans les schistes de Saint-Perreux. Ces schistes, à débit ardoisier ou sub-ardoisier, sont des métaargilites plus ou moins silteuses, associées, ponctuellement, à des niveaux gréseux. Localement, ils sont, de plus, affectés par un métamorphisme de contact à andalousite, généré par l'intrusion du granite de Nozay. Appartenant au Domaine varisque ligéro-sénan, les "Schistes d'Abbaretz" sont rattachés au Groupe de Saint-Perreux et leur âge, incertain, est probablement ordovicien supérieur-silurien inférieur. Le champ filonien de quartz stannifère est, lui aussi, associé au granite de Nozay mis en place au Carbonifère. La cassitérite se présente en amas pluricentimétriques au sein du quartz laiteux massif, mais elle est parfois aussi associée à de la muscovite. Enfin, l'hydrothermalisme, à l'origine de cette minéralisation stannifère et de tourmalinites, a favorisé aussi la kaolinisation du granite de Nozay. Ces schistes encaissants sont fortement altérés, notamment par l'altération hydrothermale. Ils sont dirigés environ E-W, plongeant vers le sud selon un pendage de 45°.

La carte géologique de Saint Nazaire schématise à l'extrême le champ filonien. Au lieu d'un filon unique, il s'agit d'une série de filons, parallèles en première approximation et suivant de préférence, mais pas systématiquement, les strates des couches sédimentaires dont la direction générale est voisine de la direction est-ouest avec un pendage moyen de 45° vers le sud. En profondeur, les filons ont un pendage de 32°, nettement inférieur à celui des schistes. La puissance des filons va de quelques centimètres à plus de 4 m. Les filons s'anastomosent fréquemment, les plus gros étant réunis entre eux par un réseau de filonnets. Leur puissance est irrégulière, ils peuvent disparaître en moins d'un mètre ou encore se pincer à plusieurs reprises, produisant des configurations en chapelet.

Le cortège minéral des filons et épontes énuméré dans la littérature (Chauris, 1957) est le suivant :

- le quartz ;
- le mica blanc ;
- le béryl ;
- la tourmaline ;
- la cassitérite ;
- la molybdénite ;

- le mispickel ;
- les sulfures de fer (pyrite et marcasite) ;
- la chalcopyrite ;
- le rutile ;
- le kaolin.

Les éléments traces métalliques, associés à cette gitologie et d'intérêt pour cette étude, sont donc : Al, Be, B, Sn, Mo, As, Fe, Cu, Ti. À noter que le béryl et la molybdénite sont rares dans le gisement d'Abbaretz. De plus, il est mentionné dans le rapport d'Aléa environnement (Greffié, 2009) que les éléments Bi, Cd, Pb, Zn et W peuvent être associés également à cette gîtologie. Enfin, la présence de Co a été relevée dans les eaux du DMA et des traces de Mn et Cr peuvent être retrouvées dans le béryl.

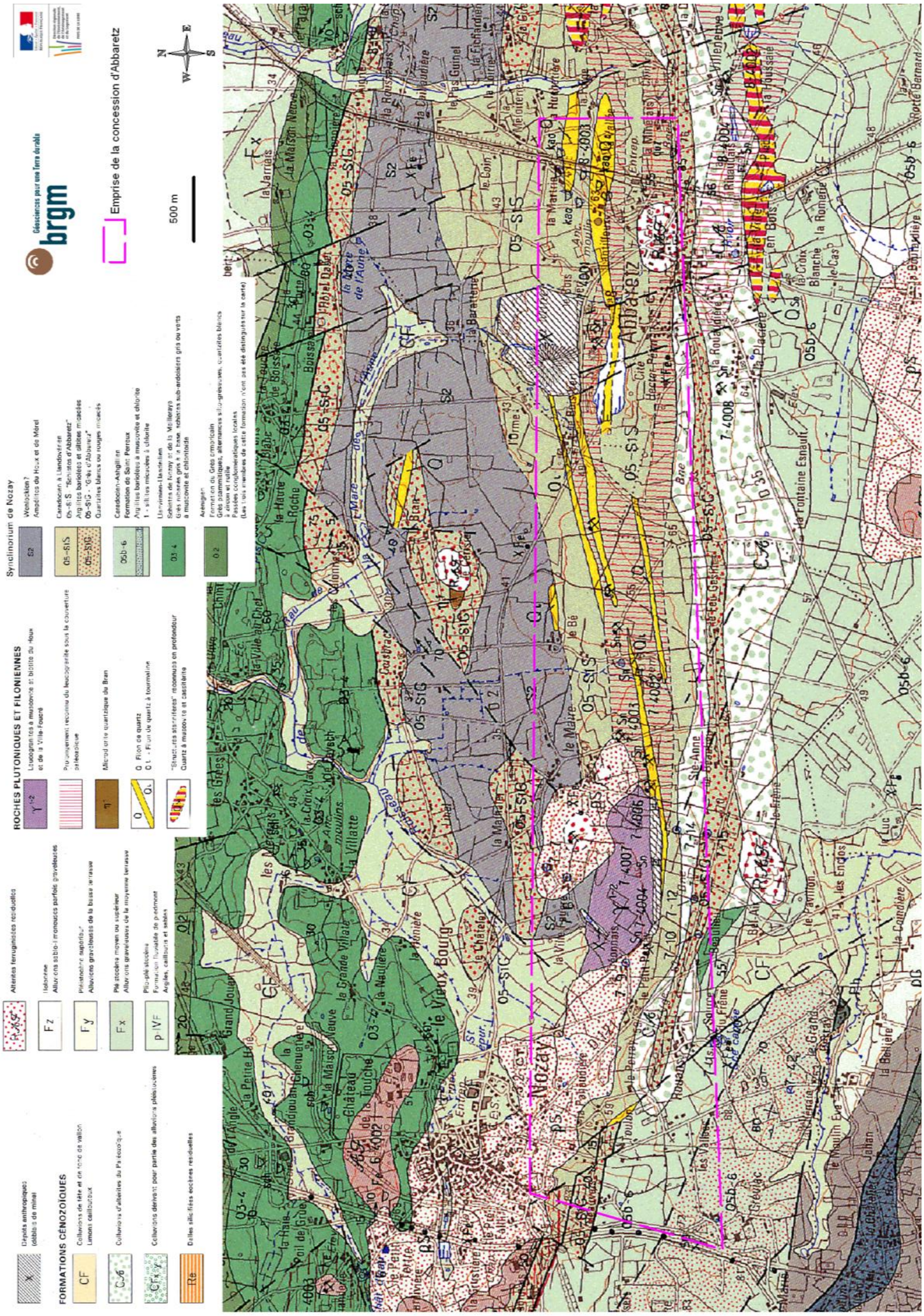


Illustration 36 - Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de la feuille de Nozay.

4.2. HYDROGÉOLOGIE

Le système aquifère dans les domaines des Landes de Lanvaux et de Saint-Georges-sur-Loire, s'inscrit principalement dans un contexte de formations massives et fissurées (schistes prédominants et grès). La présence éventuelle d'eau souterraine dépend des modifications physiques subies par ces massifs rocheux postérieurement à leur formation, et notamment de la fracturation et de l'altération.

D'un point de vue hydrogéologique, les grès et schistes sont considérés comme des aquifères de socle pour lesquels un concept d'aquifère continu multicouches contrôlé par l'altération supergène peut être utilisé. Ainsi, deux horizons peuvent être distingués :

- un horizon superficiel altéré à porosité importante et faible perméabilité, lui permettant de jouer un rôle capacitif (infiltration des eaux de pluie) ;
- un horizon inférieur fissuré et fracturé, à porosité plus faible et à perméabilité plus importante (dépendante de la connexion et de l'ouverture des réseaux de fractures et fissures).

À noter que d'après les indications disponibles dans la notice de la carte géologique, l'altération hydrothermale s'est développée dans le secteur sur une profondeur moyenne de l'ordre de 40 m. La puissance de ces schistes altérés peut donc avoir un intérêt en terme de capacité hydrogéologique du secteur.

Concernant le sens d'écoulement des eaux souterraines, pour l'aquifère superficiel de ce type de système, il suit généralement la topographie du secteur ; le réseau hydrographique étant le milieu récepteur de ces écoulements souterrains. Dans le secteur d'Abbaretz, plusieurs points hauts topographiques sont présents selon un axe E-W ; partageant ainsi le sens d'écoulement des eaux superficielles vers le nord et vers le sud. Au droit du site du Bois Vert, les eaux souterraines, si elles suivent la topographie, auront donc tendance à se diriger vers le nord.

Cependant, des incertitudes sont à mentionner concernant ce sens d'écoulement. En effet, la géologie du secteur indique un pendage des schistes à 45° vers le sud. La question de l'influence de ce pendage sur le sens d'écoulement des eaux souterraines se pose alors. De même que la question de l'influence de l'ancienne mine à ciel ouvert qui peut interférer également.

4.3. HYDROGRAPHIE

La zone du district minier est drainée par un réseau de ruisseaux d'écoulement sud-nord qui se jettent dans le ruisseau de la Mare de l'Aune d'écoulement est-ouest, qui se déverse dans le ruisseau de la Cétrais qui rejoint lui-même le ruisseau de Sauzignac, affluent du Don.

Le réseau hydrographique constitue le principal collecteur des eaux de ruissellement et de drainage des champs et des terrils du Bois Vert.

L'illustration ci-après (Illustration 37) indique le réseau hydrographique du secteur. Il est à noter que le lac de la Mine est alimenté en partie par un ruisseau situé à l'est du lac et que ce dernier déverse, en saison de hautes eaux, son trop-plein à l'ouest, dans un réseau de fossés qui longent l'ouest du site du Bois Vert et retrouvent ensuite le ruisseau de la Mare de l'Aune.

Illustration 37 - Réseau hydrographique de la région d'Abbaretz (source : Cottard, 2010).

4.4. RECENSEMENT DES USAGES

4.4.1. Usage des sols

Le site du Bois Vert, de par sa topographie insolite, est largement fréquenté que ce soit par la population locale ou une population plus élargie (régionale voire nationale). Le site fait l'objet de nombreux usages, certains aménagés par la commune et d'autres qui se sont développés au fur et à mesure du temps. Un parking est présent à l'entrée du site pour l'accueil du public avec la présence de panneaux d'information sur l'historique minier du site.

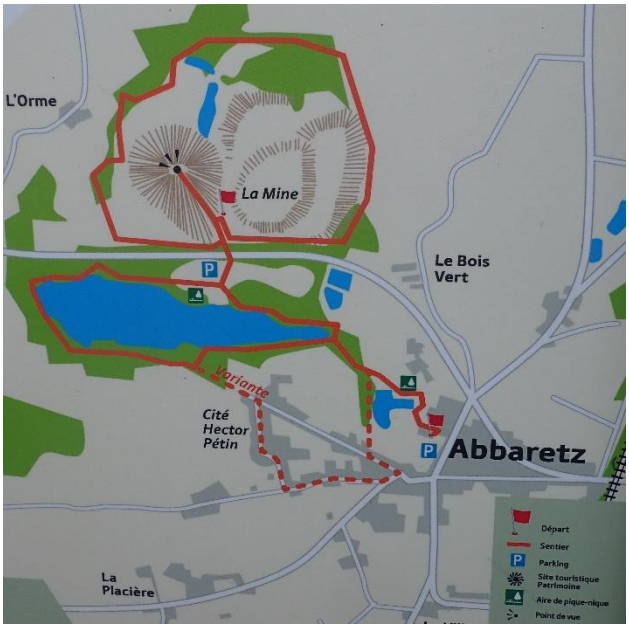
Les usages constatés lors des nombreuses visites de terrain sont notamment les suivants :

- la pratique du vélo, VTT et BMX sur l'ensemble du site ;
- la randonnée pédestre : parcours pédestre, table d'orientation ;
- la course à pied, les courses d'orientation et le trail : le site est équipé de plusieurs bornes réparties sur l'ensemble du site pour les courses d'orientation ;
- les promenades à cheval, voire les courses de chevaux : une piste est régulièrement entretenue sur le terril tabulaire pour l'entrainement des chevaux ;
- le pique-nique : des tables de pique-nique sont présentes au sud-ouest du site ;
- autres activités diverses : tests drône, rencontres de trial miniatures, rencontres et regroupements diverses.

Toutes ces pratiques sont réalisées soit dans le cadre de loisirs individuels, soit dans le cadre de rencontres et manifestations organisées par différents clubs et/ou associations.

Il est important de noter qu'à chacune des visites de site réalisées (quelle que soit la saison, en semaine y compris hors période de vacances scolaires), des usages étaient constatés (par des adultes et des enfants), démontrant la fréquentation importante du site.

Les illustrations suivantes présentent les usages et infrastructures recensés sur le site.



Panneau indiquant le chemin de randonnée à l'entrée du site

Vue de la piste entretenue sur le terril tabulaire pour l'équitation

Table d'orientation en haut du terril conique

Table de pique-nique au sud-ouest du site

Vue du chemin d'accès à la table d'orientation sur le terril conique

Borne de course d'orientation

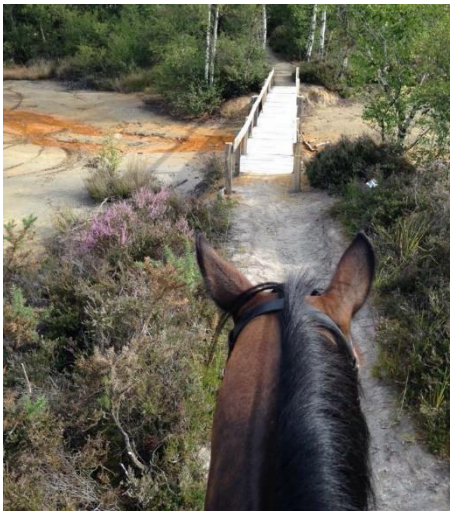
Vue des bosses réalisées pour la pratique du BMX au pied du terril conique

Vue de bosses et pistes pour le VTT sur le terril tabulaire

Illustration 38 - Présentation des « infrastructures » présentes pour les différents usages du site.

Promenade d'une famille sur le terril tabulaire

Course de VTT organisée pour des collégiens sur le terril tabulaire



Promenade à cheval

Descente des pentes du terril tabulaire sur des bâches

Course de trail

Rencontre trial miniature

Promenade et jeux d'enfants sur le terril tabulaire

Activités de VTT, monocycle, BMX, etc…

Illustration 39 - Photographies des différents usages recensés au droit du site.

Par ailleurs, dans le rapport Antea de 2002 (Antea, 2002, p.6), il est mentionné que le site a servi de carrière de matériaux pour la construction. La Mairie ayant fermé l'accès au site pour les engins motorisés, cet usage n'est plus recensé aujourd'hui.

Dans l'environnement proche du site, il est recensé des maisons d'habitation, une ferme agricole, des parcelles cultivées ou prairies pour les bovins. Au sud du site, de l'autre côté de la route départementale, le lac de la mine est présent avec ses activités propres (chemin de randonnée, pique-nique et ski nautique).

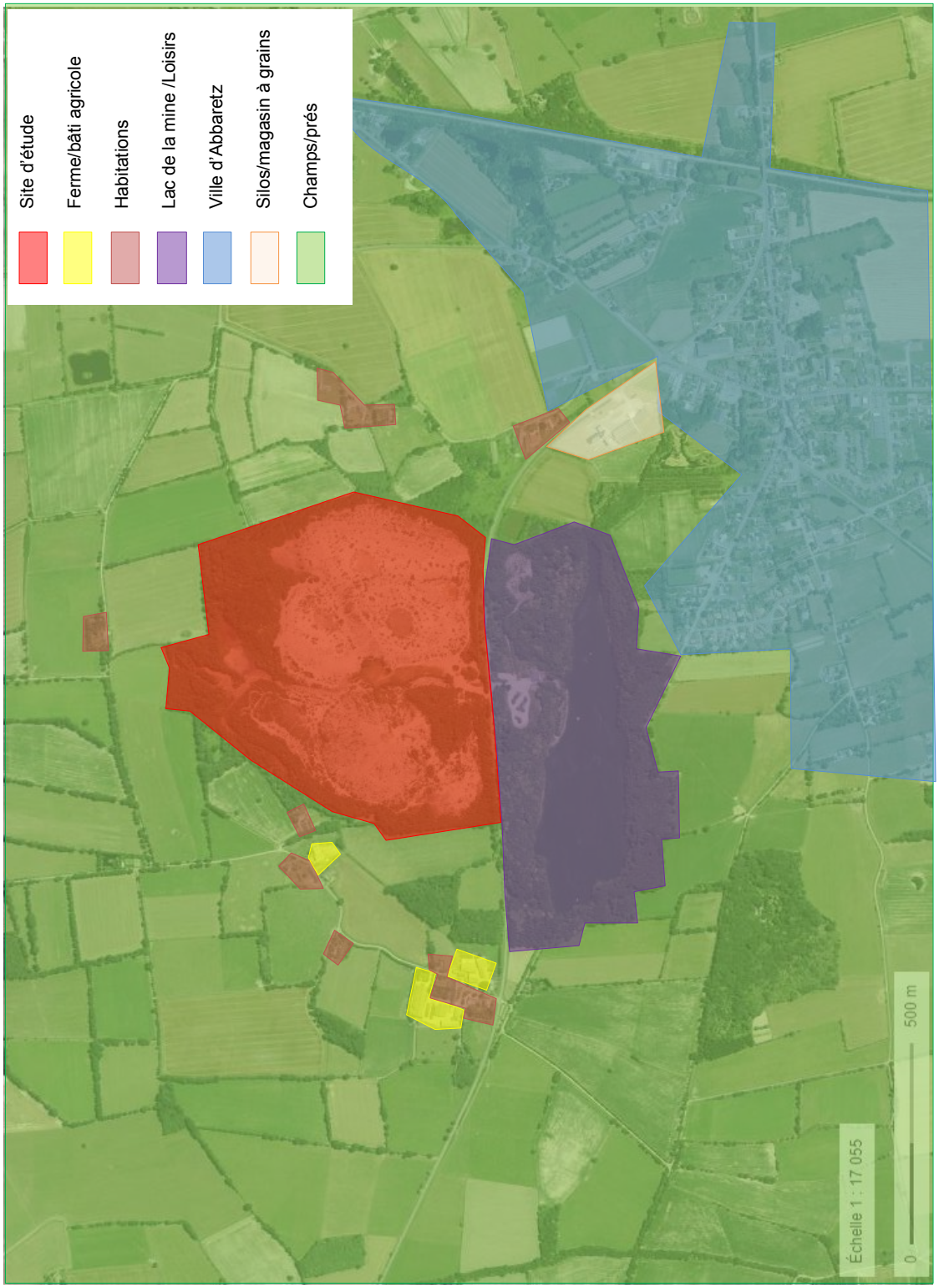


Illustration 40 - Carte des usages recensés aux alentours du site.

4.4.2. Usage des eaux souterraines

a) Usage AEP

L'Agence Régionale de Santé (ARS) Pays de Loire a été interrogée le 20/02/2017 sur les captage AEP éventuellement présents aux alentours du site.

Il existe un captage AEP à environ 7 km au sud du site, le captage de la Chutenaie sur la commune de Saffré et dont le périmètre de protection s'étend partiellement sur la commune d'Abbaretz. Le tracé du périmètre de protection, de forme tentaculaire, correspond à la protection des ruisseaux en relation avec la nappe et en amont du captage.

Le site du Bois Vert n'est pas localisé dans le périmètre de protection du captage (cf. Annexe 2). Malgré les incertitudes qui subsistent sur le sens d'écoulement des eaux au droit du site d'étude, compte tenu de sa localisation (à 7 km au sud), ce captage n'est pas considéré comme vulnérable à une éventuelle pollution en provenance du site.

b) Usage agricole et domestique

Pour ces usages, un recensement des puits aux alentours du site a été réalisé.

Une enquête préliminaire de terrain a été menée le 16/02/2017. Cette enquête a été couplée aux données collectées sur Infoterre où un certain nombre d'ouvrages est également recensé.

La carte ci-dessous (Illustration 41) présente les puits recensés aux alentours du site. Trois piézomètres sont également présents au droit des terrils (nommés Pz0, Pz1 et Pz2 sur l'illustration). Aucune information n'a été retrouvée concernant leur réalisation (date, coupes des terrains traversés, équipement, profondeur, etc…).

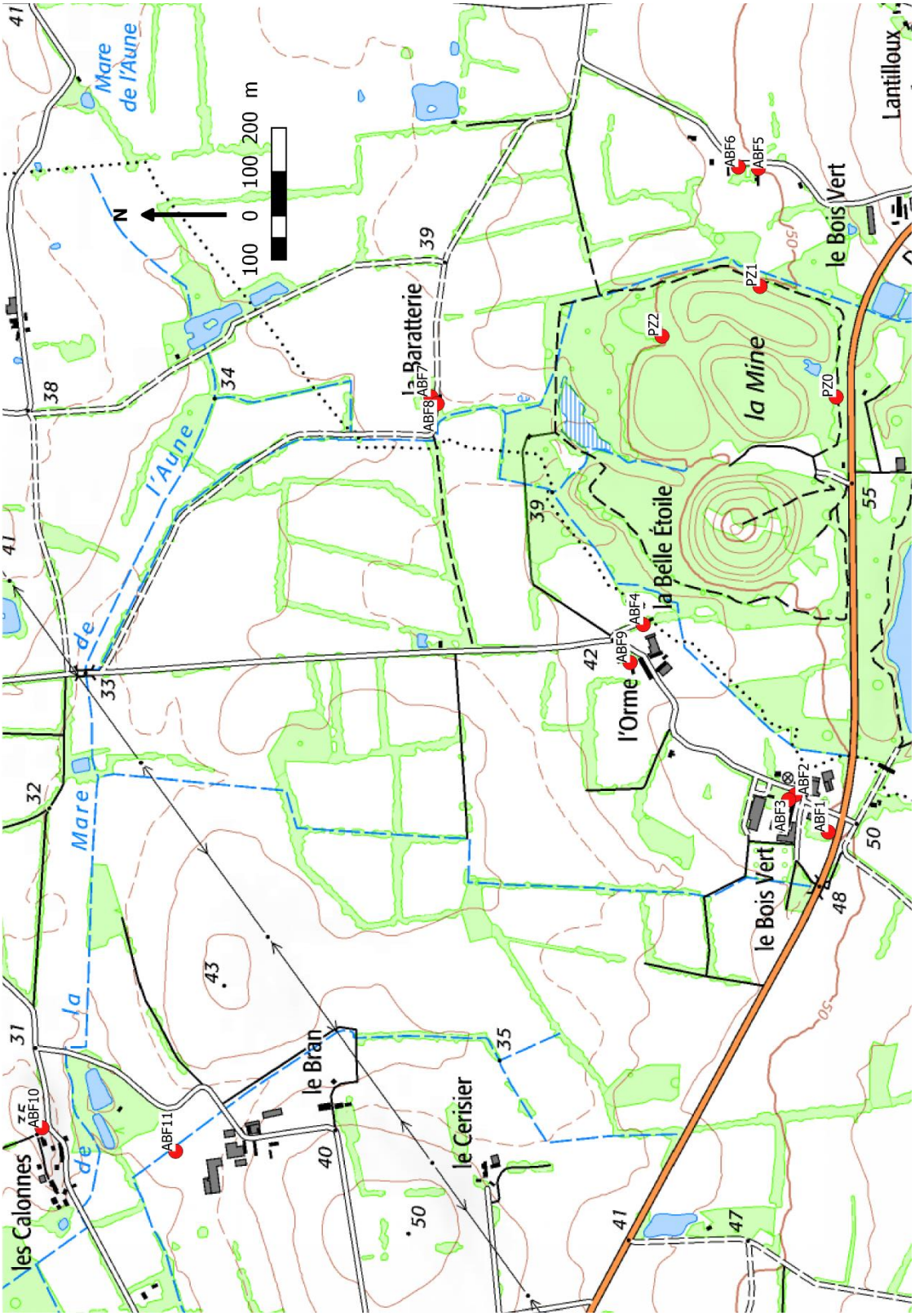


Illustration 41 - Localisation des puits recensés aux alentours du site du Bois Vert.

La tableau ci-dessous présente les usages associés à chacun de ces puits. Par usage domestique, il est entendu tous les usages liés à l'utilisation de l'eau dans une habitation, à savoir :

- sanitaire : alimentation humaine, soins d'hygiène, cuisine ;
- lavage et entretien de la maison ;
- productions végétale et animale réservées à la consommation familiale ;
- arrosage des espaces verts.

Puits	adresse	usage recensé	nappe captée	pfdeur_puits m	niv_eau m	équipement
ABF1	La Belle Etoile Nozay	non	superficielle	11	4,2	non
ABF2	La Belle Etoile Nozay	domestique (dont sanitaire), abreuvage	profonde	80	-	pompe
ABF3	La Belle Etoile Nozay	non	superficielle	7,8	4	non
ABF4	La Belle Etoile Nozay	irrigation fleurs	superficielle	6,96	0,6	pompe
ABF5	Le Bas Bois Vert Abbaretz	domestique hors sanitaire (arrosage jardin, voiture)	superficielle	-	-	pompe HS
ABF6	Le Bas Bois Vert Abbaretz	non	superficielle	6,5	0,9	non
ABF7	La baratterie Abbaretz	domestique (dont sanitaire)	profonde	100	-	pompe
ABF8	La baratterie Abbaretz	abreuvage en été	superficielle	6,28	0,4	non
ABF9	La Belle Etoile Nozay	abreuvage en été	profonde	60	-	pompe
ABF10	Les Calonnes Nozay	inconnu (refus propriétaire)	superficielle	-	-	pompe
ABF11	Le Bran Nozay	abreuvage	profonde	60	1,6	pompe
PZ0	Bois Vert Abbaretz	non	inconnue	15,18	4,3	non
PZ1	Bois Vert Abbaretz	non	inconnue	bouché	-	non
PZ2	Bois Vert Abbaretz	non	inconnue	11,9	1,52	non

Illustration 42 - Récapitulatif des usages recensés sur les puits de particuliers autour du site.

Il est à noter que deux puits sont connectés à des maisons individuelles pour un usage domestique dont sanitaire (ABF2 et ABF7). Les propriétaires de ces maisons ont indiqué que l'eau passait par un système de déferrisation entre le puits et la maison.

Quatre puits (ABF2, ABF8, ABF9 et ABF11) sont utilisés pour l'abreuvage d'animaux (cheptels compris entre 60 et 200 bovins). Deux d'entre eux (ABF2 et ABF11) possèdent un système de déferrisation pour traiter les eaux avant abreuvage. ABF9 n'est utilisé que la moitié de l'année, lorsque les bêtes sont mises en pacage. ABF8 est utilisé occasionnellement l'été.

Les propriétaires du puits ABF5 ont indiqué que la pompe installée dans le puits ne fonctionne plus et qu'il n'est pas prévu de la remettre en service. Ce puits n'est donc plus utilisé.

ABF1

ABF2

ABF3

ABF4

ABF6

ABF8

ABF9

ABF11

PZ2

PZ0

Illustration 43 - Photographies des puits recensés aux alentours du site.

4.4.3. Usage des eaux superficielles

Aucun usage d'eau superficielle n'a été recensé en aval du site. Compte tenu de la configuration du secteur (prairies), il n'est pas à exclure que les eaux superficielles soient utilisées par endroit pour l'abreuvage d'animaux d'élevage.

4.5. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE RÉFÉRENTIELS LOCAUX DISPONIBLES (FOND GÉOCHIMIQUE)

4.5.1. Sols

Plusieurs données sont disponibles et ont été utilisées pour déterminer le fond géochimique naturel de la zone d'étude. La nature de ces données est explicitée dans les paragraphes a) à c) et les données elles-mêmes sont fournies au paragraphe d).

a) Inventaire minier du territoire national

(extrait du rapport BRGM/RP-57725-FR)

« À partir des données de l'Inventaire Minier du Territoire National réalisé sur cette zone (Leduc C., 1985), les analyses chimiques de 1612[1] échantillons de sols et sédiments de fond de vallon correspondant à la feuille 1/50 000 de Nozay ont été extraites (pour les méthodologies d'échantillonnage et d'analyses, se reporter à http://sigminesfrance.brgm.fr/) (Greffié, 2009).

Des statistiques globales ont été réalisées sur les 1612 échantillons extraits de l'inventaire minier afin de définir un fond géochimique local et de souligner les zones anomales en éléments traces dans les sols. Pour ce faire, on se base sur un seuil de coupure défini par la valeur de la moyenne + 2 écart-types (X + 2σ); toute analyse inférieure à la limite de détection analytique est ramenée à la valeur de ce seuil pour les calculs statistiques.

Le cadmium n'est pas représenté car systématiquement inférieur à la limite de détection c'est-à-dire 2 ppm. Le molybdène est très proche de la limite de détection (seulement 30 points entre 2 et 26 ppm Mo) tout comme l'étain (18 prélèvements sols entre 20 et 172 ppm Sn). » Une valeur de fond est tout de même fournie pour ces deux éléments à partir de ces données.

Il est important de noter que ces données ont été acquises sur la fraction granulométrique 0 – 125 µm des échantillons prélevés. La minéralisation des échantillons avant analyse par plasma DCP a été réalisée par une attaque triacide quasi-totale, mais partielle pour certains minéraux résistants comme la tourmaline.

Il est également à noter que ces données ont été traitées sur l'ensemble des lithologies de la feuille 1/50 000 de Nozay. Il s'agit donc d'une estimation du fond pédo-géochimique global de la zone d'étude.

b) Données issues de la campagne de terrain à fluorescence X portable de 2009

Une campagne de mesures de terrain à l'aide d'un appareil portable à fluorescence X a été réalisée lors d'études précédentes (Greffié 2009 et Cottard 2010) au droit de la concession d'Abbaretz. De ces données, ont été extraites celles réalisées autour du site du Bois Vert, les mesures réalisées au droit des résidus ont été sorties de l'analyse statistique pour le calcul du fond pédo-géochimique. Ces mesures ne montrant pas d'anomalie particulière par rapport aux gammes de teneurs retenues dans l'inventaire minier ci-avant, il a été considéré que les mesures réalisées autour du lac de la mine pouvaient être utilisées étant donné que les matériaux sont constitués des matériaux de découverture de l'ancienne mine à ciel ouvert et donc représentatifs du fond géochimique local. 68 mesures ont donc été utilisées pour les calculs. Par cohérence et homogénéité de méthode, le même type d'analyse statistique que pour les données de l'inventaire minier a été utilisé (valeur moyenne + 2 écart-types σ).

Il est à noter que l'appareil portable à fluorescence X, en fonction de la nature des terrains, présente des limites de détection relativement hautes par rapport à celles d'un laboratoire d'analyses. En conséquence, les éléments traces dont les données présentaient trop de valeurs inférieures à la limite de détection de l'appareil n'ont pas été retenus pour le calcul du fond géochimique par cette méthode.

[1] Il est à noter que cet ensemble de 1616 échantillons dépasse le seul contexte Nozay-Abbaretz et correspond aux diverses zones géologiques de la feuille 1/50 000 de Nozay.

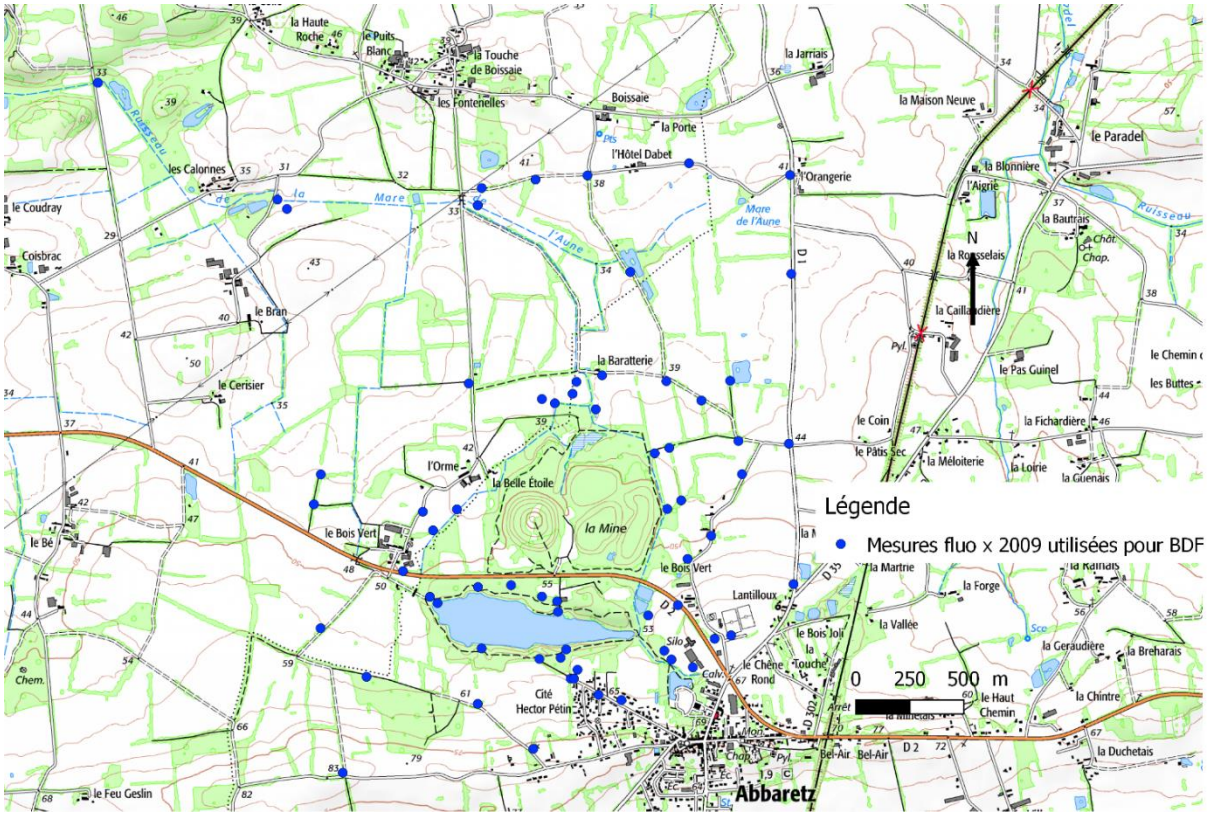


Illustration 44 - Localisation des mesures à fluorescence X portable acquises en 2009 sur le site du Bois Vert et utilisées pour le calcul du fond géochimique local.

c) Résultats des analyses de laboratoire des études précédentes

Trois échantillons de sols pouvant être utilisés comme échantillons « témoins » (hors de toute influence des anciennes activités) ont été prélevés pour analyse dans le cadre des études précédentes (Greffié 2009 et Cottard 2010). Leur localisation est présentée sur la figure ci-après.

Il est à noter que les analyses ont été réalisées sur la fraction de sol < 2mm. La minéralisation des échantillons avant analyse par ICP a été réalisée par une attaque acide totale.

Compte tenu du faible nombre d'échantillons disponibles, la valeur moyenne a été utilisée pour déterminer le fond pédo-géochimique à partir de ces données.

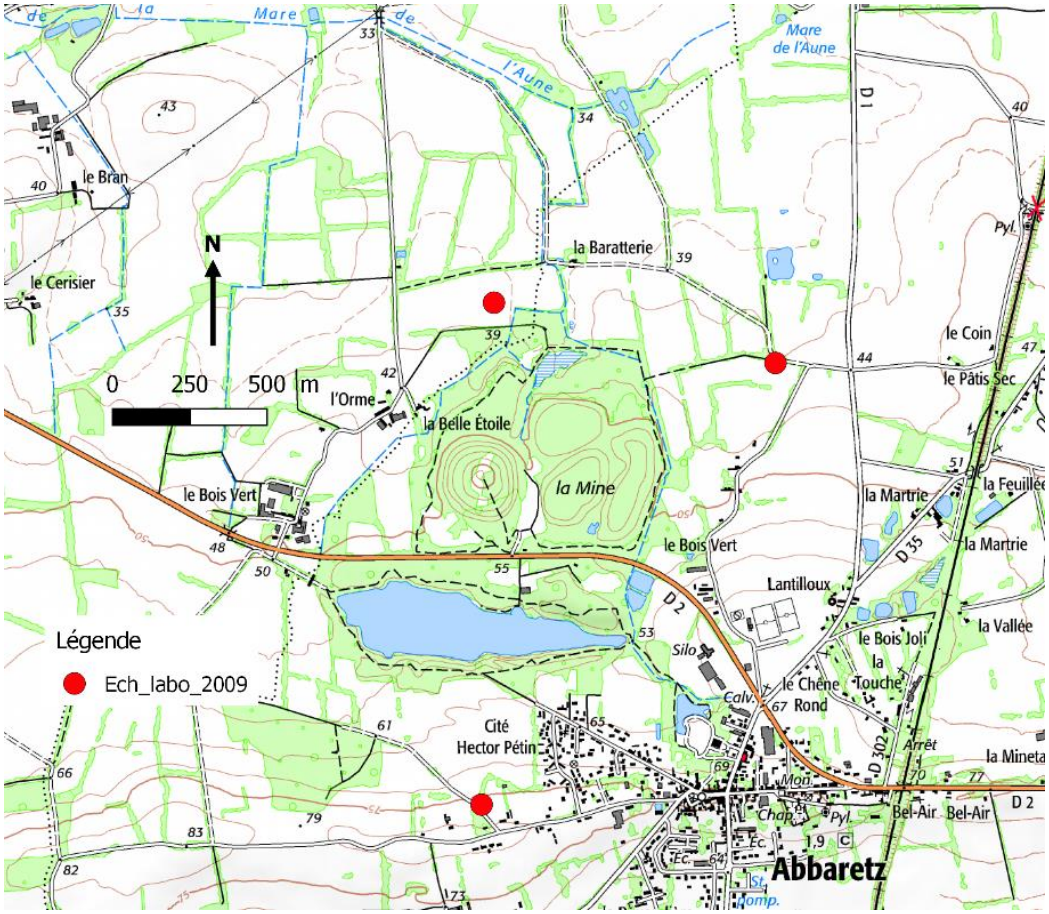


Illustration 45 - Localisation des échantillons de sols « témoins » prélevés en 2009.

d) Fond pédo-géochimique naturel

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs de fond pédo-géochimique déterminées à partir des données présentées ci-dessus pour les éléments mentionnés au § 4.1.2. (Al, As, B, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Pb, Sn, Ti, W, Zn), à l'exception du fer (cet élément ne présentant aucune toxicité et donc pas d'intérêt pour la suite de l'étude). Par ailleurs, des données étant disponibles pour les éléments Ba et Ni, ces éléments sont également présentés à titre informatif dans le tableau.

		fond pédo-géochimique local		
		Inv. minier[2]	**Fluo X 2009[3]**	**Labo 2009[4]**
Al	mg/kg	-	-	42344
As	mg/kg	75	83	116
B	mg/kg	37	-	464
Ba	mg/kg	651	-	299
Be	mg/kg	4,2	-	3,3
Bi	mg/kg	-	-	< 10
Cd	mg/kg	-	-	2,3
Cr	mg/kg	73	429	61
Co	mg/kg	47	-	56
Cu	mg/kg	46	-	18
Mn	mg/kg	1264	310	284
Mo	mg/kg	2,3	-	< 5
Ni	mg/kg	51	-	33
Pb	mg/kg	84	-	55
Sn	mg/kg	33	-	73
Ti	mg/kg	-	3927	4396
W	mg/kg	20,2	-	21
Zn	mg/kg	166	60	87

Illustration 46 - Fonds pédo-géochimiques de la zone d'étude.

4.5.2. Eaux souterraines

Concernant les données disponibles sur la base de données ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines), seules des données sont disponibles au niveau du captage AEP de Saffré. Or ce captage n'est pas situé dans la même couche géologique que le site d'étude et présente une profondeur de captage à 120 m de profondeur. Les données issues de ce captage ne sont donc pas représentatives du fond géochimique des eaux souterraines au droit du site d'étude.

Des prélèvements ont été réalisés dans les études précédentes (Geoderis, 2008) mais il est difficile de se prononcer sur l'absence d'influence des anciens travaux miniers sur la qualité des eaux de ces puits. En conséquence, ces données ne peuvent pas être considérées comme représentatives de l'état initial du site. Elles sont néanmoins présentées au § 7.2.

[2] Fond géochimique (moy+2σ) issu des données de l'inventaire minier (1612 données)

[3] Fond géochimique (moy+2σ) issu de mesures à fluorescence X portable de terrain en 2009 (68 mesures)

[4] Fond géochimique (moy) issu de résultats d'analyse sur 3 échantillons « témoins » (2009)

5. Sources de pollution et vecteurs de transfert

5.1. SOURCES (POTENTIELLES) DE POLLUTION ET POLLUANTS ASSOCIÉS

Au regard de l'historique du site (cf. § 3), les sources de pollution potentielles identifiées et les polluants associés sont donc :

Source (potentielle) de pollution	Localisation	Polluants associés
Stériles et résidus de traitement	Nord RD2 (terrils)	ETM*
Anciennes installations de traitement et tas de résidus et stériles	Sud RD2 (cf. plan de recollement)	ETM*
Procédé de flottation des sulfurés	Sud RD2 (localisation précise inconnue)	inconnu
Installations connexes à l'usine de traitement : • Centrale électrique • Stockage huiles • Stockage essence • Atelier et garage	Sud RD2 (Cf. plan de recollement)	• PCB[5] • Hydrocarbures, HAP[6] • Hydrocarbures, BTEX[7], Pb • Hydrocarbures, HAP, BTEX, COHV[8]

*ETM : Eléments traces métalliques mentionnés au § 4.1.2. (Al, As, B, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Pb, Sn, Ti, W, Zn)

Concernant les polluants potentiels associés au procédé de flottation des sulfurés, aucune information n'a été retrouvée concernant le type de réactif utilisé (moussants ? tensioactifs type xanthates ? chaux ? cyanures ?). Cependant, ces polluants sont généralement peu persistants dans l'environnement pour la forme sous laquelle ils étaient utilisés. Ainsi, compte tenu de ces propriétés et du fait que ce procédé ait été mis en œuvre sur une période de temps très restreinte (un ou deux ans), il est très peu probable que ces polluants soient retrouvés dans l'environnement aujourd'hui.

Pour rappel, dans le cadre de cette étude, il était prévu de se consacrer uniquement aux dépôts de stériles et résidus situés au nord de la route départementale pour lesquels de nouveaux usages ont été recensés. Ainsi, les sources de pollution potentielle issues des anciennes installations de l'exploitation minière, situées au sud de la route départementale, n'ont pas fait l'objet d'un diagnostic particulier dans la suite de cette étude.

[5] Polychlorobiphényles

[6] Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

[7] Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes

[8] Composés Organiques Halogénés Volatils

5.2. VECTEURS DE TRANSFERT

Pour la zone d'étude concernée (terrils au nord de la RD2), l'étude de vulnérabilité a permis de mettre en évidence les vecteurs de transfert potentiels suivants :

- les sols superficiels et les poussières au droit des terrils ;
- les eaux souterraines ;
- les eaux superficielles ;
- les poissons et animaux impactés par les vecteurs de transfert ci-dessus.

Le vecteur de transfert via l'envol de poussières vers les terrains aux alentours des terrils n'a pas été considéré ici. En effet, comme indiqué dans le § 4.5.1, les données à fluorescence X portable récoltées en 2009 sur les terrains autour des terrils n'ont pas montré d'anomalie particulière par rapport au fond pédo-géochimique naturel local. Cette voie de transfert peut donc être écartée.

Les vecteurs de transfert et les sources de pollution recensées ci-avant permettent de réaliser le schéma conceptuel préliminaire du secteur d'étude (hors anciennes installations de traitement de minerai), cf. page suivante.

Le plan de gestion du DMA, en cours de mise en œuvre, va permettre de couper un certain nombre de voies de transfert recensées actuellement, notamment via les eaux superficielles. La suite de l'étude va donc se consacrer aux autres voies de transfert et d'exposition potentielles qui ne sont pas intégrées à ce plan de gestion.

Il conviendra cependant de vérifier l'efficacité de ces mesures de gestion sur ces voies de transfert une fois qu'elles auront été mises en œuvre (notamment par la réalisation d'analyses sur les milieux concernés).

6. Schéma conceptuel initial

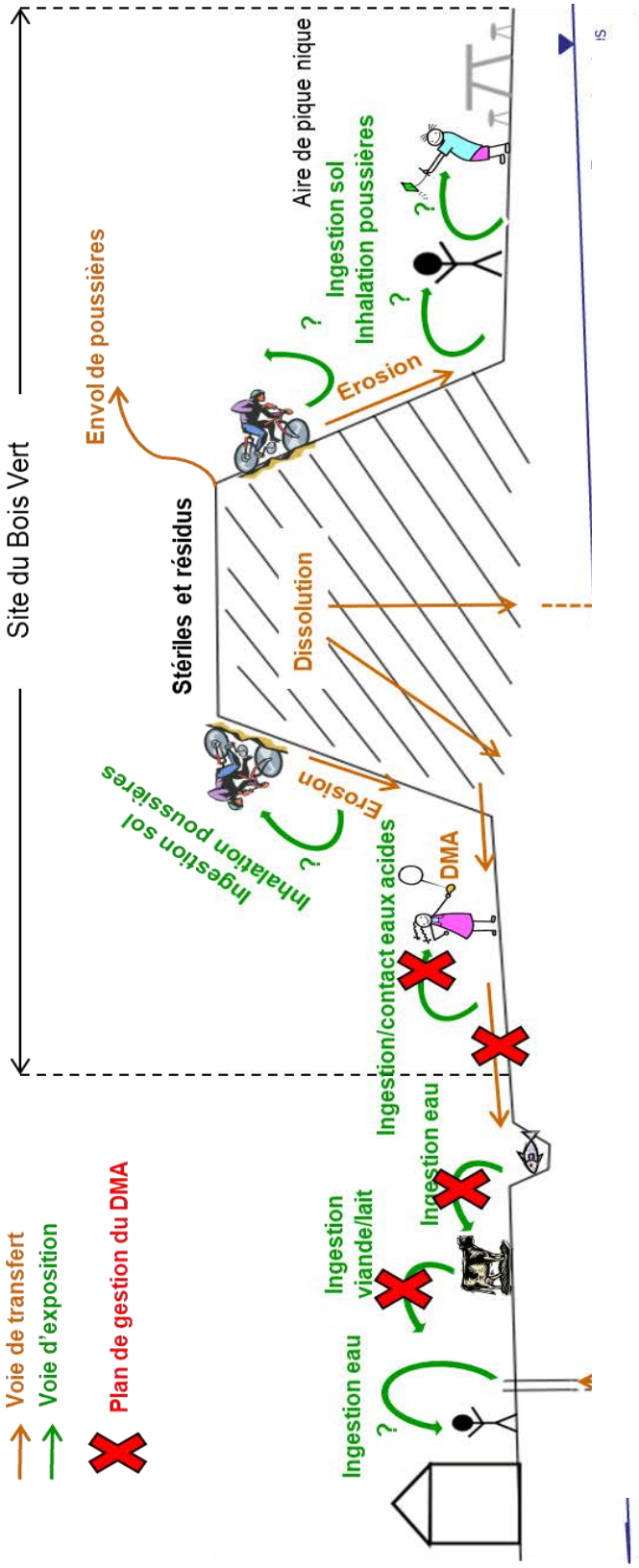


Illustration 47 - Schéma conceptuel préliminaire.

7. Synthèse des données existantes sur la qualité des milieux

Pour rappel, le milieu eau superficielle n'est pas considéré dans la suite de l'étude compte tenu des travaux de mise en œuvre du plan de gestion du DMA qui sont en cours. La qualité de ce milieu sera cependant contrôlée après travaux afin de s'assurer de la compatibilité du milieu avec ses usages et de l'efficacité des mesures de gestion.

7.1. SOLS SUPERFICIELS

Concernant la qualité des sols superficiels au droit du site du Bois Vert, plusieurs données sont disponibles.

En premier lieu, Antea a réalisé des prélèvements et analyses sur 10 échantillons en 2002.

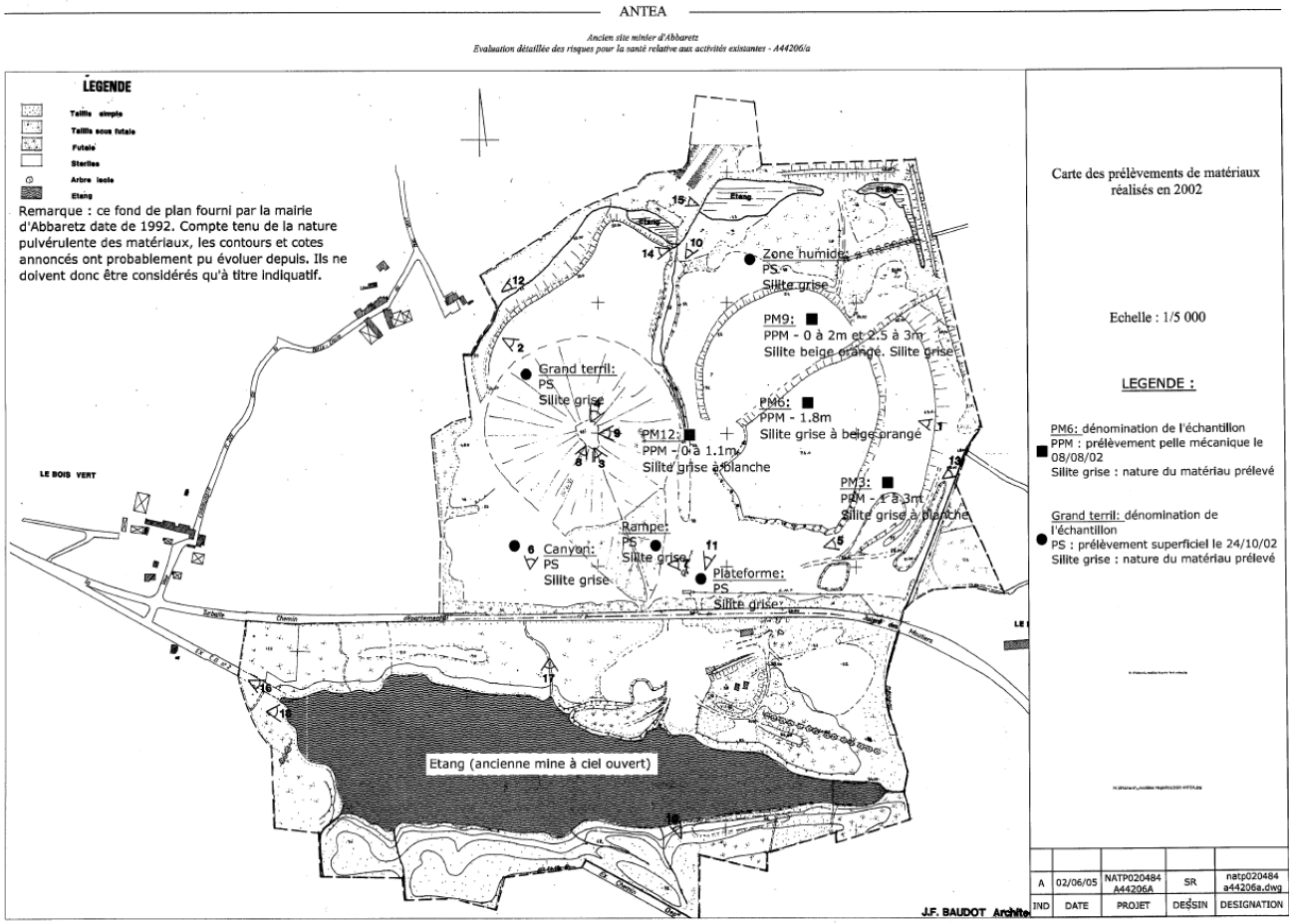


Illustration 48 - Localisation des prélèvements de sols réalisés par ANTEA en 2002.

Les échantillons ont été analysés sur la fraction < 2 mm et après attaque à l'eau régale (non totale). Les résultats sont les suivants :

	Grand terril	Zone humide	Canyon	Rampe	Plateforme	F9	F9-3m	F12	F3	F6
As	300	200	220	160	160	410	330	220	180	100
Ba	49	23	18	27	57	55	180	65	55	86
Cd	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Cr	27	31	40	21	27	27	9	< 0,2	38	< 0,2
Co	< 0,2	1,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cu	1,3	7,7	6,7	6,4	6,2	18	12	5,2	< 0,2	8,6
Sn	< 0,5	47	45	< 0,5	75	< 0,5	< 0,5	110	< 0,5	< 0,5
Hg	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ni	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Pb	< 0,2	< 0,2	17	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Se	4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Ti	210	69	7,9	100	35	42	47	28	15	38
Zn	11	9,5	2	13	23	4,6	3,5	2,7	1,7	10

Illustration 49 - Résultats des analyses réalisées par Antea en 2002 sur le site du Bois Vert.

Puis, dans le cadre de l'élaboration de la carte informative aléa environnement (Greffié 2009), trois échantillons ont été prélevés au droit du site pour analyse.

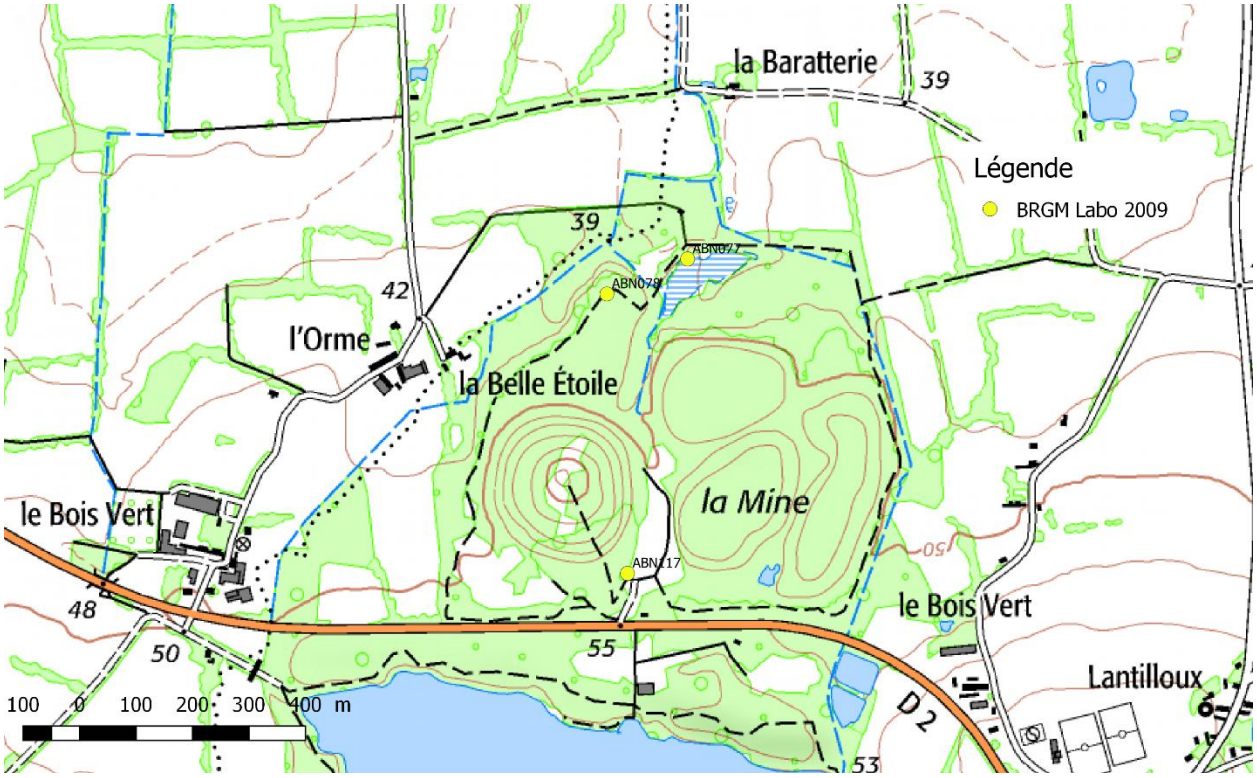


Illustration 50 - Localisation des échantillons analysés par le BRGM en 2009.

Les échantillons ont été analysés après attaque acide totale. Les résultats sont les suivants :

	unité	ABN077	ABN078	ABN117
Al2O3	%	17,5	19,2	11,4
Al	mg/kg	92627,5	101625,6	60340,2
As	mg/kg	370	202	301
B	mg/kg	8627	10741	5176
Ba	mg/kg	383	433	314
Be	mg/kg	9	12	8
Bi	mg/kg	< 10	< 10	< 10
Cd	mg/kg	2	2	2
Co	mg/kg	14	13	10
Cr	mg/kg	103	110	70
Cu	mg/kg	11	10	12
MnO	%	0,02	0,02	0,01
Mn	mg/kg	154,9	154,9	77,45
Mo	mg/kg	< 5	5	6
Ni	mg/kg	25	25	19
Pb	mg/kg	37	48	43
Sn	mg/kg	77	111	74
TiO2	%	0,9	0,8	0,48
Ti	mg/kg	5395,5	4796	2877,6
W	mg/kg	17	26	27
Zn	mg/kg	115	132	67

Illustration 51 - Résultats des analyses réalisées par le BRGM en 2009 sur le site du Bois Vert.

Bien que les matériaux considérés ne soient pas de même nature (résidus miniers vs sols de surface)[9], si l'on compare ces données par rapport aux données de fond pédo-géochimique présentées précédemment, les résultats indiquent un dépassement des teneurs en **Al, As, B, Be et Sn**. Les autres éléments présentent des teneurs inférieures ou de l'ordre de grandeur des gammes de fond pédo-géochimique.

[9] Contrairement aux résidus miniers qui sont constitués de fragments et déblais de roche (mélange de roche hôte et de matériaux filoniens) ou de matériaux de très faible granulométrie présentant des teneurs en métaux et métalloïdes élevées à très élevées, les sols sont une couche supérieure de la croûte terrestre transformée par des processus climatiques, physico-chimiques et biologiques et composée de particules minérales, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes vivants. Ils présentent généralement des teneurs plus faibles que dans les matériaux issus de l'extraction et du traitement du minerai.

		fond pédo-géochimique			Sols Bois Vert	
		Inv. minier	Fluo X 2009	Labo 2009	ANTEA 2002	BRGM 2009
Nb valeurs		1612	68	3	10	3
Al	mg/kg	-	-	42344	-	**84864**
As	mg/kg	75	83	116	**228**	**291**
B	mg/kg	37	-	464	-	**8181**
Ba	mg/kg	651	-	299	61,5	377
Be	mg/kg	4,2	-	3,3	-	**9,7**
Bi	mg/kg	-	-	< 10	-	< 10
Cd	mg/kg	-	-	2,3	< 0,02	2
Cr	mg/kg	73	429	61	27,5	94,3
Co	mg/kg	47	-	56	< 0,2	12,3
Cu	mg/kg	46	-	18	8	11
Mn	mg/kg	1264	310	284	-	129
Mo	mg/kg	2,3	-	< 5	-	5,3
Ni	mg/kg	51	-	33	< 0,2	23
Pb	mg/kg	84	-	55	< 0,2	43
Sn	mg/kg	33	-	73	69,0	**87**
Ti	mg/kg	-	3927	4396	59	4376
W	mg/kg	20,2	-	21	-	23
Zn	mg/kg	166	60	87	8	105

Illustration 52 - Comparaison des données moyennes issues des études précédentes au fond pédo-géochimique local.

7.2. EAUX SOUTERRAINES

Trois prélèvements d'eaux souterraines ont été réalisés lors des études précédentes (Geoderis, 2010). Ces trois prélèvements présentent les caractéristiques suivantes :

Nom	Date de prélèvement	Localisation
ABE01	06/07/2009	Forage agricole de Beaulieu
ABE08	09/07/2009	Forage agricole du Bran (ABF11 dans la présente étude)
ABE20	06/11/2009	Ancien forage agricole au sud-est du site du Bois Vert

Il est à noter que Geoderis mentionne dans son rapport que le prélèvement ABE01 concerne le site du Bé. Or, d'après les plans et les coordonnées GPS retrouvées (Cottard, 2010), il s'agirait plutôt du site de Beaulieu.

Il est à noter que ces forages n'ont pas fait l'objet d'un prélèvement simultané (notamment ABE20 qui a été prélevé en période hivernale alors que ABE01 et ABE08 en période estivale). Par ailleurs, aucune information n'est fournie concernant les caractéristiques des forages et la technique de prélèvement employée (profondeur, matériel utilisé, etc.).

Les résultats sont les suivants :

Nom	unité	ABE01	ABE08	ABE20
Date_plvt		06/07/2009	09/07/2009	06/11/2009
pH		5,5	6,3	5,3
conductivite	µS/cm	510	616	393
Al	µg/L	258,6	5	280
As	µg/L	123	60	1,07
B	µg/L	32,2	85,2	17
Ba	µg/L	138,8	23,7	105
Be	µg/L	0,24	0,94	0,78
Cd	µg/L	1,656	<0,025	0,72
Co	µg/L	34,3	4,5	6,5
Cu	µg/L	14,4	<0,3	90
Fe	mg/L	0,25	6,15	0,334
Li	µg/L	30,2	191,1	14
Mn	µg/L	1245	306	671
Ni	µg/L	49,7	10,4	11
Pb	µg/L	0,3	<0,1	2,6
Zn	µg/L	162	83,1	3888
Sulfates	mg/L	46,4	79	87,7
HCO3-	mg/L	54	68	15
Potassium	mg/L	52,9	6,5	3,8
Magnésium	mg/L	12,2	12,5	14,4
Sodium	mg/L	27,1	54,3	35,1
Nitrates	mg/L	79,2	<0,5	35,6
Chlorures	mg/L	80,5	93,5	60,7
Calcium	mg/L	21,1	23,5	23,9

Illustration 53 - Résultats des analyses d'eau souterraine réalisées lors des études précédentes.

Ces résultats présentent des concentrations hétérogènes qui peuvent être éventuellement expliquées par le contexte géologique régional lequel présente des zones minéralisées fortement anomales en éléments traces métalliques. En l'absence de données en relation avec l'état de référence des eaux souterraines non influencé par les travaux miniers souterrains, il n'est pas possible de conclure sur l'origine naturelle ou non des concentrations observées.

8. Investigations complémentaires

Au regard du schéma conceptuel préliminaire et de la synthèse des données existantes sur la qualité des milieux, des incertitudes subsistent sur la qualité des eaux souterraines au droit des usages recensés. Par ailleurs, compte tenu du peu de données disponibles sur les terrils et des nombreux usages qui en sont faits, des données complémentaires doivent être collectées sur la qualité des sols superficiels au droit du site.

8.1. EAUX SOUTERRAINES

8.1.1. Méthodologie

Une partie des puits recensés a été échantillonnée dans le cadre de la présente étude. La sélection des puits pour le prélèvement a été réalisée selon leur localisation, leur profondeur, leur usage et l'accord des propriétaires. Le tableau suivant résume la sélection des puits prélevés.

Puits recensés	Usage	Prélèvement
ABF1	Non	Non
ABF2	Domestique (dont sanitaire) et abreuvage	Oui (avant et après système de traitement)
ABF3	Non	Oui
ABF4	Irrigation fleurs	Oui (localisation aval proche du site)
ABF5	Anciennement domestique (jardin et voiture hors sanitaire), pompe HS	Non (pompe HS)
ABF6	Non	Oui (proche ABF5)
ABF7	Domestique (dont sanitaire)	Non (refus propriétaire)
ABF8	Abreuvage en été	Oui
ABF9	Abreuvage en été	Oui
ABF10	Inconnu	Non (refus propriétaire)
ABF11	Abreuvage	Oui (avant et après système de traitement)
Pz0	Non	Oui
Pz1	Non	Non (colmaté)
Pz2	Non	Oui

Illustration 54 - Sélection des puits prélevés.

Il est à noter que le propriétaire du puits ABF7 a refusé que le prélèvement soit réalisé chez lui bien que son habitation soit entièrement alimentée par ce puits (maison non connectée au réseau AEP de la commune).

La méthodologie de prélèvement des eaux souterraines a respecté les principes suivants :

- avant chaque prélèvement, une mesure piézométrique et une mesure du fond de l'ouvrage a été réalisée lorsque celui-ci était accessible ;
- une purge de l'ouvrage à l'aide d'une pompe immergée a été réalisée jusqu'à stabilisation des paramètres physico-chimiques ;

- les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une pompe immergée positionnée au milieu de la colonne d'eau lorsque que le puits n'était pas équipé. Lorsque le puits était équipé, le prélèvement a été réalisé au niveau du point d'usage ;
- pour les puits possédant un système de traitement d'eau (déferriseur), les prélèvements ont été réalisés avant et après le système de traitement ;
- les flacons ont été rincés au moins 2 fois avec l'eau prélevée avant remplissage ;
- les échantillons ont été filtrés à 0,45 µm et acidifiés sur place pour l'analyse des métaux dissous ;
- les échantillons ont été acidifiés sur place pour l'analyse des métaux totaux ;
- les échantillons ont été mis en flacons sans filtration ni acidification sur site pour les anions et cations majeurs ;
- les échantillons étaient directement étiquetés sur place puis stockés en glacière avec blocs réfrigérants ;
- après les prélèvements et le conditionnement des échantillons, la glacière a été envoyée directement par transport en express au laboratoire d'analyses.

Les prélèvements ont été réalisés les 23 et 24 mars 2017.

Des mesures *in situ* des principaux paramètres physico-chimiques des eaux (pH, Eh, T°, Conductivité) ont été réalisées sur chaque point de prélèvement à l'aide d'un appareil de mesures multi-paramètres étalonné avant la campagne.

Le laboratoire d'analyse retenu est le laboratoire Wessling de Lyon (69). Ce dernier est agréé par le COFRAC et le Ministère en charge de l'Environnement.

Les paramètres analysés au laboratoire ont été les suivants :

- éléments traces métalliques totaux et dissous ;
- Cations (Ca, K, Mg, Na) et anions (HCO3-, CO32-, Cl-) majeurs ;
- Sulfates.

8.1.2. Résultats

Les bulletins d'analyses complets sont présentés en Annexe 3.

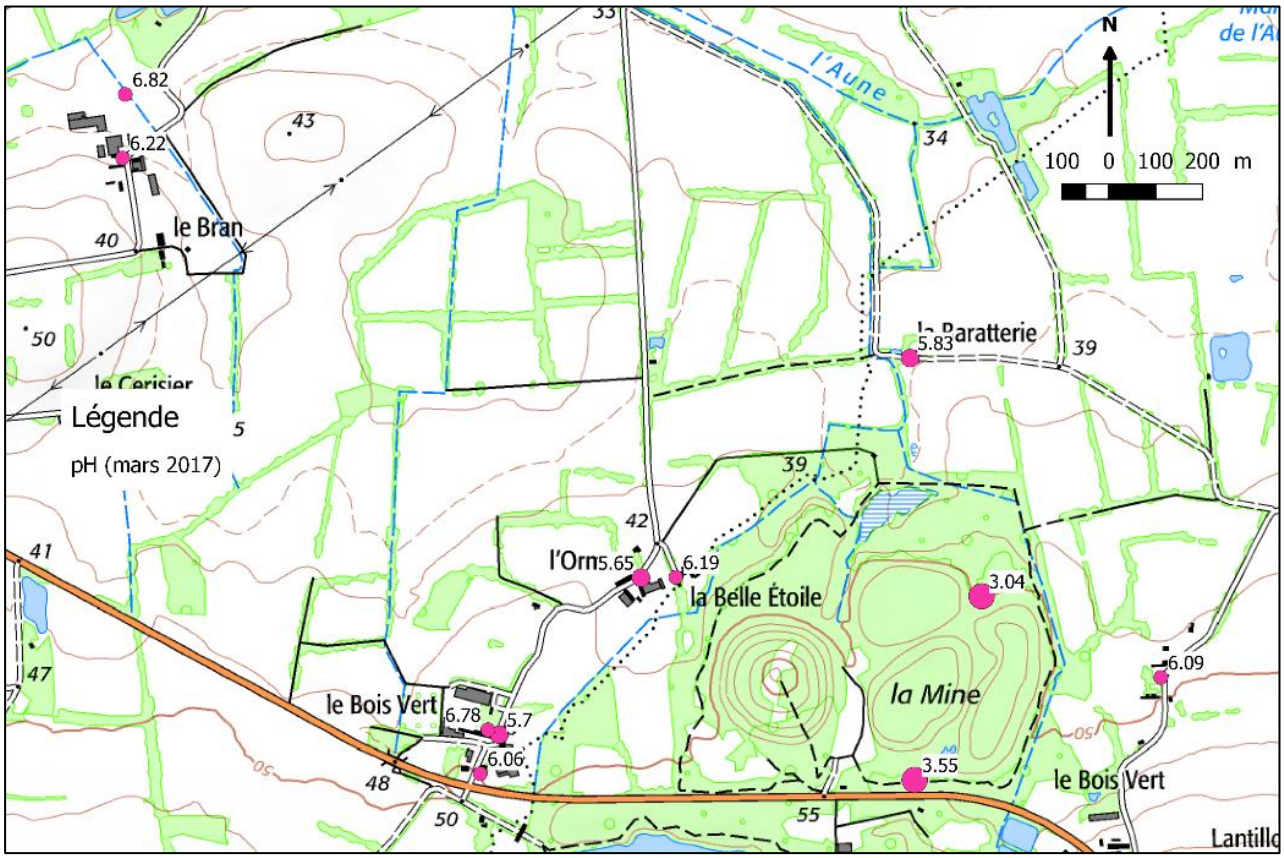
Le tableau et les cartographies suivants (et Illustration 56) présentent les résultats des mesures et analyses réalisées.

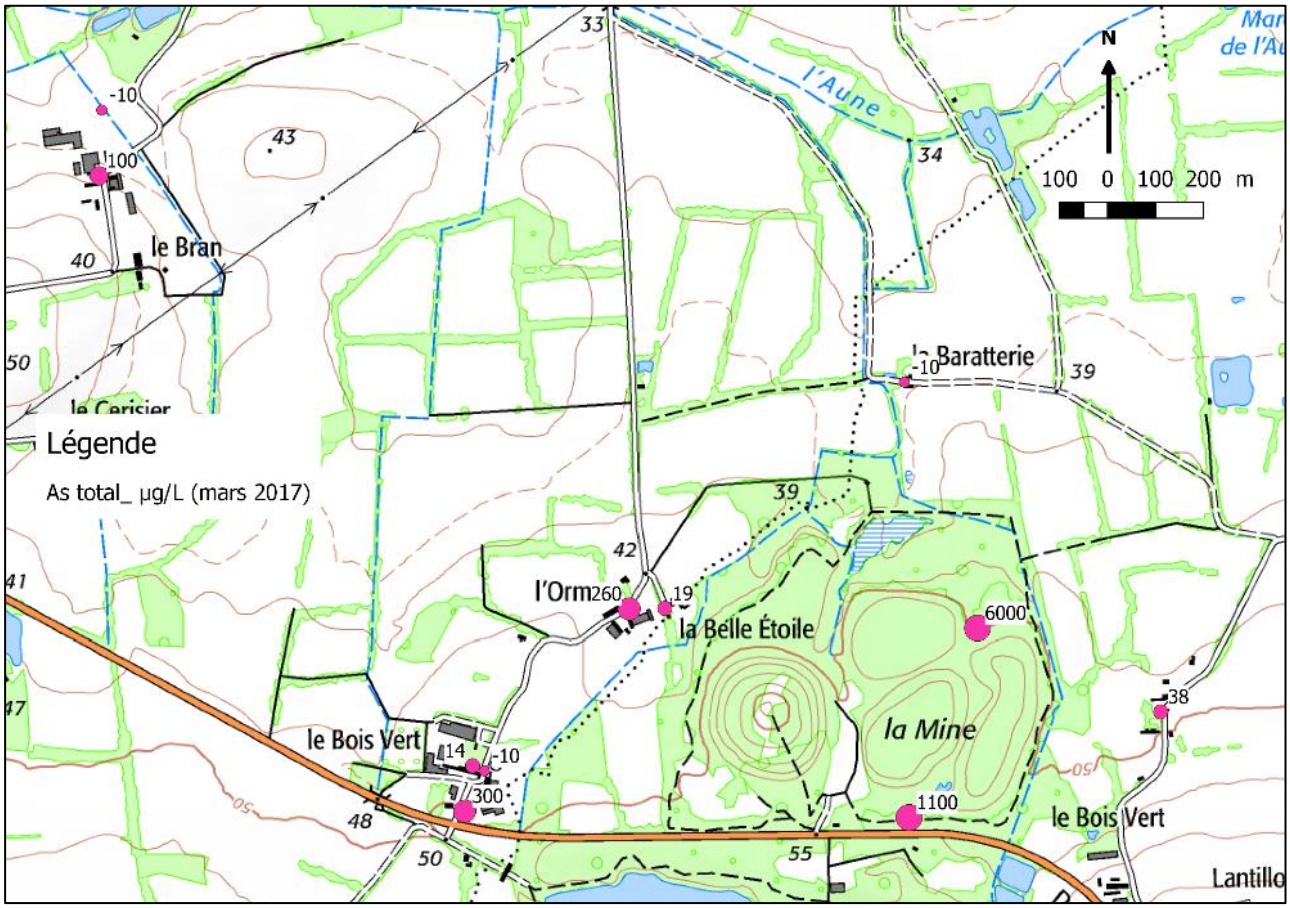
Compte tenu du sens supposé d'écoulement des eaux, l'ouvrage ABF6 pourrait être considéré comme référentiel « amont », cependant l'influence potentielle des anciens travaux miniers (et notamment de l'ancienne mine à ciel ouvert) sur cet ouvrage ne peut être exclue. L'utilisation de ces résultats comme « référentiel » est donc à considérer avec précaution. Le piézomètre Pz0 pourrait éventuellement être également considéré comme un référentiel « amont » mais son implantation au sein des résidus miniers ne permet pas de pouvoir le considérer comme tel.

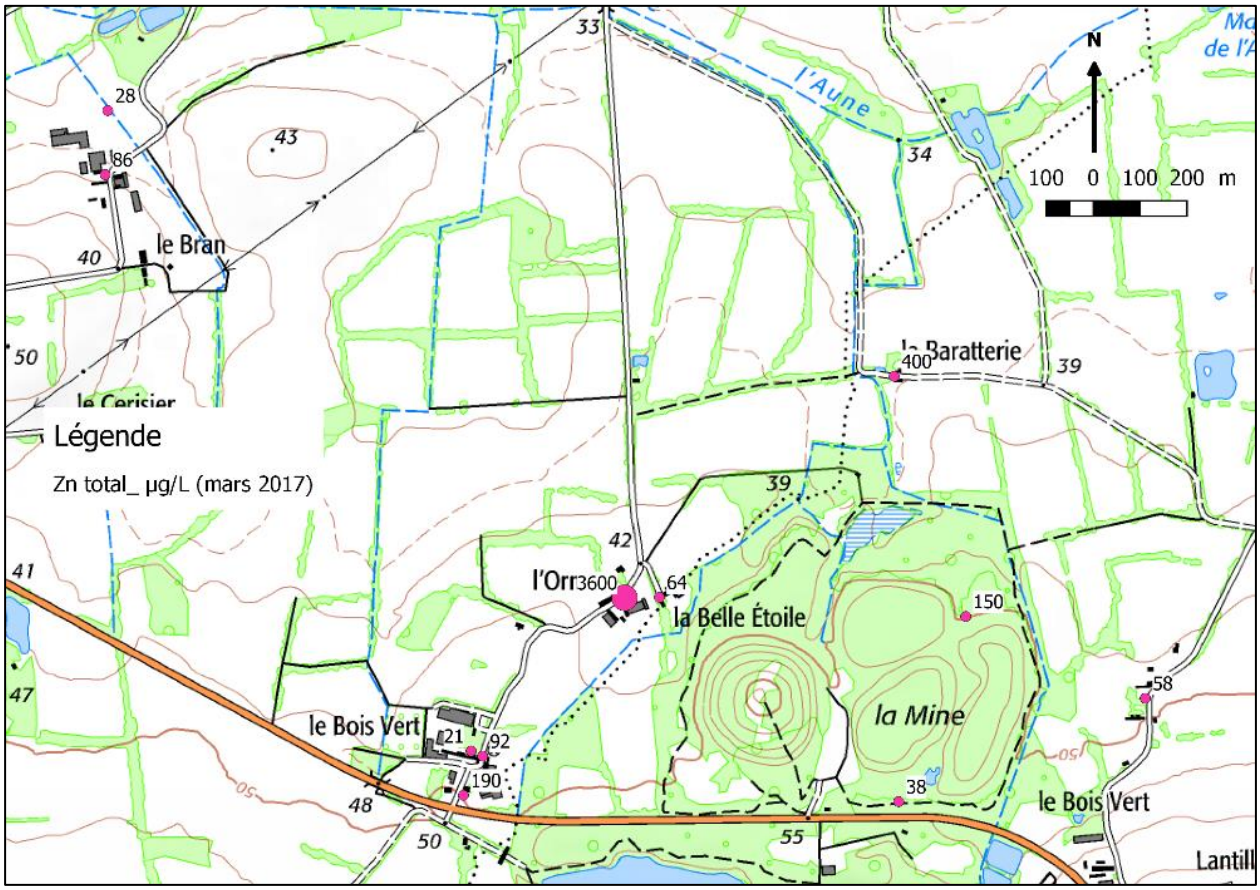
Par ailleurs, les mesures de niveau piézométrique réalisées ne permettent pas de définir un sens d'écoulement des eaux souterraines. En effet, les ouvrages recensés n'ont pas fait l'objet de nivellement et le manque de connaissance de leur structure et leur hétérogénéité (en profondeur, structure, équipement, etc.) engendrerait trop d'incertitudes pour la réalisation d'une esquisse piézométrique.

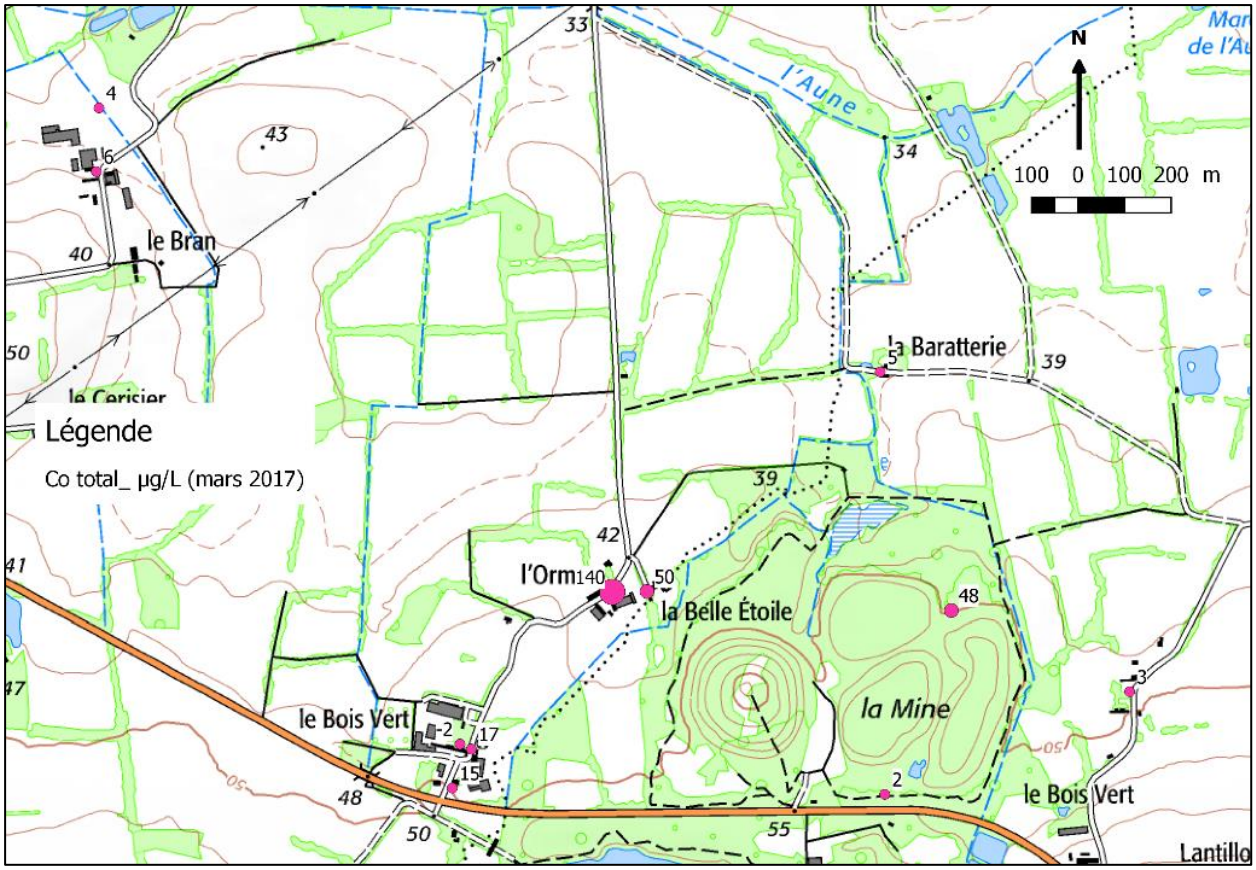
			ABF2_brut	ABF2_trait	ABF3	ABF4	ABF6	ABF8	ABF9	ABF11_brut	ABF11_trait	PZ0	PZ2
		usage	non	domestique	non	non	non	abreuvage	abreuvage	non	abreuvage	non	non
Paramètres in situ	pH		6,06	5,7	6,78	6,19	6,09	5,83	5,65	6,22	6,82	3,55	3,04
	Eh corrigé	mV	nm	nm	nm	241,3	319,0	328,3	290,5	226,6	296,2	510,7	744,2
	Conductivité	µS/cm	335	316	332	1350	731	276	625	510	627	73	452
	Température	°C	14	13,4	11,8	11,6	10,6	11,5	12,3	12,6	12,8	12,5	11,8
	O2 dissout	mg/L	5,57	4,38	3,41	0,27	1,38	3,5	0,22	2,28	2,46	3,09	4,4
	O2 dissout	%	52,5	42,3	31,6	2,5	12,7	32,3	2,1	21,6	23,3	29,3	41
Cations majeurs	Calcium	mg/L	14	13	33	55	50	13	17	25	40	0,39	1,6
	magnésium	mg/L	11	10	5,5	39	17	11	28	13	27	0,29	1,6
	Potassium	mg/L	2,9	2,5	24	70	17	6,6	5,3	6,8	6,6	0,65	1,6
	Sodium	mg/L	32	31	11	110	56	17	40	47	48	3,6	4,5
Anions majeurs	HCO3	mg/L	37	35	120	88	40	29	< 10	54	160	< 10	< 10
	CO3	mg/L	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Chlorures	mg/L	55	54	19	270	150	35	110	74	74	7	8
	sulfates	mg/L	42	38	22	180	78	31	100	75	75	6	89
Eléments traces métalliques	Al dissout	µg/L	4	4	41	4	19	85	10	3	4	170	4600
	Al tot	µg/L	51	140	170	57	69	87	680	46	48	250	4700
	As dissout	µg/L	< 10	< 10	16	< 10	38	< 10	< 10	< 10	< 10	100	58
	As tot	µg/L	300	< 10	14	19	38	< 10	260	100	< 10	1100	6000
	B dissout	µg/L	< 50	< 50	88	< 50	< 50	< 50	< 50	66	71	< 50	< 50
	B tot	µg/L	100	170	240	91	84	160	99	230	190	110	150
	Be dissout	µg/L	0,5	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2	0,8	0,1	0,1	5
	Be tot	µg/L	2	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5	2	0,1	0,1	4
	Co dissout	µg/L	15	17	< 2	51	3	4	140	6	4	< 2	52
	Co tot	µg/L	15	17	< 2	50	3	5	140	6	4	2	48
	Cr dissout	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	11
	Cr tot	µg/L	2	2	2	2	1	2	7	2	2	5	20
	Cu dissout	µg/L	5	9	6	< 1	7	12	6	< 1	12	16	1100
	Cu tot	µg/L	55	18	15	10	18	21	41	8	22	27	1100
	Fe dissout	mg/L	0,023	0,022	0,028	0,04	0,025	0,59	0,063	0,06	0,029	0,07	3,5
	Fe tot	mg/L	8,7	0,57	0,08	7	0,12	0,41	160	10	0,098	2	23
	Mn dissout	µg/L	210	210	0,5	930	10	40	820	330	220	24	200
	Mn tot	µg/L	220	220	16	980	22	21	840	350	230	43	210
	Mo dissout	µg/L	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
	Mo tot	µg/L	4	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
	Ni dissout	µg/L	33	33	< 2	140	12	21	190	18	11	2	130
	Ni tot	µg/L	33	34	4	140	23	24	190	21	19	5	130
	Sn dissout	µg/L	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	Sn tot	µg/L	11	6	6	< 5	6	9	6	7	7	< 5	6
	Zn dissout	µg/L	290	84	6	47	38	650	3400	57	15	9	150
	Zn tot	µg/L	190	92	21	64	58	400	3600	86	28	38	150

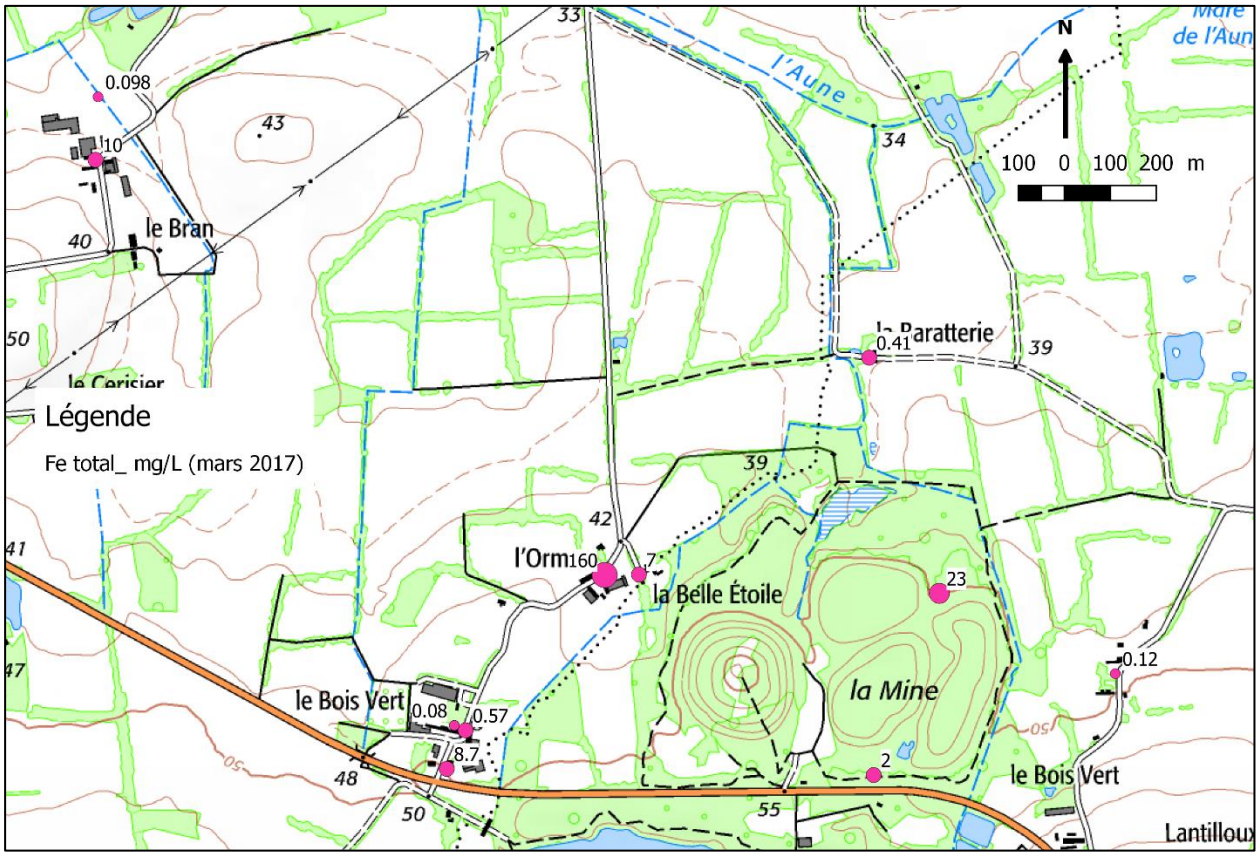
Illustration 55 - Résultats des analyses dans les eaux souterraines.


Légende
pH (mars 2017)
6.82
6.22
le Bran
le Cerisier
la Baratterie
5.83
l'Orn
5.65
6.19
la Belle Étoile
3.04
6.09
la Mine
le Bois Vert
6.78
5.7
6.06
3.55
le Bois Vert
l'Aune
N
100 0 100 200 m


Légende
As total_ µg/L (mars 2017)
-10
100
le Bran
le Cerisier
la Baratterie
-10
l'Orm
260
19
la Belle Étoile
6000
38
la Mine
le Bois Vert
14
-10
300
1100
le Bois Vert
l'Aune
N
100 0 100 200 m


Légende
Zn total_ µg/L (mars 2017)
N
100 0 100 200 m
l'Aune
le Bran
le Cerisier
la Baratterie
l'Orr
la Belle Étoile
la Mine
le Bois Vert
le Bois Vert
Lantill
28
86
400
3600
64
150
58
21
92
190
38
33
34
43
40
50
39
42
41
47
48
55


Légende
Co total_ µg/L (mars 2017)
N
100 0 100 200 m
l'Aune
le Bran
le Cerisier
la Baratterie
l'Orm
la Belle Étoile
la Mine
le Bois Vert
le Bois Vert
Lantillo
4
6
5
140
50
48
3
2
17
15
2
33
34
43
40
50
39
42
41
47
48
55



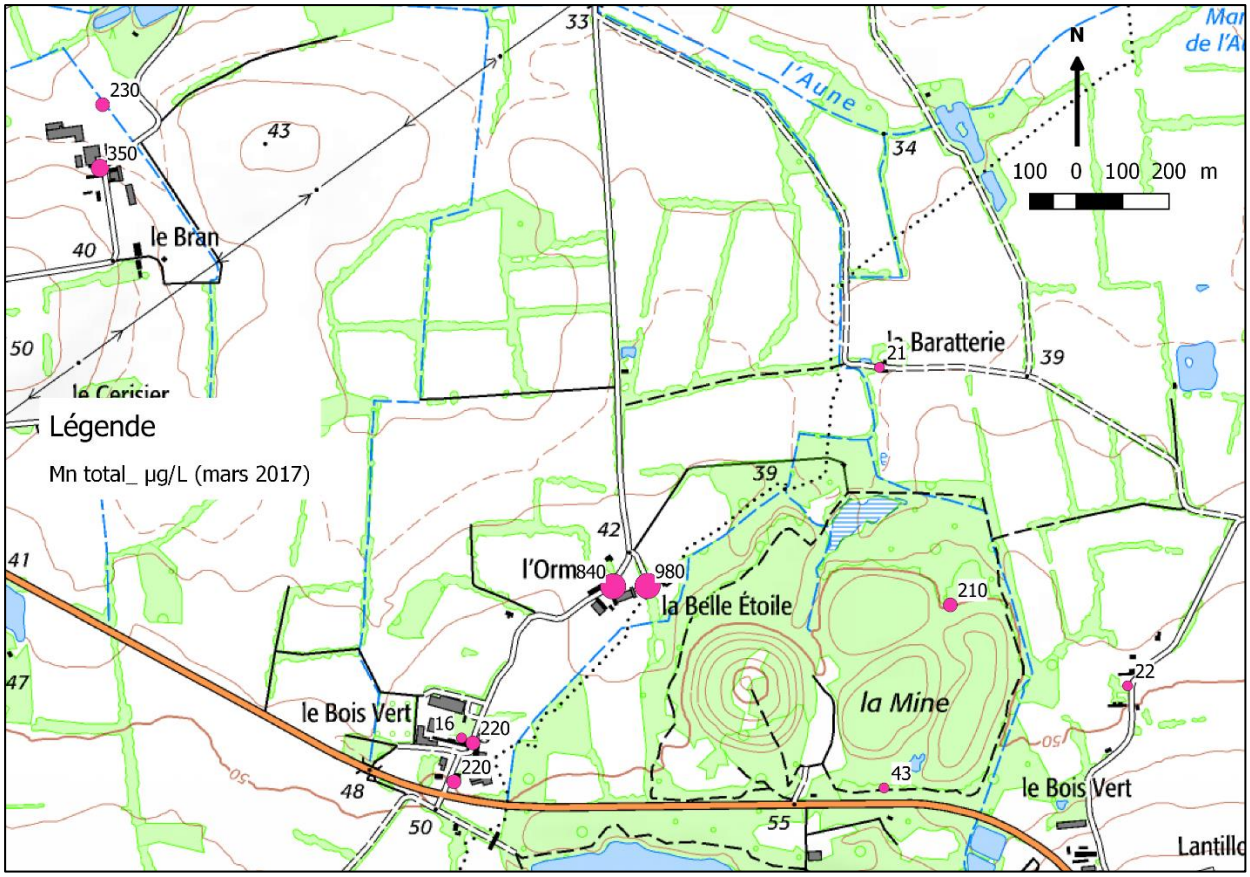


Illustration 56 - Cartographies des concentrations dans les eaux souterraines des puits échantillonnés.

a) Anions et cations majeurs

Afin d'aider à l'interprétation des résultats, un diagramme de Piper a été réalisé (Illustration 57).

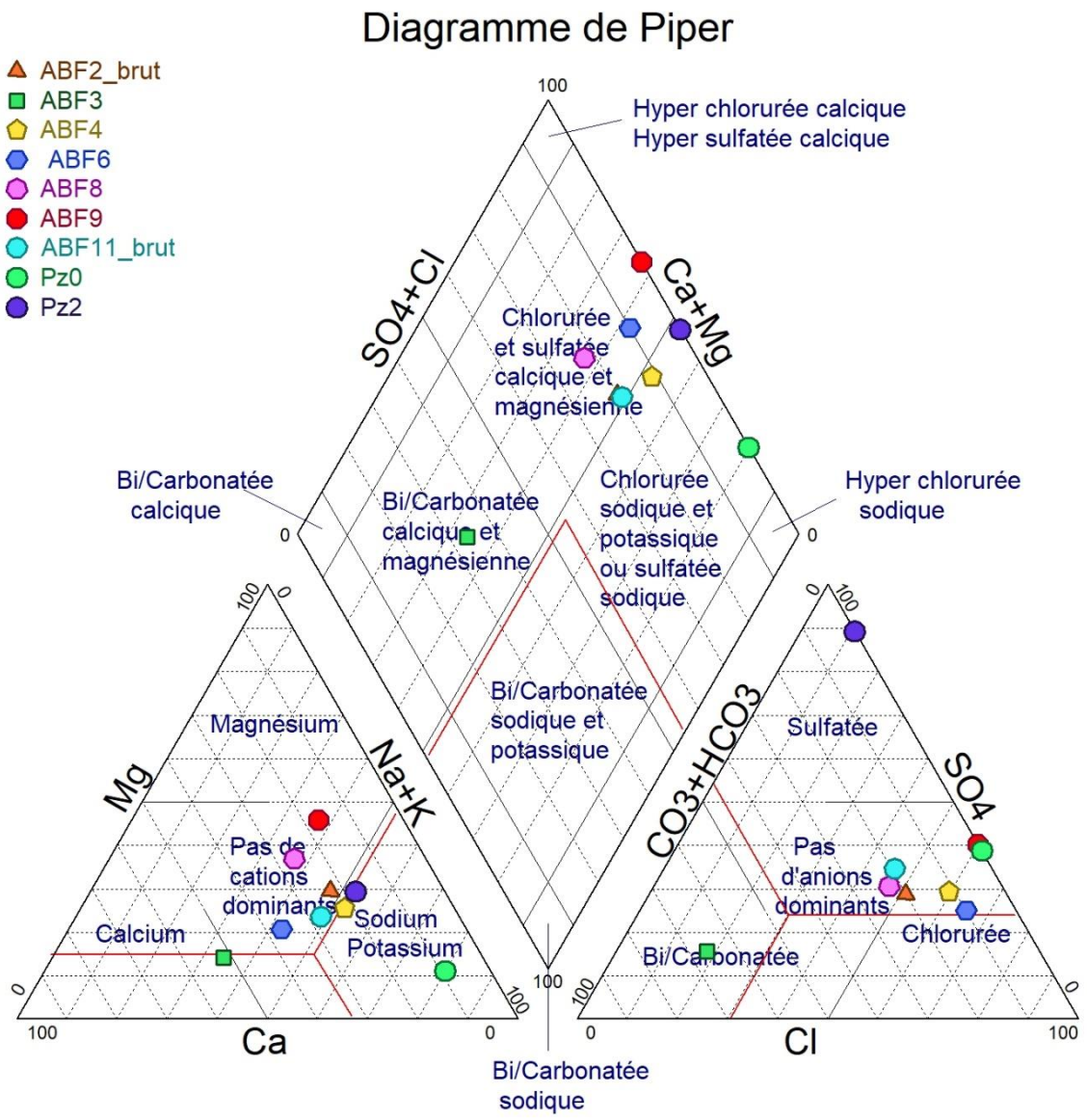


Illustration 57 - Diagramme de Piper réalisé sur les eaux souterraines prélevées.

Ce diagramme montre une répartition assez hétérogène des eaux avec cependant une famille dominante de faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien avec une eau légèrement enrichie en Na, K, Cl qui tend vers un faciès chloruré sodique et potassique. Cette famille regroupe les eaux des forages superficiels et profonds, sans distinction majeure.

Seul le forage ABF3 se démarque avec un faciès bicarbonaté calcique et magnésien, sans explication particulière.

Concernant les piézomètres, ils se caractérisent par une minéralisation totale moindre, comme l'indique le diagramme de Schöeller-Berkaloff ci-dessous (Illustration 58). Ils présentent un faciès plutôt chloruré, sodique et potassique. Cette différence de minéralisation peut être expliquée par le fait qu'*a priori*, les piézomètres captent en majorité les eaux au niveau des résidus miniers (en l'absence des coupes de forages, il ne s'agit que d'une hypothèse).

La minéralisation des autres ouvrages peut être expliquée soit par le contexte naturel (nature de l'encaissant), soit par l'influence du contexte agricole de la zone d'étude.

L'enrichissement en sulfates observé entre Pz0 et Pz2 pourrait éventuellement être expliqué par le phénomène de DMA observé sur le site (oxydation des minéraux sulfurés en sulfates et éléments traces métalliques dissous, cf. Équation 1).

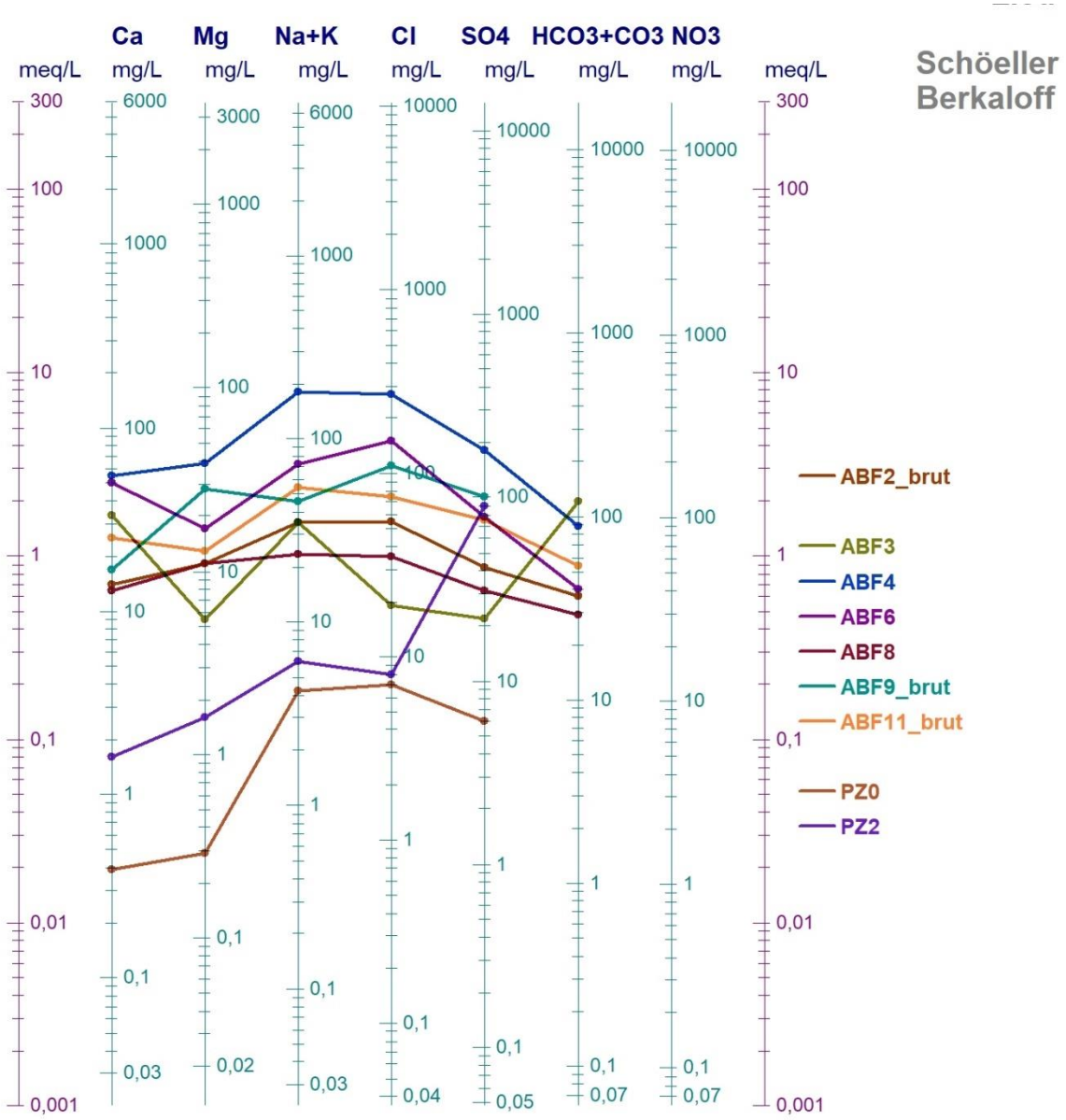


Illustration 58 - Diagramme de schöeller-Berkaloff réalisé sur les eaux souterraines prélevées.

b) Paramètres physico-chimiques

Les mesures *in situ* réalisées lors des prélèvements hors site montrent des eaux avec un pH relativement acide sur l'ensemble des ouvrages échantillonnés (de 5,6 à 6,8) alors que les prélèvements effectués au droit du site (Pz0 et Pz2) révèlent des pH acides de l'ordre de 3 à 3,5. Il en est de même pour le potentiel redox Eh qui est plus élevé dans les eaux des piézomètres au droit du site (510 et 744 mV), que dans les ouvrages hors site (de 227 à 328 mV). Le phénomène de DMA (cf. Équation 1) se retrouve donc au niveau des eaux souterraines au droit du site.

Concernant les autres paramètres, aucune tendance particulière ne se dégage. Les résultats sont plutôt hétérogènes d'un ouvrage à l'autre.

c) Éléments traces métalliques

Concernant les éléments traces métalliques, on peut noter des différences de concentrations en éléments totaux et dissous relativement notables, notamment pour l'As, le Fe et le B.

Les ouvrages Pz2 et ABF9 présentent les concentrations les plus élevées en comparaison avec celles retrouvées en ABF6. Les éléments présentant les concentrations les plus élevées par rapport à l'amont supposé sont Al, As, Be, Co, Fe, Mn, Ni et Zn et dans une moindre mesure, B, Cr et Cu.

Il n'est pas noté de différences de concentrations amont-aval pour le molybdène et l'étain.

À noter que les incertitudes sur le sens d'écoulement des eaux et l'hétérogénéité des ouvrages et prélèvements réalisés (différentes profondeurs captées notamment) rendent difficile l'interprétation des résultats concernant une éventuelle influence du site ou des anciens travaux miniers sur la qualité des eaux souterraines. Mais compte tenu des concentrations en éléments traces métalliques retrouvées en ABF9, Pz2 et, dans une moindre mesure, ABF2 et ABF4, une influence des dépôts de résidus et/ou des anciens travaux miniers sur la qualité des eaux souterraines est fortement présumée.

8.2. SOLS SUPERFICIELS

8.2.1. Méthodologie

Concernant les sols superficiels, les profondeurs échantillonnées ont été déterminées selon les usages recensés. Au droit des dépôts de résidus, la voie d'exposition principalement identifiée est l'ingestion de sol/poussières issus des horizons superficiels. Ainsi, les investigations ont concerné l'horizon de 0 à 5 cm de profondeur.

Aucun sondage profond n'a été réalisé pour caractériser les résidus plus en profondeur.

Plusieurs types d'investigations ont été réalisées sur les sols superficiels : des mesures in situ à fluorescence X portable et des prélèvements pour analyses au laboratoire.

a) Mesures in situ *à fluorescence X portable*

Ces mesures ont été réalisées du 23 au 26 août 2016 à l'aide d'un spectromètre portable à fluorescence X (Niton® XL3t800). Les mesures ont été réalisées sur les matériaux tamisés à 2 mm. Chaque mesure a été effectuée sur une durée de 60 secondes.

Compte tenu du caractère relativement homogène des matériaux, les mesures ont été réalisées selon un maillage systématique 50 x 50 m environ. Cette méthode d'investigation permettra notamment de réaliser une analyse statistique des teneurs rencontrées et d'affiner les résultats au regard de la localisation des différents usages. 177 mesures ont été réalisées au total sur l'ensemble du site (Illustration 59).

Illustration 59 - Localisation des mesures à fluorescence X portable (pXRF).

b) Analyses au laboratoire

Une dizaine d'échantillons de sol ont été prélevés pour analyse en laboratoire afin d'établir une droite de calibration avec les mesures de terrain. La sélection des échantillons pour l'analyse a été réalisée de manière à assurer une représentativité spatiale des échantillons ainsi qu'une représentativité de l'éventail des teneurs rencontrées. La cartographie suivante présente la localisation des échantillons prélevés, les numéros affichés indiquent le numéro de mesure à fluorescence X portable (pXRF) correspondant.

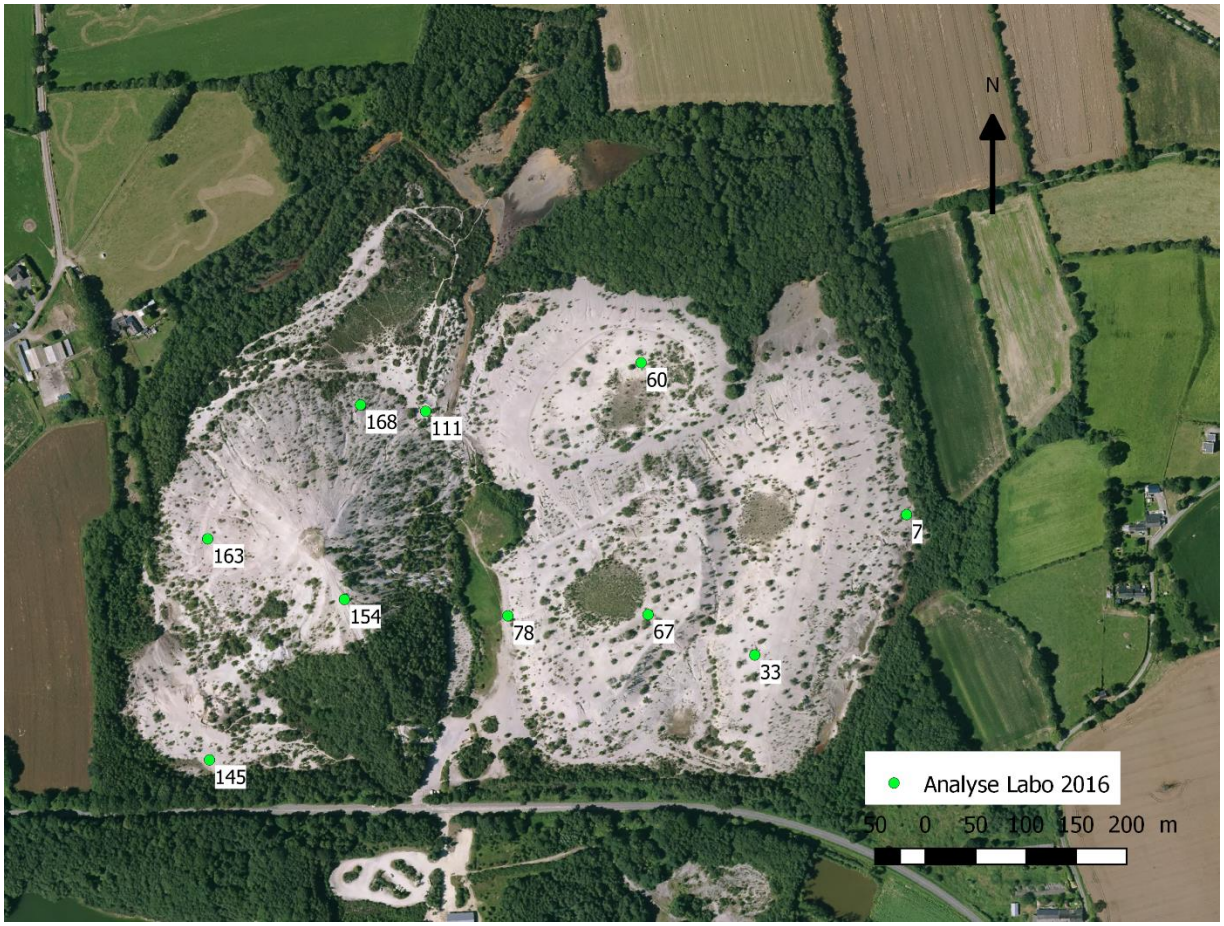


Illustration 60 - Localisation des prélèvements pour analyses au laboratoire.

Les analyses réalisées par le laboratoire du BRGM ont été les suivantes :

- éléments traces métalliques après extraction à l'eau régale sur les fractions < 2 mm et < 250 µm ;
- éléments traces métalliques après extraction totale (attaque tri-acide) sur les fractions < 2 mm et < 250 µm ;

Des tests de bioaccessibilité par le laboratoire ont également été menés en duplicat sur ces échantillons.

En effet, comme indiqué dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, les évaluations de risques sanitaires considèrent, selon une approche majorante, que la biodisponibilité d'un polluant dans les milieux étudiés est totale, c'est-à-dire que la totalité des polluants ingérés se retrouvent absorbés dans l'organisme. Physiologiquement, si une partie des polluants passe effectivement dans la circulation sanguine, une partie est éliminée directement au cours de la digestion.

Pour un composé donné, la biodisponibilité (fraction ayant passé les barrières biologiques) peut être approchée par la bioaccessibilité (fraction libérée dans les sucs gastro-intestinaux humains et donc disponible pour absorption). Ce paramètre appliqué en tant que facteur correctif de la concentration totale permet une estimation plus réaliste de l'exposition. Il améliore ainsi l'estimation des niveaux de risques et permet de proposer des actions mieux proportionnées.

Les données de la littérature concernant ces paramètres étant relativement peu nombreuses et montrant d'importantes variabilités de valeurs en fonction du contexte du site étudié, il est recommandé d'utiliser des valeurs propres à chaque contexte mesurées dans les matrices prélevées sur site et selon des protocoles validés.

Ainsi, les analyses ont été réalisées sur ces échantillons selon le protocole UBM (Unified Barge Method – Barge : Bioaccessibility research group of Europe), présenté plus en détail en annexe 4. Il s'agit d'un protocole *in vitro* qui simule les différents processus de la digestion humaine. Il utilise des fluides synthétiques composés de sels inorganiques et de solutions organiques permettant de reconstituer les différents fluides humains intervenant dans la digestion : salive, fluide gastritique, fluide duodénal et bile. Le test repose sur des extractions successives à l'aide de ces fluides digestifs de synthèse, simulant les processus physiques et chimiques de la bouche, l'estomac et l'intestin grêle. Il permet la caractérisation de la bioaccessibilité gastrique et intestinale.

Cette méthode bénéficie d'une reconnaissance scientifique en France car elle a fait l'objet d'une validation *in vivo* par rapport aux mécanismes physiologiques de la digestion. La représentativité du test UBM a été démontrée par rapport aux mécanismes physiologiques de la digestion, pour plusieurs éléments notamment Pb et As (Caboche, 2009). C'est pourquoi l'INERIS et l'InVS (2012) et l'INERIS (2014) recommandent l'utilisation de ce test.

c) Caractérisation des stériles et résidus

Trois échantillons de résidus miniers et un échantillon de stérile ont fait l'objet d'une analyse granulométrique et d'une analyse minéralogique par Diffraction à Rayons X (DRX).

Afin d'assurer la représentativité des matériaux analysés, l'échantillon de stériles a été composé de 4 échantillons unitaires (ST1A, ST1B, ST1C, ST1D) prélevés en étoile en plusieurs endroits sur le terril conique. Les échantillons de résidus ont été prélevés en plusieurs endroits du site en étoile au nord du site (RES1), au sud-ouest du site (RES2) et au niveau du terril tabulaire (RES3). L'échantillon du terril tabulaire (RES3) est constitué de 3 échantillons unitaires (RES3A, RES3B, RES3C) prélevés en étoile répartis en plusieurs endroits sur le terril.

La localisation des échantillons prélevés est présentée ci-après.

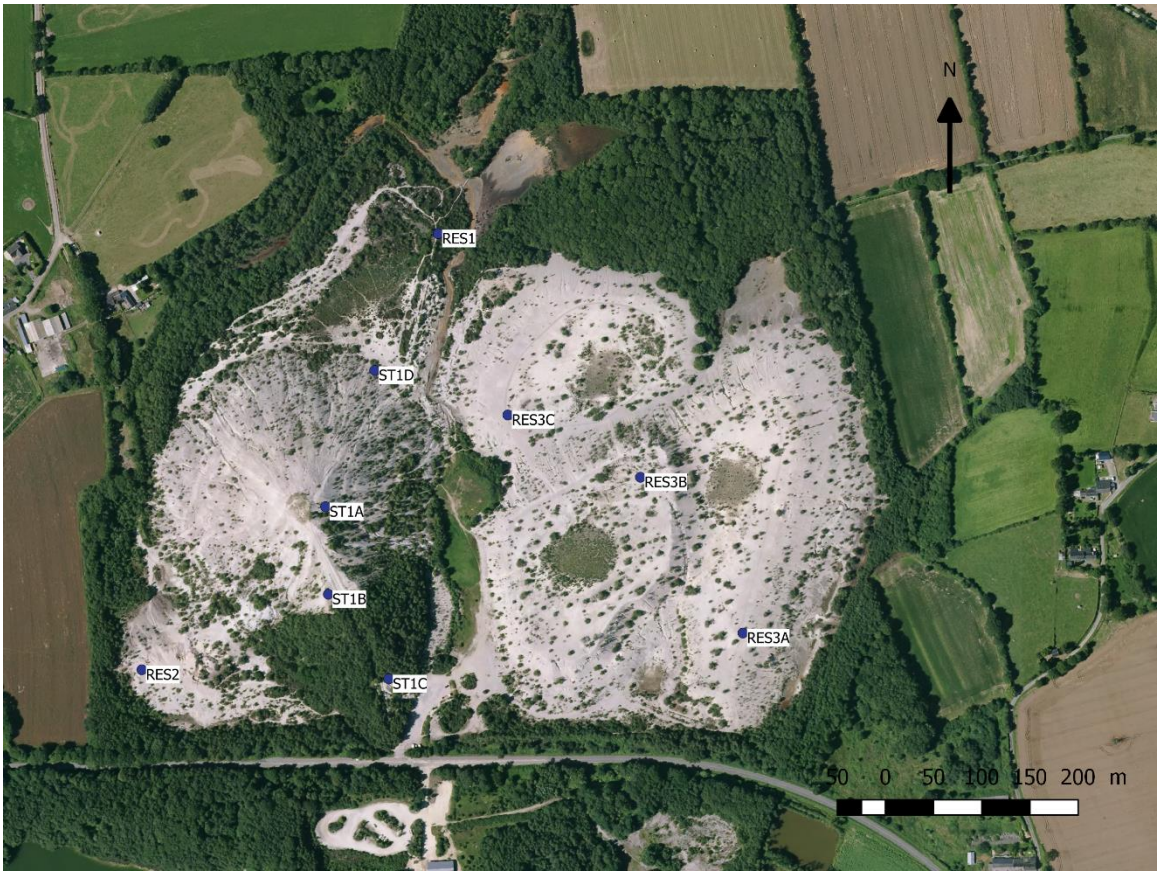


Illustration 61 - Localisation des prélèvements réalisés pour la caractérisation des matériaux.

8.2.2. Résultats

L'ensemble des bulletins d'analyses est disponible en Annexe 5.

a) Distribution granulométrique

Le graphique suivant illustre la distribution des différentes fractions granulométriques dans chaque échantillon.

Ces résultats indiquent que la fraction granulométrique majoritaire (75 % de chaque échantillon) dans les échantillons de résidus est comprise entre 50 µm et 2 mm. Cela concorde avec les données historiques retrouvées sur le flowsheet de la laverie. La fraction granulométrique la plus fine et la plus grossière ne sont quasiment pas représentées dans les échantillons de résidus.

Concernant l'échantillon de stérile, la répartition dans chaque fraction granulométrique est plus homogène, à l'exception de la fraction la plus fine (< 2 µm) qui n'est pas représentée.

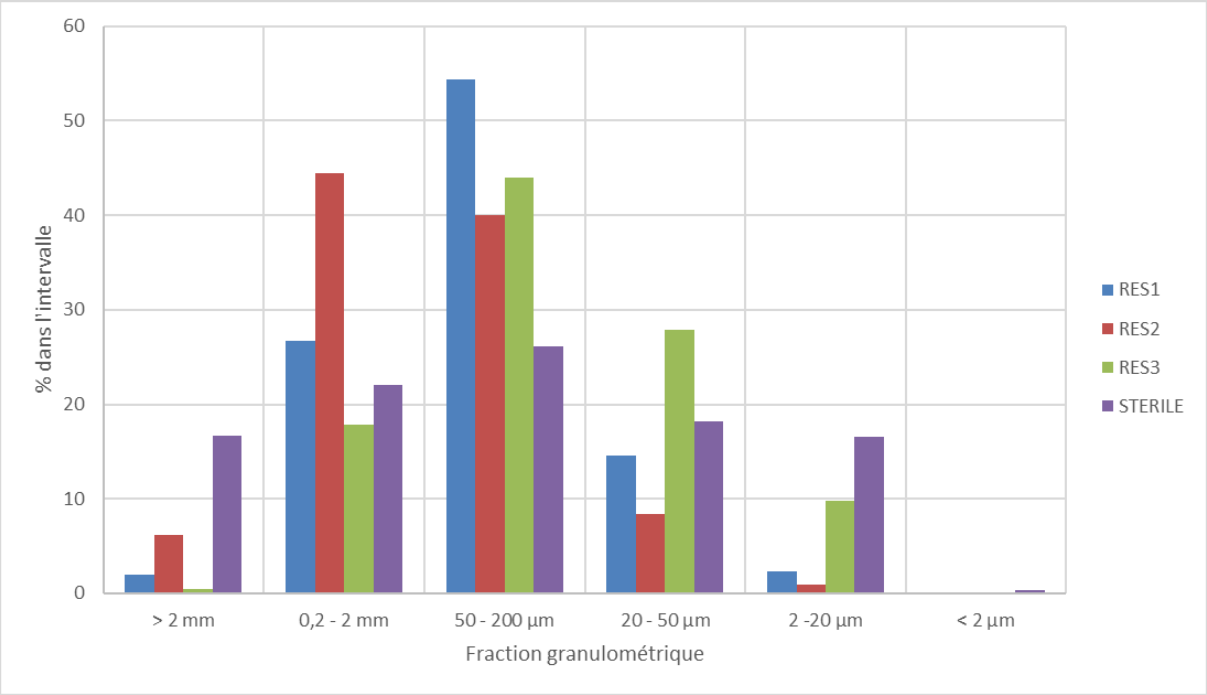


Illustration 62 - Distribution granulométrique des échantillons de stériles et résidus.

b) DRX

Les principaux minéraux identifiés dans les quatre échantillons analysés sont le quartz, la dravite (tourmaline), l'illite et/ou les micas et la kaolinite. Ces minéraux correspondent aux principaux minéraux identifiés dans la gitologie du secteur.

Il est à noter que, malgré la présence de DMA sur le site, aucun minéral sulfuré n'a été mis en évidence dans les échantillons par la DRX[10].

c) Éléments traces métalliques

- **Résultats et calibration**

L'ensemble des résultats des mesures réalisées à fluorescence X est présenté dans un tableau récapitulatif en Annexe 6.

Les résultats des mesures réalisées au laboratoire sont présentés dans les tableaux suivants.

[10] Un minéral est identifié par DRX s'il est, d'une part cristallisé (certains sont amorphes), et d'autre part, en proportion massique suffisante pour être détectée (de l'ordre de quelques pourcents sur l'échantillon total).

		ABNit7		ABNit33		ABNit60		ABNit67		ABNit78		ABNit111		ABNit145		ABNit154		ABNit163		ABNit168	
< 2 mm		**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**
Al	mg/kg	57164	16090	134442	39090	126503	32730	99508	2101	74631	15590	49490	11680	26359	5857	80454	27770	126503	35950	128620	38260
As	mg/kg	265	401	886	903	1116	1144	189	204	117	148	97	117	509	477	567	527	700	554	297	272
B	mg/kg	4274	54,5	4539	25	4955	18,8	7511	40,3	5722	31,3	3520	41,8	2671	66,3	2037	13,1	5229	27	4701	23,3
Ba	mg/kg	150	226	905	388	687	281	405	265	247	188	169	139	73	74,8	404	195	719	352	706	318
Be	mg/kg	< 10	3,39	25	14	30	9,04	< 10	5,1	< 10	3,97	< 10	3,09	< 10	1,28	13	7,17	16	11,9	25	13,7
Co	mg/kg	< 15	0,29	< 15	0,27	< 15	0,19	< 15	0,21	< 15	0,2	< 15	0,52	< 15	< 0,1	< 15	4,92	< 15	0,38	< 15	0,27
Cr	mg/kg	34	12,9	106	32,5	95	27,2	73	16,5	53	11,4	36	10,5	22	2,19	58	27,8	104	31,2	102	27,5
Fe	mg/kg	19024	4576	23221	6947	24060	6044	27138	3399	21822	2943	13639	3111	10002	3087	20913	16827	25459	8023	18815	4278
Mn	mg/kg	124	42	263	63	232	47	225	42	163	33	101	24	77	23	155	112	217	52	163	35
Ni	mg/kg	< 15	1,48	< 15	3,49	15	2,28	27	1,77	15	1,17	< 15	1,62	< 15	0,5	< 15	8,47	27	3,51	< 15	2,54
Sn	mg/kg	126	33,3	184	63,8	173	52,6	100	38,5	84	31,1	61	21,8	423	22,3	50	14,6	105	49,8	70	31,3

Illustration 63 - Résultats des analyses en laboratoire sur la fraction < 2 mm.

		ABNit7		ABNit33		ABNit60		ABNit67		ABNit78		ABNit111		ABNit145		ABNit154		ABNit163		ABNit168	
< 250 µm		**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**	**ET**	**ER**
Al	mg/kg	106389	19790	142382	49620	118034	47280	115917	32560	91040	20090	101096	19010	45520	8429	117505	38600	141323	42770	128620	44620
As	mg/kg	356	372	904	829	986	1142	249	262	98	110	122	116	610	637	573	515	474	440	228	197
B	mg/kg	10628	143	4968	44,2	4705	49,1	8423	115	7613	82,7	8619	81	4937	98,6	3299	21,1	6154	46,8	4788	33,1
Ba	mg/kg	290	221	885	449	621	421	494	358	292	215	358	205	115	110	653	244	767	375	677	315
Be	mg/kg	< 10	4,31	29	16,8	28	11,4	< 10	7,49	< 10	5,02	< 10	5,18	< 10	1,88	16	10,4	18	14,7	23	14,7
Co	mg/kg	< 15	0,28	< 15	0,31	< 15	0,29	< 15	0,26	< 15	0,21	< 15	0,41	< 15	0,18	< 15	2,48	< 15	0,28	< 15	0,32
Cr	mg/kg	79	14,1	105	37,9	81	36,3	83	23,9	66	15	77	16	36	3,98	97	31,6	121	36,3	105	29,1
Fe	mg/kg	36650	4350	24550	7033	21962	7433	30285	4698	27767	3345	29376	3555	17486	3983	26159	16858	25459	5446	18325	3691
Mn	mg/kg	271	49	263	82	209	75	256	65	209	42	232	38	132	34	209	126	232	54	163	36
Ni	mg/kg	25	1,78	15	3,48	< 15	3,04	21	2,48	20	1,75	21	2,16	< 15	1	17	8,99	17	3,61	< 15	2,77
Sn	mg/kg	236	40,5	192	85,3	156	79,1	143	57,8	119	39,9	174	35,8	419	29,5	53	17,7	99	53	61	32,9

Illustration 64 - Résultats des analyses en laboratoire sur la fraction < 250 µ.

ET : Extraction totale

ER : Extraction à l'eau régale

L'illustration ci-dessous présente la corrélation des mesures réalisées sur le terrain avec les résultats d'analyses au laboratoire. Par rapport aux éléments analysés en laboratoire et ceux fournis par l'appareil, seule une corrélation a pu être établie pour l'arsenic. Pour les autres éléments concernés par l'étude, les teneurs mesurées sont trop proches voire inférieures aux limites de détection de l'appareil.

Un des dix résultats, montrant des valeurs aberrantes entre le résultat par pXRF et le résultat du laboratoire, a été sorti de la corrélation.

Les droites de calibration présentées montrent une bonne corrélation entre les analyses en laboratoire et les mesures réalisées sur le terrain (que ce soit en extraction totale ou à l'eau régale) avec un coefficient de corrélation satisfaisant (R^2 de 0,9 et 0,92). Les coefficients directeurs des droites de régression sont relativement proches de 1, mais légèrement inférieurs à 1 (0,87 et 0,89) traduisant une légère surestimation de l'appareil de terrain par rapport aux analyses du laboratoire.

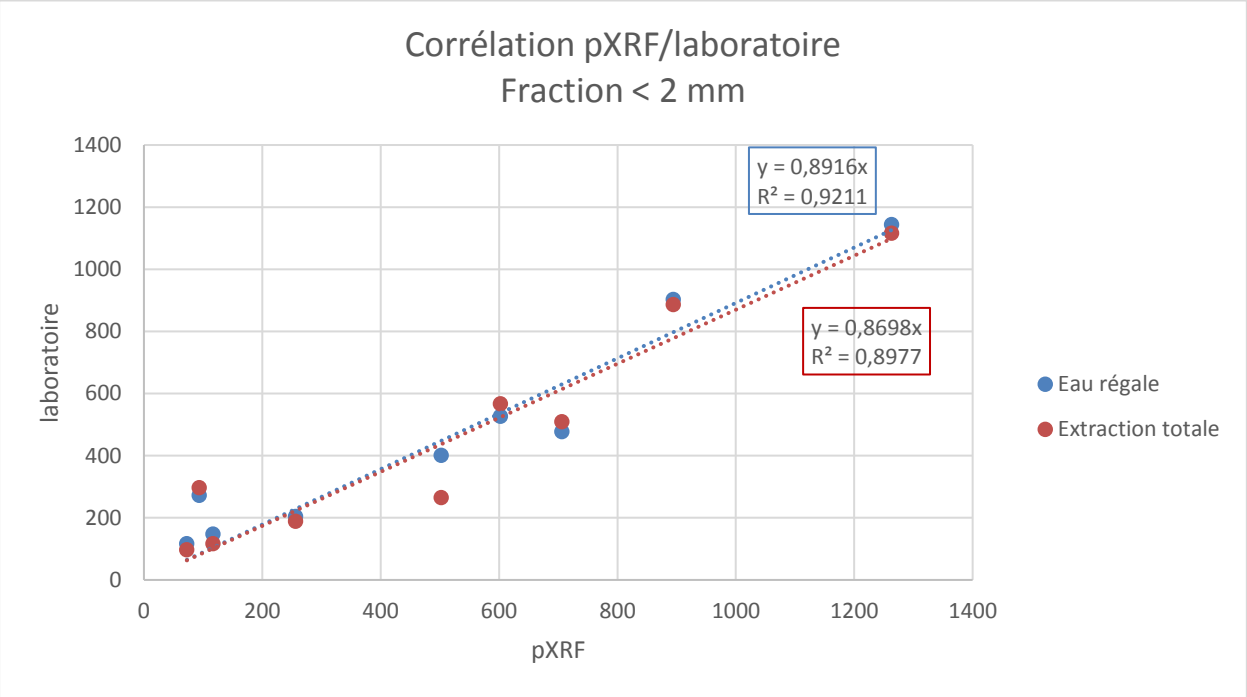


Illustration 65 - Corrélation des mesures à fluorescence X portable avec les analyses de laboratoire.

Ainsi, pour l'arsenic, l'interprétation des résultats des mesures pXRF réalisées pourra se baser sur les valeurs corrigées à partir de cette calibration. Comme préconisé par le Groupe de Travail national sur les laboratoires pour les analyses de sol (Amalric *et al.*, 2015), les résultats sont interprétés par rapport à l'extraction à l'eau régale.

Pour les autres éléments fournis par l'appareil, les résultats présentés sont les résultats bruts qui n'ont pas subi de correction en fonction de droite de calibration. Il conviendra donc de les considérer comme des analyses semi-quantitatives permettant d'estimer des ordres de grandeur des teneurs dans les sols.

- **Interprétation des résultats**

Le tableau ci-après présente les moyennes des différents résultats obtenus au laboratoire et sur le terrain (valeurs brutes). Sont également présentées les résultats des études précédentes détaillés au § 7.1. De même, bien que les matériaux considérés ne soient pas de même nature (cf. note de bas de page n°9), les valeurs de fond pédo-géochimique local déterminées au § 4.5.1. sont également présentées et comparées aux résultats sur site, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (DGPR, 2017).

		fond pédo-géochimique			Moyennes sols Bois Vert				
		Inv. minier	Fluo X 2009	Labo 2009	ANTEA 2002	BRGM 2009	Labo 2016 ER	Labo 2016 ET	Fluo X 2016
Nb valeurs		1612	68	3	10	3	10	10	177
Al	mg/kg	-	-	42344	-	**84864**	22512	**90367**	-
As	mg/kg	75	83	116	**228**	**291**	**475**	**474**	**277**
B	mg/kg	37	-	464	-	**8181**	34	**4516**	-
Ba	mg/kg	651	-	299	61,5	377	243	446,5	-
Be	mg/kg	4,2	-	3,3	-	**9,7**	**7,3**	**21,8**	-
Bi	mg/kg	-	-	< 10	-	< 10	-	-	-
Cd	mg/kg	-	-	2,3	< 0,02	2	-	-	-
Cr	mg/kg	73	429	61	27,5	94,3	20	68	-
Co	mg/kg	47	-	56	< 0,2	12,3	0,8	< 15	< LOD (147)
Cu	mg/kg	46	-	18	8	11	-	-	-
Mn	mg/kg	1264	310	284	-	129	47	172	183
Mo	mg/kg	2,3	-	< 5	-	5,3	-	-	< LOD (7)
Ni	mg/kg	51	-	33	< 0,2	23	3	21	< LOD (30)
Pb	mg/kg	84	-	55	< 0,2	43	-	-	17
Sn	mg/kg	33	-	73	69,0	**87**	36	**138**	-
Ti	mg/kg	-	3927	4396	59	4376	-	-	-
W	mg/kg	20,2	-	21	-	23	-	-	< LOD (30)
Zn	mg/kg	166	60	87	8	105	-	-	62

Illustration 66 - Comparaison des résultats 2016 avec les analyses précédentes et le fond pédo-géochimique de la zone d'étude.

Il ressort de ce tableau que les résultats de 2016 sont relativement conformes aux résultats des études précédentes. Les différences de teneurs sont notables entre les analyses suite à extraction totale ou partielle (eau régale), notamment pour l'aluminium et le bore.

Il ressort de ces résultats que les teneurs au droit du site sont supérieures au fond géochimique naturel local pour les éléments : **Al, As, B, Be et Sn**.

Concernant la répartition spatiale des teneurs en As dans les sols, la carte ci-dessous (Illustration 67) illustre les teneurs mesurées par pXRF (valeurs corrigées) au droit du site.

Des teneurs en arsenic non négligeables ont été mesurées pouvant aller jusqu'à 1 400 mg/kg. Les teneurs les plus élevées sont rencontrées principalement au droit des terrils tabulaires et aires de décantation, regroupant les matériaux les plus fins issus du traitement de minerai.

Concernant la distribution des teneurs rencontrées (Illustration 68), 23 % des teneurs sont de l'ordre de grandeur du fond géochimique, mais la majorité des teneurs (67 %) sont situées dans la plage 100 à 600 mg/kg.

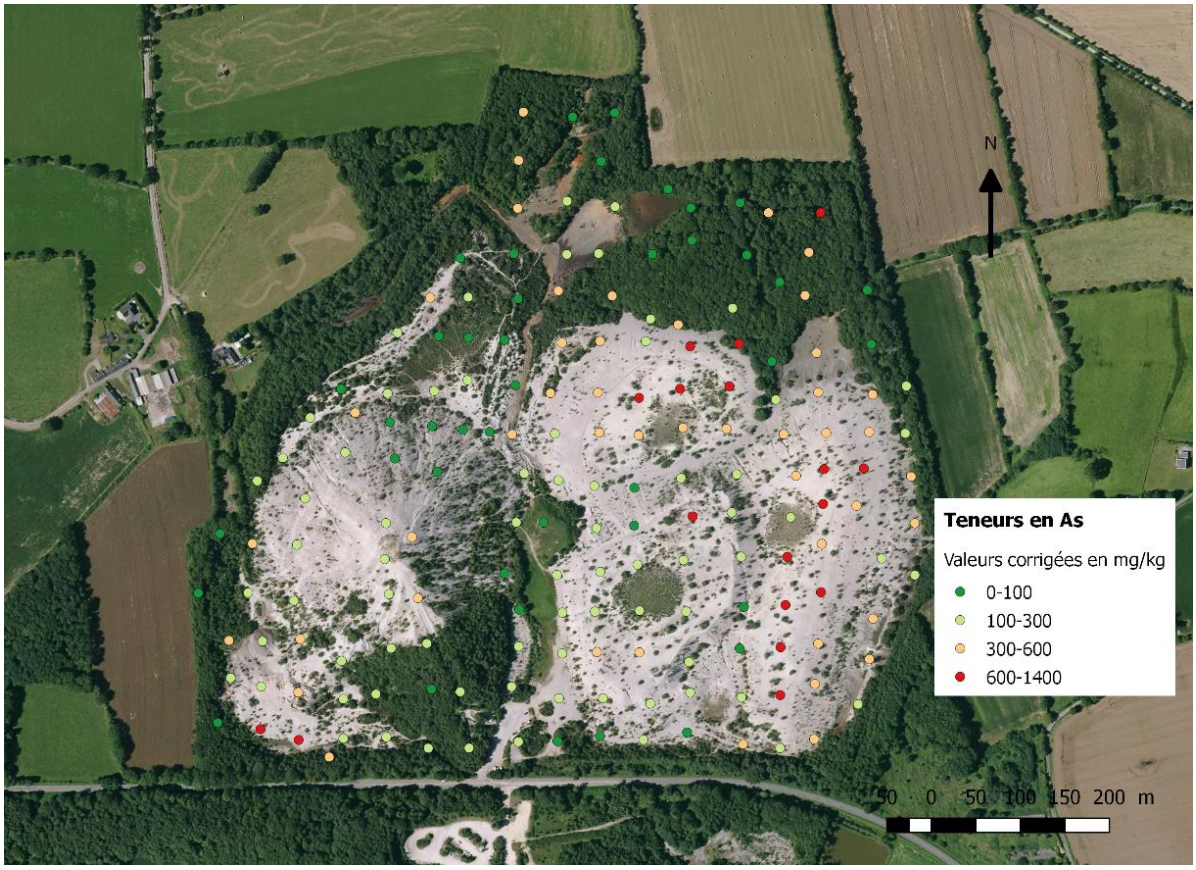


Illustration 67 - Répartition des teneurs en arsenic mesurées par pXRF au droit du site.

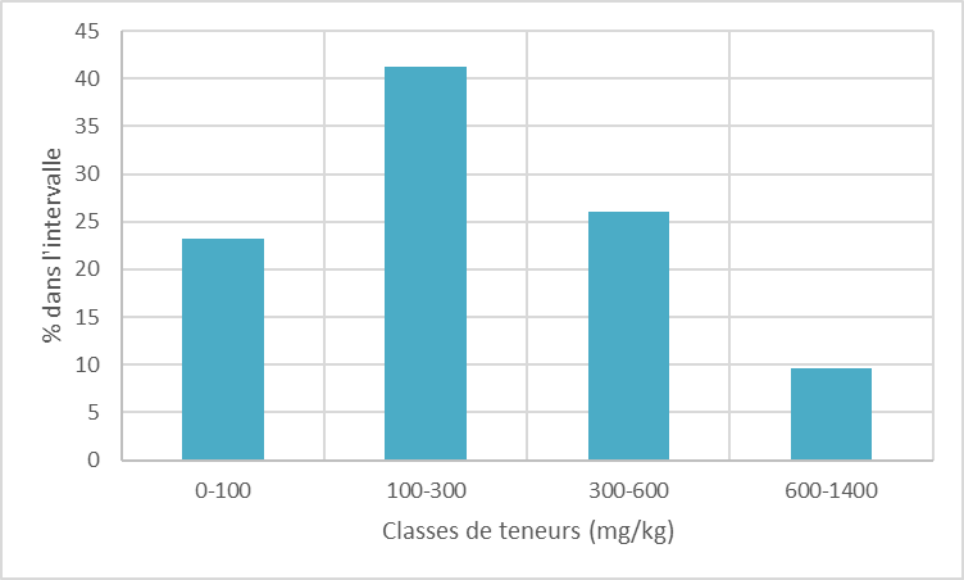


Illustration 68 - Distribution des teneurs en arsenic.

d) Résultats de bioaccessibilité

- **Résultats relatifs aux blancs et à l'échantillon de référence**

Blancs

Les résultats de l'analyse de As dans les extraits gastriques et gastro-intestinaux des blancs représentent respectivement au maximum 0,9 % et 3,6 % des concentrations de As dans les mêmes extraits sur les échantillons. Ce résultat permet de valider l'absence de contamination liée au mode opératoire qui pourrait impacter l'estimation de la bioaccessibilité gastrique et gastro-intestinale de As dans les échantillons.

Échantillons de référence

Les résultats relatifs aux échantillons de référence (NIST 2710a) traduisent une bonne répétabilité des résultats pour As et sont cohérents avec les résultats obtenus sur l'ensemble des études antérieures du BRGM. Ce résultat permet de valider la qualité des résultats de bioaccessibilité produits dans la présente étude.

- **Estimation de la bioaccessibilité de As et Pb dans la fraction < 250 µm des échantillons sélectionnés**

Les mesures *in situ* par fluorescence X portable et les analyses en laboratoire de As, dont les résultats sont utilisés pour évaluer les expositions, ont été réalisées sur le passant à 2 mm des échantillons de matériaux (sol, stérile, résidu) prélevés sur le site. De plus, les analyses au laboratoire ont été effectuées après minéralisation à l'eau régale et la correction des mesures *in situ* au Niton a été effectuée par rapport à ces mêmes analyses pseudo-totales.

Par conséquent, la bioaccessibilité absolue de As considérée dans la présente étude est calculée selon l'équation (1) :

$$BA_{As\ absolue} = \frac{(Teneur\ bioaccessible_{As})_{fraction<250\mu m}}{(Teneur\ _{As})_{fraction<2mm}} \qquad (1)$$

$BA_{As\ absolue}$: bioaccessibilité (ou fraction bioaccessible) absolue de As dans la fraction < 2 mm (-)

$(Teneur\ bioaccessible_{As})_{fraction<250\mu m}$: Teneur bioaccessible de As obtenue par analyse des extraits gastrique ou gastro-intestinal produits par le test UBM réalisé sur la fraction < 250 µm de l'échantillon (mg/kg)

$(Teneur_{As})_{fraction<2mm}$: Teneur pseudo-totale (après minéralisation à l'eau régale) de As dans la fraction < 2 mm (mg/kg)

L'illustration suivante présente sous forme d'histogramme les résultats de bioaccessibilité absolue, gastrique et gastro-intestinale, de As dans les 10 échantillons de résidus et de stériles testés (moyenne, minimum et maximum des 2 réplicats par échantillon).

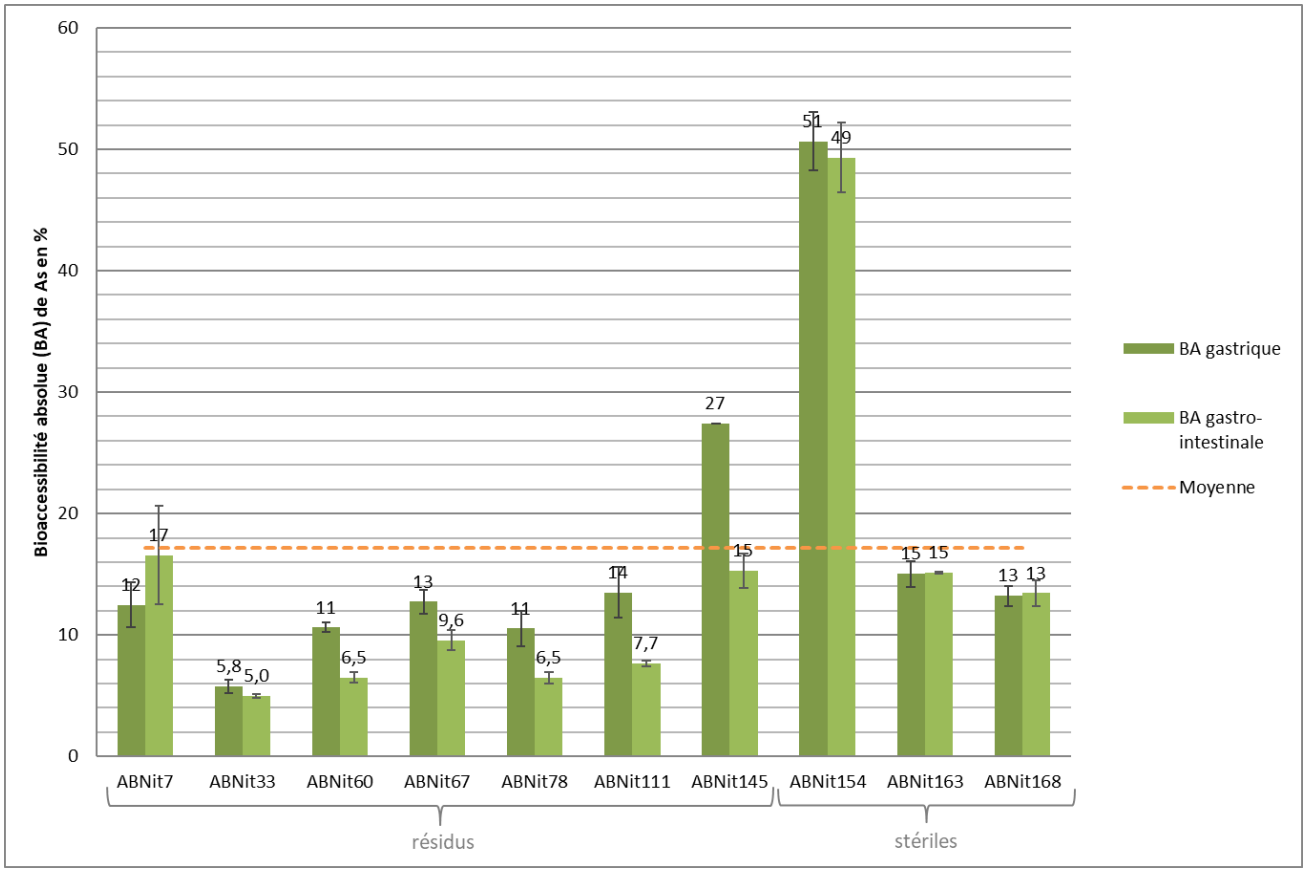


Illustration 69 - Résultats de bioaccessibilité absolue, gastrique et gastro-intestinale, de l'arsenic dans les 10 échantillons de résidus et de stériles testés (valeur = moyenne des 2 réplicats, barre d'erreur = minimum et maximum des 2 réplicats).

Ce graphique montre une variabilité des résultats entre les réplicats de chaque échantillon faible (barres d'erreur restreintes) ; les résultats sont donc de ce point de vue fiables.

La bioaccessiblité gastrique absolue de As apparait supérieure à la bioaccessibilité gastro-intestinale absolue pour 6 échantillons sur 10 (ABNit33, ABNit60, ABNit67, ABNit78, ABNit111, ABNit145) et pas significativement différente de cette dernière pour les 4 autres échantillons (ABNit7, ABNit154, ABNit163, ABNit168).

Il est à noter que la bioaccessibilité gastrique de As mesurée sur un échantillon de stériles (51 % sur ABNit154) est nettement plus élevée que celle mesurée sur l'ensemble des autres échantillons (6 à 27 %). Cependant, malgré cette valeur extrême, la bioaccessibilité gastrique de As dans les échantillons de stériles n'est pas significativement différente de celle mesurée dans les échantillons de résidus (test non paramétrique de Mann-Whitney ; $p=0,11$; significativité des différence pour $p<0,05$).

Par conséquent, les stériles et les résidus ont été considérés comme présentant une bioaccessibilité gastrique de As similaire, caractérisée par une moyenne de 17,2 % (en orange sur le graphique).

9. Interprétation de l'État des Milieux

9.1. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE

Comme indiqué au § 1.2, la démarche d'Interprétation de l'État des Milieux (IEM) consiste à **s'assurer que l'état des milieux est compatible avec des usages déjà fixés**, c'est-à-dire les usages constatés. Au regard des objectifs de la démarche et des milieux pertinents identifiés au travers du schéma conceptuel, les résultats des diagnostics sont comparés, en fonction des situations, à différentes valeurs qui peuvent être :

- les valeurs de gestion en vigueur mises en place par les pouvoirs publics, selon le contexte, les usages et les milieux (eau de surface, eaux souterraines, denrées alimentaires, air intérieur et air extérieur). Ces valeurs de gestion correspondent aux niveaux de risque acceptés par les pouvoirs publics pour l'ensemble de la population française ;
- l'environnement local témoin et les référentiels locaux disponibles.

La comparaison est faite polluant par polluant et cela pour chacune des voies d'exposition identifiées par les constats effectués sur la zone étudiée.

En l'absence de valeurs de gestion disponibles et en cas d'écart par rapport à l'environnement local témoin, une démarche d'évaluation des risques sanitaires est à mettre en œuvre.

Pour rester cohérent avec la gestion effective des risques mise en œuvre par les pouvoirs publics pour la population française, l'utilisation de la grille de calculs IEM conduit à considérer chacune des voies d'exposition séparément et, pour une même voie d'exposition, les substances sont considérées isolément sans procéder à l'additivité des risques.

Des intervalles de gestion des risques ci-dessous sont fixés pour interpréter les résultats des calculs de niveaux théoriques de risques.

Intervalle de gestion des risques		L'interprétation des résultats	Les actions à engager
Substances			
à effet de seuil	à effet sans seuil		
QD ≤ 0,2	ERI ≤ 10^{-6}	L'état des milieux est compatible avec les usages constatés	L S'assurer que les pollutions sont maîtrisées, dans le cas contraire, élaborer et mettre en œuvre un plan de gestion. La mise en place d'une surveillance peut être nécessaire pour vérifier la pérennité de la situation. Afin d'assurer la pérennité de la compatibilité entre les usages et l'état des milieux, il peut être nécessaire de mettre en place des servitudes ou des restrictions d'usages.
0,2 < QD < 5	10^{-6} < ERI <10^{-4}	Intervalle nécessitant une réflexion plus approfondie avant de s'engager dans un plan de gestion	L Selon le cas : - réalisation d'une évaluation quantitative des risques sanitaires avec additivité (avec seuils classique de 1 et 10^{-5}) ; - mise en œuvre de mesures simples de gestion ; - identification et mise en œuvre des premières mesures de maîtrise des risques : mesures sanitaires ou mesures environnementales ; - mise en œuvre de restrictions d'usage ; **Pour gérer les pollutions et maîtriser leurs impacts, un plan de gestion est à élaborer et à mettre en œuvre.**
QD ≥ 5	ERI ≥ 10^{-4}	L'état des milieux n'est pas compatible avec les usages	

Illustration 70 - Critères d'interprétation des résultats des calculs de risques effectués sans additivité dans le cadre de l'IEM (DGPR, 2017).

9.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS POUR LES EAUX SOUTERRAINES

9.2.1. Comparaison aux valeurs de référence

Compte tenu des usages recensés, les résultats d'analyses utilisés seront les résultats qui concernent la concentration représentative de l'exposition, à savoir, les résultats sur la fraction totale. Ils seront comparés aux valeurs suivantes :

- pour les puits à usage domestique : aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) des annexes I et II de l'arrêté du 11 janvier 2007 compte tenu de l'usage sensible « eau de boisson » par rapport aux autres usages domestiques ;
- pour les puits à usage d'abreuvage : aux critères de qualité (valeurs d'alerte et valeurs à risques) définis par l'ANSES dans son guide « État des lieux des pratiques et recommandations relatives à la qualité sanitaire de l'eau d'abreuvement des animaux d'élevage » de décembre 2010.

À noter que, d'après le guide de l'ANSES, la pratique courante concernant les eaux d'abreuvement est de comparer les résultats aux limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH). Ainsi, en l'absence de critères de qualité fournis par l'ANSES pour certains paramètres recherchés, ces valeurs de l'EDCH seront considérées comme critère de comparaison en première approche.

Le tableau ci-après (Illustration 71) reprend, pour les ouvrages où un usage a été recensé, les résultats d'analyse sur les paramètres pour lesquels une valeur de référence est disponible. Pour les ouvrages qui disposent d'un système de traitement, les résultats avant et après ce système sont présentés.

		ABF2_brut	ABF2_trait	ABF8	ABF9	ABF11_brut	ABF11_trait	Arrêté EDCH	Guide Anses
	usage	non	domestique	abreuvage	abreuvage	non	abreuvage	11/01/07 -A1	
pH		6,06	**5,7**	**5,83**	**5,65**	6,22	6,82	6,5 à 9	6 à 9
Conductivité	µS/cm	335	316	276	625	510	627	200 à 1100	200 à 1100
magnésium	mg/L	11	10	11	28	13	27		150
Sodium	mg/L	32	31	17	40	47	48	200	
Chlorures	mg/L	55	54	35	110	74	74	250	
sulfates	mg/L	42	38	31	100	75	75	250	225
Al tot	µg/L	51	140	87	680	46	48	200	
As tot	µg/L	**300**	< 10	< 10	**260**	**100**	< 10	**10**	60
B tot	µg/L	100	170	160	99	230	190	**1000**	
Cr tot	µg/L	2	2	2	7	2	2	**50**	2500
Cu tot	µg/L	55	18	21	41	8	22	**2000**	1000
Fe tot	mg/L	**8,7**	**0,57**	0,41	**160**	10	0,098	0,2	12,5
Mn tot	µg/L	**220**	**220**	21	840	350	230	50	50000
Mo tot	µg/L	4	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2		125
Ni tot	µg/L	**33**	**34**	24	190	21	19	**20**	
Zn tot	µg/L	190	92	400	3600	86	28		12500

x : limites de qualité
x : référence de qualité

Illustration 71 - Comparaison des résultats sur les eaux souterraines aux valeurs de référence disponibles.

L'ouvrage ABF2, qui est utilisé après traitement pour un usage domestique et d'abreuvage, présente :

- des concentrations en nickel supérieures à la référence de qualité des EDCH avant et après le système de traitement ;
- une concentration en arsenic avant traitement nettement supérieure à la limite de qualité des EDCH et à la limite de qualité des eaux brutes mais le système de traitement en place

permet un abattement suffisant de la concentration pour être inférieure à cette limite au niveau du point d'usage ;

- des concentrations en fer et manganèse supérieures aux références de qualité des EDCH avant et après le système de traitement ;
- un pH après traitement inférieur à la référence de qualité des EDCH.

L'ouvrage ABF8 présente des concentrations toutes inférieures aux valeurs de référence utilisées, excepté pour le pH légèrement en deçà de la valeur de référence et pour le nickel légèrement au-dessus mais du même ordre de grandeur que la limite de qualité des EDCH (dans la gamme des incertitudes analytiques).

L'ouvrage ABF9 utilisé pour un usage d'abreuvage en période estivale, présente :

- des concentrations en fer et arsenic supérieures aux valeurs à risques proposées par l'ANSES ;
- un pH légèrement en deçà de la valeur de référence ;
- des concentrations en aluminium et nickel supérieures aux limites et références de qualité des EDCH.

L'ouvrage ABF11 utilisé pour un usage d'abreuvage présente :

- une concentration en arsenic avant traitement supérieure à la valeur à risque proposée par l'ANSES mais le système de traitement en place permet un abattement suffisant de la concentration pour être inférieure à cette valeur au niveau du point d'usage ;
- une concentration en nickel de l'ordre de grandeur de la limite de qualité des EDCH ;
- les autres paramètres analysés sont tous conformes aux valeurs de référence.

9.2.2. Conclusions et recommandations sur la compatibilité du milieu avec ses usages recensés

Ainsi, en terme de compatibilité par rapport aux usages recensés :

- la qualité de l'eau du puits ABF2, après le système de traitement, au point d'usage, n'est pas compatible pour un usage domestique pour les paramètres pH, Fe, Mn et Ni. Concernant l'usage d'abreuvement, la concentration en nickel est légèrement supérieure à la limite de qualité des EDCH (pas de seuils définis pour l'abreuvage). Cette concentration reste toutefois peu élevée et l'eau de ce puits peut donc être considérée comme compatible pour l'usage d'abreuvage ;
- la qualité de l'eau du puits ABF9 n'est pas compatible pour un usage d'abreuvement pour les paramètres pH, As, Fe et également Al et Ni ;
- la qualité de l'eau du puits ABF8 peut être considérée comme compatible avec l'usage d'abreuvement compte tenu de son usage saisonnier et de ses valeurs en pH et Ni proches des valeurs de référence ;
- la qualité de l'eau du puits ABF11, après le système de traitement, est compatible avec l'usage d'abreuvement.

Pour rappel, il est à noter que les puits ABF2 et ABF11 présentent des concentrations en arsenic avant le système de traitement nettement supérieures aux valeurs de référence.

Il est rappelé également que le propriétaire du puits ABF7 a refusé qu'un prélèvement soit réalisé dans son puits bien que sa localisation soit en aval direct du site et que son usage (domestique dont sanitaire) soit sensible.

Ainsi, des mesures de gestion sont à envisager sur le milieu eaux souterraines pour les puits dont la qualité est incompatible avec les usages recensés.

Il est souhaitable qu'une étude complémentaire soit menée sur ce milieu afin de mieux cerner le sens d'écoulement des eaux, une éventuelle stratification physico-chimique de leur qualité et l'influence des anciens travaux miniers dans le but de mieux déterminer l'origine naturelle ou anthropique des concentrations observées.

Il est recommandé également de bien conserver et entretenir le système de traitement mis en place au niveau des puits ABF2 et ABF11, notamment d'instaurer une surveillance du paramètre As, sachant que des analyses sont réalisées tous les ans par les exploitants agricoles.

9.3. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS POUR LES SOLS SUPERFICIELS

Comme indiqué au § 8.2.2, les teneurs mesurées et analysées au droit du site dépassent les valeurs de fond pédo-géochimique naturel pour les éléments **Al, As, B, Be et Sn**.

En l'absence de valeur réglementaire dans les sols, une **évaluation quantitative des risques sanitaires** doit être menée sur ces paramètres pour les usages et voies d'exposition recensées selon les modalités présentées au § 9.1.

9.3.1. Rappel du schéma conceptuel et définition des scénarios d'exposition

Sur la base des observations réalisées et des aménagements constatés sur le site (cf. § 4.4.1), le secteur d'étude a été découpé en plusieurs zones d'usage homogène. La définition de ces zones est présentée dans les illustrations suivantes.

Zones	Localisation sur le site	Usage considéré
Zone 1 (dont aire de pique-nique)	Le long des sentiers et chemins aménagés	Randonnée, promenade, jogging
Zone 2	Dépôts tabulaires de résidus	Randonnée, promenade, jogging
		VTT, équitation
		BMX
Zone 3	Flanc nord du terril conique	BMX
Zone 4	Flanc sud du terril conique	VTT de descente
Aire de pique-nique	Sud-ouest du site	Repas/zone de jeux pour enfants

Illustration 72 - Définition des zones, usages et voies d'exposition considérés pour l'évaluation des risques sanitaires.

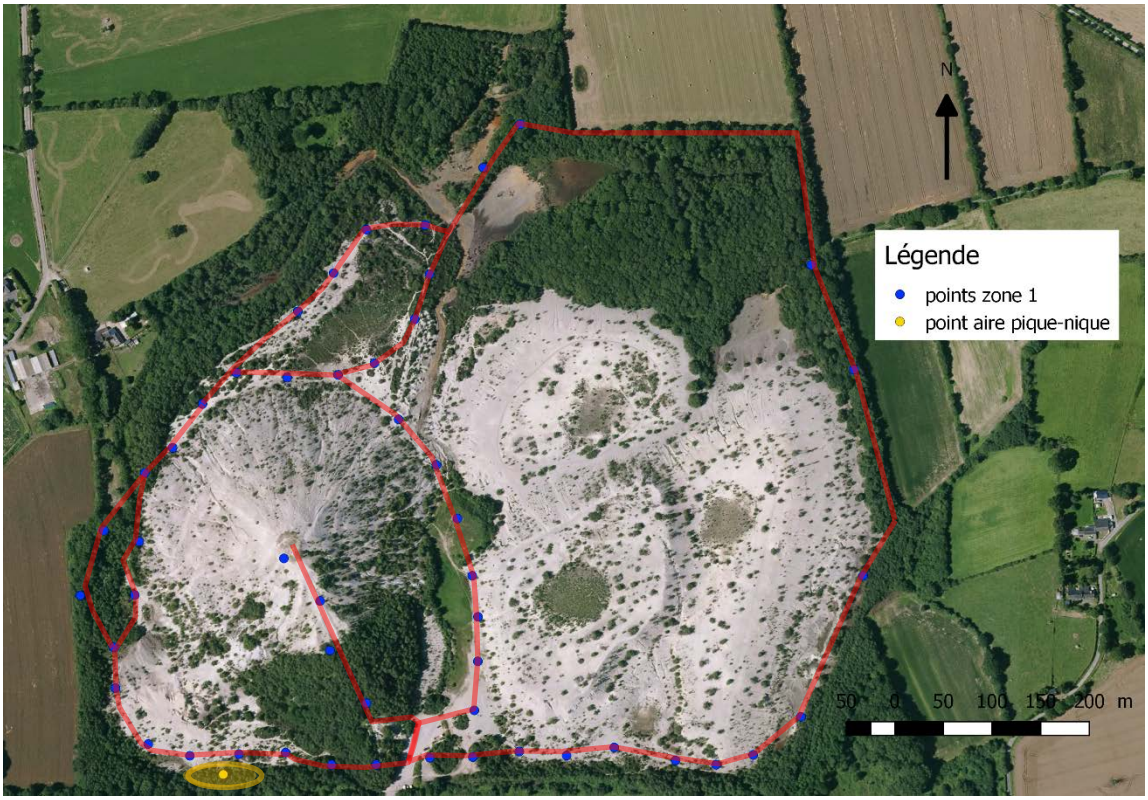


Illustration 73 - Délimitation des zones 1 et pique-nique et localisation des mesures sélectionnées pour ces scénarios.

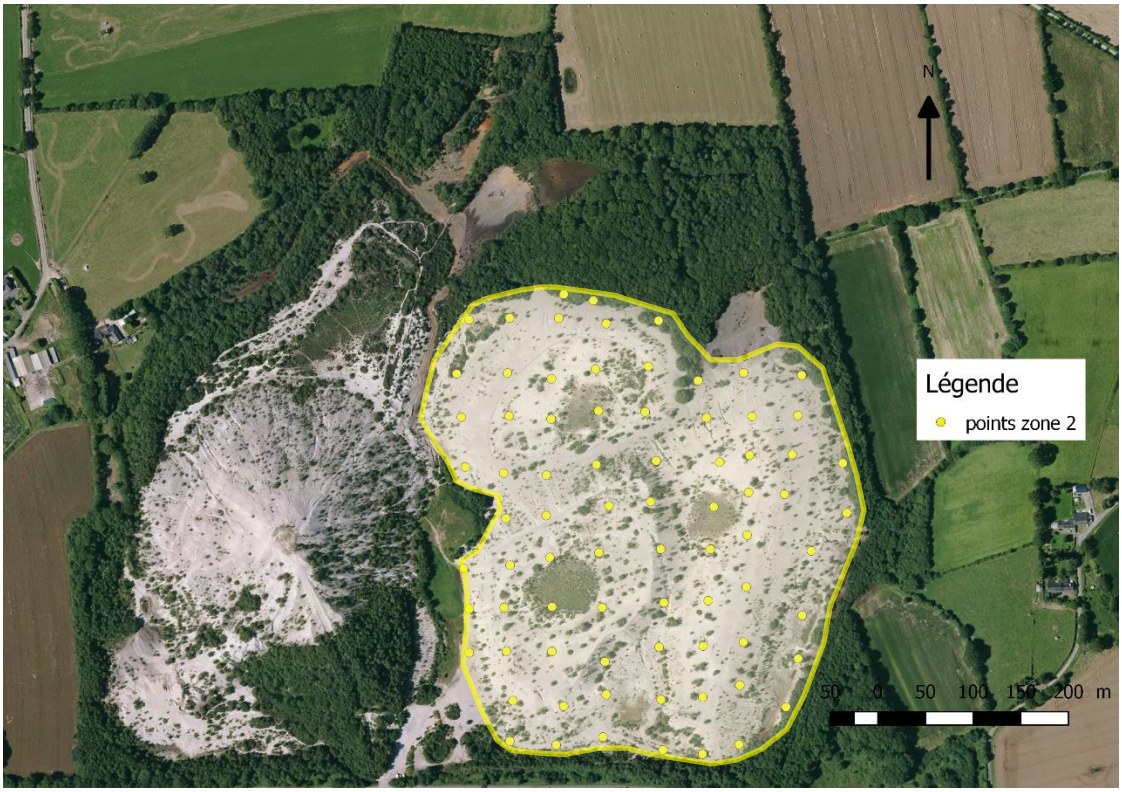


Illustration 74 - Délimitation de la zone 2 et localisation des mesures sélectionnées pour ce scénario.

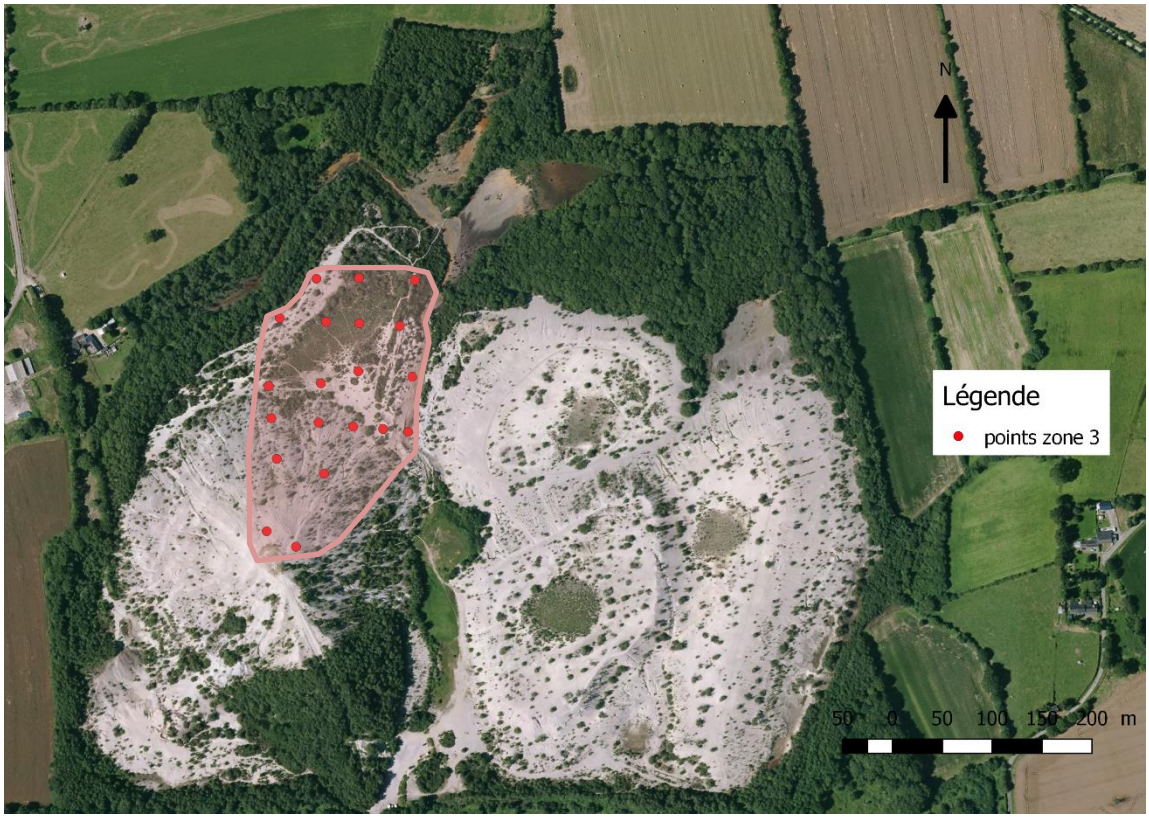


Illustration 75 - Délimitation de la zone 3 et localisation des mesures sélectionnées pour ce scénario.

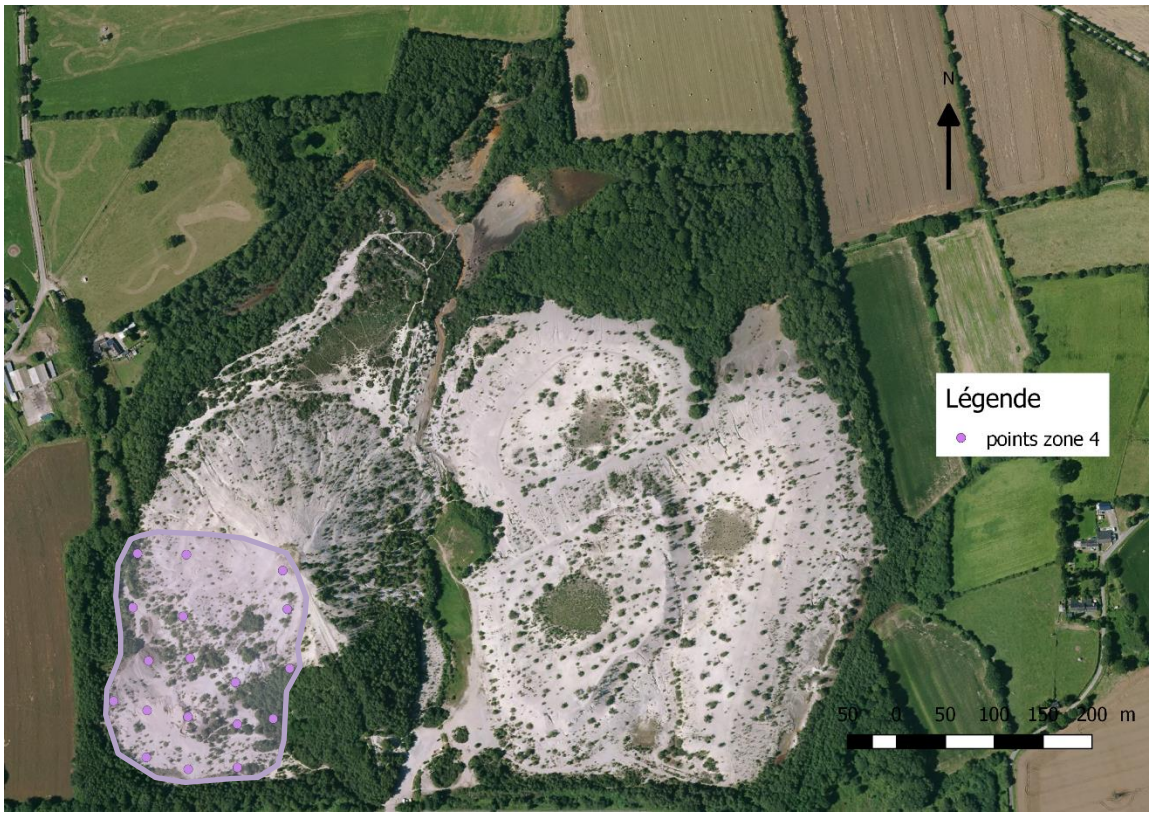


Illustration 76 - Délimitation de la zone 4 et localisation des mesures sélectionnées pour ce scénario.

L'illustration suivante présente les scénarios d'exposition considérés sur chacune de ces zones d'usage homogène identifiées[11].

Zones	Usage considéré	Cibles	Voies d'exposition
Zone 1 (dont aire de pique-nique)	Randonnée, promenade, jogging	Enfants : 2 à 6 ans	Ingestion de terre et de poussières Inhalation de poussières
		Adultes : 6 à 70 ans	
		Enfants devenant adultes : 2 à 30 ans	
Zone 2	Randonnée, promenade, jogging	Enfants : 2 à 6 ans	Ingestion de terre et de poussières Inhalation de poussières
		Adultes : 6 à 70 ans	
		Enfants devenant adultes : 2 à 30 ans	
	VTT, équitation	Adultes : 6 à 70 ans	
	BMX	Adultes : 10 à 50 ans	
Zone 3	BMX	Adultes : 10 à 50 ans	Ingestion de terre et de poussières Inhalation de poussières
Zone 4	VTT de descente	Adultes : 10 à 50 ans	Ingestion de terre et de poussières Inhalation de poussières
Aire de pique-nique	Repas/zone de jeux pour enfants	Adultes : 6 à 70 ans	Ingestion de terre et de poussières Inhalation de poussières
		Enfants : 6 mois à 6 ans	
		Enfants devenant adultes : 6 mois à 30 ans	

Illustration 77 - Scénarios d'exposition considérés pour l'évaluation des risques sanitaires.

Le retour d'expérience sur des situations similaires montre que la voie d'ingestion de terre et poussières est prépondérante devant la voie inhalation de poussières en particulier chez les cibles les plus sensibles, les enfants. **Ainsi, seule la voie ingestion de terre et poussières a été considérée dans la présente évaluation des risques.**

Néanmoins, une quantification des risques par inhalation de poussières est proposée dans le cadre de l'analyse des incertitudes liée à l'évaluation (cf. § 9.3.3-b). Elle démontre que la prise en compte de la voie inhalation de poussières dans l'évaluation des risques ne remettrait pas en question les résultats de l'étude pour l'ensemble des scénarios, à l'exception du scénario « Prise de repas / jeux d'enfants » au droit de l'aire de pique-nique.

[11] Le fait de désigner les individus de plus de 6 ans comme « adultes » est à l'origine fondé sur des considérations toxicologiques et est conventionnel en évaluation des risques.

9.3.2. Hypothèses de l'évaluation des risques sanitaires

a) Substances, teneurs et bioaccessibilité retenues

- **Substances et teneurs retenues**

Conformément à la méthodologie de l'IEM (DGPR, 2017), les substances considérées dans cette évaluation des risques sanitaires sont les éléments traces métalliques (ETM) :

- dont la présence sur le site est en lien avec l'ancienne activité d'exploitation minière et de traitement du minerai, compte tenu des paragenèses connues et des procédés de traitement mis en œuvre ;

  et

- dont les teneurs sur le site sont supérieures aux teneurs de l'environnement local témoin.

Les éléments **Al, As, B, Be et Sn** sont ainsi retenus pour cette évaluation des risques (cf. § 8.2.2).

Les matériaux de surface (entre 0 et 5 cm) présents sur le site ont été caractérisés par 10 analyses en laboratoire des éléments traces minéraux retenus dans l'étude (Al, As, B, Be, Sn), ainsi que par 177 analyses in situ de la teneur en As par XRF portable.

Sur cette base, les teneurs retenues pour évaluer les expositions sont les suivantes :

- compte tenu de l'abondance des données disponibles relatives à As, les teneurs de cet élément retenues dans chaque zone sont les teneurs moyennes mesurées dans la zone par XRF portable (après correction).
- en revanche, les données relatives à Al, B, Be et Sn étant moins nombreuses, la teneur maximale mesurée par analyse au laboratoire sur chaque zone est retenue (cf.Illustration 78).

L'Annexe 7 présente les tableaux des valeurs à fluorescence X portable retenues pour chaque zone d'usage identifiée.

Zone d'usage	ETM	Nombre d'analyses disponibles	Gamme de variation des teneurs mesurées	Teneur retenue
Zone 1	As	51 analyses *in situ* (après correction)	26 - 1 031	199 (moy)
	Al	4 analyses en laboratoire	5 857 - 27 770	27 770
	B		13,1 - 66,3	66,3
	Be		1,3 - 7,2	7,2
	Sn		14,6 - 31,1	31,1
Zone 2	As	77 analyses *in situ* (après correction)	46 - 1 138	368 (moy)
	Al	5 analyses en laboratoire	2101 - 39 090	39 090
	B		18,8 - 54,5	54,5
	Be		3,97 - 14,0	14,0
	Sn		31,1 - 63,8	63,8
Zone 3	As	20 analyses *in situ* (après correction)	26 - 417	151 (moy)
	Al	2 analyses en laboratoire	11 680 - 38 260	38 260

	B		23,3 - 41,8	41,8
	Be		3,09 - 13,7	13,7
	Sn		21,8 - 31,3	31,3
Zone 4	As	18 analyses *in situ* (après correction)	115 - 1 031	282 (moy)
	Al	2 analyses en laboratoire	5857 - 35 950	35 950
	B		27 - 66,3	66,3
	Be		1,28 - 11,9	11,9
	Sn		22,3 - 49,8	49,8
Pique-nique	As	1 analyse *in situ* (après correction)	354	354

Illustration 78 - Teneurs en ETM retenues dans les matériaux de surface.

- **Bioaccessibilité de As dans les matériaux présents sur le site**

La bioaccessibilité absolue de As considérée dans la présente étude est calculée selon l'équation (1) présentée au paragraphe 8.2.2-d.

Sur les 10 échantillons ayant fait l'objet d'essais de bioaccessibilité, la bioaccessiblité gastrique absolue de As apparait supérieure à la bioaccessibilité gastro-intestinale absolue pour 6 échantillons et pas significativement différente de cette dernière pour les 4 autres échantillons (cf. § 8.2.2-d). Dans le cadre d'une approche majorante, les valeurs de bioaccessibilité considérées pour évaluer les expositions seront donc les valeurs de bioaccessibilité gastrique.

De plus, puisque la bioaccessibilité gastrique de As dans les échantillons de stériles n'est pas significativement différente de celle mesurée dans les échantillons de résidus, les stériles et les résidus ont été considérés comme présentant une bioaccessibilité gastrique de As similaire, caractérisée par une moyenne de 17,2 % (cf. § 8.2.2-d). Cette valeur a ainsi été affectée à l'ensemble des zones d'usages homogènes retenues dans l'étude.

b) Évaluation des expositions

Les tranches d'âge d'exposition des cibles considérées pour chaque scénario d'exposition sont présentées dans le paragraphe 9.3.1.

Au sein de ces tranches d'âge d'exposition, des valeurs spécifiques à différentes sous-classes d'âge sont parfois disponibles pour certains paramètres d'exposition. Dans cette situation, dans un souci d'affinement des niveaux de risques calculés :

- les valeurs correspondant à la sous-classe d'âge la plus exposée sont considérées pour évaluer les risques d'effets chroniques à seuil. Les risques de ces effets étant calculés sur une durée de référence de 1 an, il s'agit de considérer l'année pendant laquelle les cibles, au sein de la tranche d'âge d'exposition figurant à l'Illustration 77, sont les plus exposées compte tenu de leurs caractéristiques comportementales et physiologiques ;
- les valeurs moyennes sur la tranche d'âge d'exposition sont considérées pour évaluer les effets chroniques sans seuil. Ces effets sans seuil résultant des expositions cumulées vie entière (durée de référence conventionnellement de 70 ans), il s'agit de tenir compte des caractéristiques d'exposition des cibles moyennées sur l'ensemble de la tranche d'âge d'exposition définie à l'Illustration 77.

Ce principe général d'évaluation est décliné ci-après pour chaque variable humaine d'exposition concernée, à savoir la masse de terre ingérée par jour, le nombre de jours d'exposition et la masse corporelle.

- **Masse de terre ingérée par jour**

Le guide INERIS et InVS (2012) présente des données moyennes de fréquence des contacts main-bouche chez l'enfant en fonction de l'âge (Xue *et al.,* 2007). Ces données révèlent une diminution générale du nombre de contacts main-bouche en extérieur lorsque l'âge augmente, et plus particulièrement une décroissance nette de la fréquence de ces contacts main/bouche à partir de 6 ans.

Ce résultat conduit dans la présente évaluation à distinguer d'une part l'ingestion de terre pour les enfants de 0 à 6 ans et d'autre part l'ingestion de terre pour les plus de 6 ans.

Enfants de moins de 6 ans

La valeur retenue dans la présente étude pour les enfants de moins de 6 ans (de 2 à 6 ans et de 6 mois à 6 ans selon les scénarios) est de 91 mg/j. L'utilisation de cette valeur est en effet préconisée dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 (DGPR, 2017). Elle correspond au 95ème percentile de la distribution de probabilité proposée pour ce paramètre par l'INERIS et l'InVS (2012) dans le guide « Quantités de terre et de poussière ingérées chez l'enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants ». Cette distribution est une distribution log-normale, ajustée aux données publiées par Stanek et al. (2001) puis bornée entre 0 et 200 mg/j.

Le choix de cette valeur est corroboré par l'Exposure Factors Handbook de l'US-EPA, dont le chapitre 5 relatif à l'ingestion de terre a été actualisé fin 2017.

Adultes

L'INERIS (guide MODUL'ERS, 2015) recommande les estimations centrales de la masse de terre ingérée quotidiennement, à l'exclusion des poussières intérieures, suivantes : 50 mg/j pour les individus âgés de 6 à 11 ans et 20 mg/j pour les individus de plus de 11 ans. Ces valeurs ont été retenues pour les adultes dans le cadre des usages de « promenade, randonnée et jogging » sur les zones 1 et 2, ainsi que pour la fréquentation de l'aire de pique-nique, de la manière suivante :

- pour les effets à seuil (durée de référence : 1 an) : la valeur de 50 mg/j est considérée ;
- pour les effets sans seuil (durée de référence : 70 ans) : la valeur considérée est une moyenne des valeurs de 50 mg/j et de 20 mg/j pondérée par le nombre d'années d'exposition de la cible dans chaque catégorie d'âge. Ainsi, pour les adultes fréquentant le site de 6 à 70 ans, la masse de terre ingérée par jour retenue est égale à 22 mg/j = (50 x 5/64) + (20 x 59/64) ; pour les adultes fréquentant le site de 6 à 30 ans, elle est égale à 26 mg/j = (50 x 5/24) + (20 x 19/24).

À noter que la mise à jour du chapitre 5 de l'Exposure Factors Handbook (2017) préconise des valeurs centrales de 30 mg/j pour les 6-12 ans, puis de 10 mg/j au-delà de 12 ans, ainsi que des valeurs « upper percentile » de 90 puis 50 mg/j respectivement pour ces deux classes d'âge. Les recommandations de l'INERIS (2015) retenues dans la présente étude se positionnent donc entre les valeurs centrales et « upper percentiles » de l'US-EPA.

Pour les activités de VTT et d'équitation sur la zone 2, activités émissives de poussières et dans lesquelles les usagers sont susceptibles de se suivre, la valeur retenue est la valeur conservatoire de 200 mg/j préconisée par l'INERIS (2015) pour les individus de moins de 11 ans. Cette valeur est par ailleurs proposée par l'US-EPA (2017) sans distinction de classes d'âge pour l'ingestion simultanée de terre en extérieur et de poussières intérieures.

Pour les activités de BMX sur les zones 2 et 3 et de VTT de descente sur la zone 4, cette pratique étant très émissive de poussières du sol et les chutes fréquentes, la valeur

conservatoire proposée par l'INERIS (2015) pour les adultes (individus de plus de 11 ans) de 400 mg/j est retenue. À titre de comparaison, Hawley (1985), se fondant sur des hypothèses de fréquence de contact avec le sol, estime qu'un adulte ingère 480 mg/j de terre dans le cadre de travaux de jardinage.

Synthèse par scénario

Zones	Usage considéré	Cibles	Masse de terre ingérée considérée
Zone 1 (dont aire de pique-nique)	Randonnée, promenade, jogging	Enfants : 2 à 6 ans	91 mg/j
		Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 50 mg/j Sans seuil : 22 mg/j
		Enfants devenant adultes : 2 à 30 ans	A seuil : 91 mg/j Sans seuil : 91 mg/j jusqu'à 6 ans puis 26 mg/j de 6 à 30 ans
Zone 2	Randonnée, promenade, jogging	Enfants : 2 à 6 ans	91 mg/j
		Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 50 mg/j Sans seuil : 22 mg/j
		Enfants devenant adultes : 2 à 30 ans	A seuil : 91 mg/j Sans seuil : 91 mg/j jusqu'à 6 ans puis 26 mg/j de 6 à 30 ans
	VTT, équitation	Adultes : 6 à 70 ans	200 mg/j
	BMX	Adultes : 10 à 50 ans	400 mg/j
Zone 3	BMX	Adultes : 10 à 50 ans	400 mg/j
Zone 4	VTT de descente	Adultes : 10 à 50 ans	400 mg/j
Aire de pique-nique	Repas/zone de jeux pour enfants	Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 50 mg/j Sans seuil : 22 mg/j
		Enfants : 6 mois à 6 ans	91 mg/j
		Enfants devenant adultes : 6 mois à 30 ans	A seuil : 91 mg/j Sans seuil : 91 mg/j jusqu'à 6 ans puis 26 mg/j de 6 à 30 ans

Illustration 79 - Synthèse des valeurs retenues pour le paramètre « masse de terre ingérée par jour » en fonction des différents scénarios d'exposition.

- **Nombre de jours de fréquentation du site**

L'enquête emploi du temps de l'Insee de 2009-2010 réalisée en France métropolitaine et départements d'outre-mer (DOM) auprès d'environ 12 000 ménages entre septembre 2009 et septembre 2010 a pour objectif de collecter des données sur la façon dont les individus organisent leur temps. Les résultats de cette enquête fournissent notamment des données de taux moyens de pratique de différentes activités et de durée de pratique de chacune de ces

activités pour différentes classes d'âge allant des personnes de moins de 18 ans aux personnes de 70 ans et plus. Ils permettent ainsi de décrire la répartition des activités pratiquées par la population française sur une journée moyenne.

Adultes

Dans le cadre de cette évaluation des risques, il est proposé d'estimer la fréquentation du site par les cibles adultes pour les usages « promenade, randonnée, jogging » au moyen des données relatives aux activités de « Promenade » et « Sport » issues de cette enquête de l'INSEE. L'INSEE indique, pour ces deux activités, des taux de pratique moyens cumulés compris entre un minimum de 18 % (équivalent à 66 j/an) pour les plus de 60 ans actifs et un maximum de 37 % (équivalent à 135 j/an) pour les moins de 18 ans, avec une moyenne pour l'ensemble de la population française de 26 % toutes classes d'âge confondues (équivalent à 95 j/an).

Sur la base de ces éléments, les hypothèses de fréquentation retenues pour les scénarios « promenade, randonnée et jogging » sur les zones 1 et 2 sont les suivantes :

- pour les effets à seuil (durée de référence : 1 an) : la valeur maximale de 135 j est considérée ;
- pour les effets sans seuil (durée de référence : 70 ans) :
  - pour les adultes fréquentant le site de 6 à 70 ans, la valeur de 95 j/an est considérée,
  - pour les adultes fréquentant le site de 6 à 30 ans, la valeur considérée est une moyenne des valeurs produites par l'INSEE propres aux classes d'âge « <18 ans » et « 18-30 ans » pondérée par le nombre d'années de vie de la cible dans chaque classe. Ainsi, le nombre de jours de fréquentation du site est de 135 * 12/24 + 88 * 12/24 = 113 j/an.

Bien que reposant sur des données statistiques nationales moyennes, ces hypothèses de fréquentation du site par les adultes sont considérées majorantes car :

- elles considèrent que les riverains du site passeront 100 % de leur temps habituel de pratique de la promenade et du sport sur le site ;
- de plus, l'activité « Sport » au sens de l'INSEE, si elle inclut le footing susceptible effectivement d'être effectué sur le site, comporte également d'autres activités sportives qui ne pourraient pas avoir lieu d'y être exercées (par exemple : natation, sports d'intérieur, etc.).

Il est à noter que les résultats de l'enquête INSEE comportent également des données sur les taux de pratiques d'autres activités d'extérieur : cueillette, chasse et pêche. Ces données ont été exclues dans le cadre de l'appréciation de la fréquentation du site car de telles pratiques n'ont pas été constatées sur le site (cf. § 4.4.1).

Selon une logique similaire, l'estimation de la fréquentation du site pour les usages « BMX », « VTT de descente » et « VTT et équitation » par les cibles adultes repose sur les données relatives à l'activité « Sport » issues de cette enquête de l'INSEE. L'INSEE indique, pour cette activité, des taux de pratique moyens compris entre un minimum de 5 % (équivalent à 18 j/an) pour les 60-70 ans actifs et un maximum de 23 % (équivalent à 84 j/an) pour les moins de 18 ans, avec une moyenne pour l'ensemble de la population française de 10 % toutes classes d'âge confondues (équivalent à 37 j/an).

Sur la base de ces éléments, les hypothèses suivantes ont été considérées :

- pour les effets à seuil (durée de référence : 1 an) : la valeur maximale de 84 j est retenue pour les scénarios « BMX » sur les zones 2 et 3, « VTT de descente » sur la zone 4 et « VTT et équitation » sur la zone 2 ;
- pour les effets sans seuil (durée de référence : 70 ans) :

- dans le cadre du scénario « VTT et équitation » sur la zone 2, la valeur de 37 j/an est retenue pour les adultes fréquentant le site de 6 à 70 ans,
- dans le cadre des scénarios « BMX » sur les zones 2 et 3, ainsi que « VTT de descente » sur la zone 4, la valeur considérée pour les personnes fréquentant le site de 10 à 50 ans est la moyenne des valeurs produites par l'INSEE propres à chaque classe d'âge pondérée par le nombre d'années d'exposition de la cible dans chaque classe, à savoir 43 j/an (84 * 8/40 + 44 * 12/40 + 37 *20/40 = 49 j/an).

Ces choix sont considérés raisonnablement majorants pour les mêmes raisons que précédemment.

Enfin, l'estimation de la fréquentation de l'aire de pique-nique par les adultes pour la prise de repas est estimée sur avis d'expert à 1 fois/semaine, soit 52 j/an.

Enfants

Seule une référence bibliographique permettant une estimation du temps passé par les enfants à des activités en extérieur a été identifiée (Roy *et al.,* 1993). Les données de budget espace-temps-activités fournies dans cette étude correspondent à des médianes moyennées sur l'année. Elles reposent sur le guide de la scolarité pour les enfants de 3 ans et plus. Pour les enfants de moins de 3 ans, les auteurs ont procédé à des extrapolations à partir de l'emploi du temps de leur mère. Sur cette base, les auteurs considèrent que la durée journalière moyennée sur l'année dédiée aux activités de jeux et sports en extérieur est nulle pour les enfants de 0 à 3 ans et estimée à 40 min pour les enfants de 4 à 6 ans.

Puisqu'elles correspondent à des durées journalières moyennées sur l'année, donc sur 365 j, ces données, bien qu'indicatives, ne peuvent être considérées directement dans l'évaluation des risques. En effet, la voie d'exposition considérée, l'ingestion de sol, nécessite de distinguer le nombre de jours d'exposition par an de la durée de l'activité par jour d'exposition.

Or, aucune référence bibliographique fournissant une estimation du nombre de jours par an dédiés aux activités en extérieur (promenade et jeu) n'a été identifiée pour l'enfant de moins de 7 ans. Un état des lieux sur les choix usuels effectués dans le cadre d'évaluations des risques sanitaires met en avant l'« avis d'expert » comme moyen d'estimation, spécifique ou non, de cette variable.

Dans le cadre de la présente étude, il est proposé de considérer que les enfants de 2 à 6 ans qui fréquentent le site sont accompagnés par un adulte qui se promène. Le nombre de jours de fréquentation du site annuel par les enfants est alors estimé sur la base des données relatives à l'activité « Promenade » issues de cette enquête de l'INSEE. L'INSEE indique, pour cette activité, des taux de pratique moyens compris entre un minimum de 10 % (équivalent à 18 j/an) pour les 18-30 ans actifs et un maximum de 27 % (équivalent à 99 j/an) pour les plus de 60 ans inactifs, avec une moyenne pour l'ensemble de la population française de 16 % toutes classes d'âge confondues (équivalent à 58 j/an). Dans le cadre d'une approche conservatoire, la valeur maximale est retenue. Il est donc considéré que les enfants de 2 à 6 ans fréquentent le site 99 j/an.

Par ailleurs, comme pour les adultes, l'estimation de la fréquentation de l'aire de pique-nique par les enfants de 6 mois à 6 ans pour la prise de repas et comme aire de jeux est estimée sur avis d'expert à 1 fois/semaine, soit 52 j/an.

Synthèse par scénario

Zones	Usage considéré	Cibles	Nombre de jours de fréquentation du site
Zone 1 (dont aire de pique-nique)	Randonnée, promenade, jogging	Enfants : 2 à 6 ans	99 j/an
		Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 135 j/an Sans seuil : 95 j/an
		Enfants devenant adultes : 2 à 30 ans	A seuil : 135 j/an Sans seuil : 99 j/an jusqu'à 6 ans puis 113 j/an de 6 à 30 ans
Zone 2	Randonnée, promenade, jogging	Enfants : 2 à 6 ans	99 j/an
		Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 135 j/an Sans seuil : 95 j/an
		Enfants devenant adultes : 2 à 30 ans	A seuil : 135 j/an Sans seuil : 99 j/an jusqu'à 6 ans puis 113 j/an de 6 à 30 ans
	VTT, équitation	Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 84 j/an Sans seuil : 37 j/an
	BMX	Adultes : 10 à 50 ans	A seuil : 84 j/an Sans seuil : 49 j/an
Zone 3	BMX	Adultes : 10 à 50 ans	
Zone 4	VTT de descente	Adultes : 10 à 50 ans	
Aire de pique-nique	Repas/zone de jeux pour enfants	Adultes : 6 à 70 ans	52 j/an
		Enfants : 6 mois à 6 ans	
		Enfants devenant adultes : 6 mois à 30 ans	

Illustration 80 - Synthèse des valeurs retenues pour le paramètre « Nombre de jours de fréquentation du site » en fonction des différents scénarios d'exposition.

- **Masse corporelle**

Adultes

La masse corporelle des adultes est adaptée aux tranches d'âge des cibles considérées dans chaque scénario. Les données utilisées sont les données fournies par l'INERIS (2015) dans son rapport relatif aux paramètres d'exposition à considérer dans le logiciel MODUL'ERS.

En ce qui concerne les scénarios « promenade, randonnées, jogging » dans les zones 1 et 2, « VTT, équitation » dans la zone 2, ainsi que pour la fréquentation de l'aire de pique-nique, les cibles « adultes » sont considérées fréquenter le site de 6 à 70 ans ou de 6 à 30 ans. En conséquence :

- pour les effets à seuil (durée de référence : 1 an) : par homogénéité avec les masses de terre ingérées (caractéristiques des moins de 21 ans) et la fréquentation du site (caractéristique des moins de 18 ans) considérées par ailleurs, la valeur de masse corporelle retenue est la valeur de la classe d'âge 6-18 ans. Ce choix évite la minoration des niveaux de risques d'effets à seuil qui résulterait de l'utilisation de données adultes moyennes. Cette valeur spécifique aux 6-18 ans est obtenue, sur la base des données INERIS (2015 ; MODUL'ERS), en faisant la moyenne des valeurs fournies par l'INERIS pour les classes d'âge 6-11 ans, 11-15 ans et 15-18 ans, pondérée par le nombre d'années d'exposition de la cible dans chaque classe d'âge. La valeur ainsi calculée est de 43 kg.
- pour les effets sans seuil (durée de référence : 70 ans) :
  - pour les 6-70 ans, la valeur considérée est une moyenne des valeurs fournies par l'INERIS (2015) propres aux classes d'âge 6-11 ans, 11-15 ans et 15-18 ans et plus de 18 ans, pondérée par le nombre d'années d'exposition de la cible dans chaque classe. La valeur ainsi calculée est de 65 kg,
  - pour les adultes fréquentant le site de 6 à 30 ans, la valeur considérée est une moyenne des valeurs fournies par l'INERIS (2015) propres aux classes d'âge 6-11 ans, 11-15 ans et 15-18 ans pondérée par le nombre d'années d'exposition de la cible dans chaque classe. La valeur ainsi calculée est de 57 kg.

En ce qui concerne les scénarios « BMX » sur les zones 2 et 3, ainsi que « VTT de descente » sur la zone 4, selon les mêmes principes de sélection, considérant les cibles exposées de 15 à 50 ans, sont retenues :

- pour les effets à seuil (durée de référence : 1 an) : la valeur spécifique aux 11-15 ans proposée par l'INERIS (2015 ; MODUL'ERS) spécifiquement pour cette classe d'âge, à savoir 47,2 kg,
- pour les effets sans seuil (durée de référence : 70 ans) : une valeur considérée est une moyenne des valeurs fournies par l'INERIS (2015) pour les classes d'âge « 11-15 ans », « 15-18 ans » et « plus de 18 ans », pondérée par le nombre d'années d'exposition de la cible dans chaque classe. La valeur ainsi calculée est de 67 kg.

Enfants

Les valeurs retenues sont les valeurs recommandées dans le cadre de la démarche Établissements Sensibles (MEDD, BRGM, ADEME, INERIS, InVS, 2011) :

- 14,7 kg pour les enfants de 2 à 6 ans, exposés dans le cadre des scénarios promenade, randonnée, jogging sur les zones 1 et 2 ;
- 13 kg pour les enfants de 6 mois à 6 ans, exposés sur l'aire de pique-nique.

Ces valeurs reposent sur l'analyse par l'INERIS des distributions observées en France par le Ministère de la Santé (carnet de santé). Elles sont obtenues en faisant la moyenne des masses corporelles des filles et des garçons pour chaque classe d'âge, puis en pondérant ces moyennes par classe d'âge en fonction du nombre d'années d'exposition de la cible compte tenu du scénario considéré.

Ainsi, les valeurs de la masse corporelle retenues pour les enfants sont adaptées au nombre d'années d'exposition considérées dans chaque scénario d'usage impliquant des enfants.

Synthèse par scénario

Zones	Usage considéré	Cibles	Masse corporelle
Zone 1 (dont aire de pique-nique)	Randonnée, promenade, jogging	Enfants : 2 à 6 ans	14,7 kg
		Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 43 kg Sans seuil : 65 kg
		Enfants devenant adultes : 2 à 30 ans	A seuil : 14,7 kg Sans seuil : 14,7 kg jusqu'à 6 ans puis 57 kg de 6 à 30 ans
Zone 2	Randonnée, promenade, jogging	Enfants : 2 à 6 ans	14,7 kg
		Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 43 kg Sans seuil : 65 kg
		Enfants devenant adultes : 2 à 30 ans	A seuil : 14,7 kg Sans seuil : 14,7 kg jusqu'à 6 ans puis 57 kg de 6 à 30 ans
	VTT, équitation	Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 43 kg Sans seuil : 65 kg
	BMX	Adultes : 10 à 50 ans	A seuil : 47,2 kg Sans seuil : 67 kg
Zone 3	BMX	Adultes : 10 à 50 ans	
Zone 4	VTT de descente	Adultes : 10 à 50 ans	
Aire de pique-nique	Repas/zone de jeux pour enfants	Adultes : 6 à 70 ans	A seuil : 43 kg Sans seuil : 65 kg
		Enfants : 6 mois à 6 ans	13 kg
		Enfants devenant adultes : 6 mois à 30 ans	A seuil : 13 kg Sans seuil : 13 kg jusqu'à 6 ans puis 57 kg de 6 à 30 ans

Illustration 81 - Synthèse des valeurs retenues pour le paramètre « masse corporelle » en fonction des différents scénarios d'exposition ;

- **Nombre d'année d'exposition**

Le nombre d'année d'exposition découle directement des scénarios retenus (cf. Illustration 77).

Adultes	• « Promenade, randonnée, jogging » dans les zones 1 et 2 • « VTT, équitation » dans la zone 2 • Fréquentation de l'aire de pique-nique	64 ans (6-70 ans)
	• « BMX » dans les zones 2 et 3 • « VTT de descente » dans la zone 4	40 ans (10 à 50 ans)
Enfants	• « Promenade, randonnée, jogging » dans les zones 1 et 2	4ans (2 à 6 ans)
	• Fréquentation de l'aire de pique-nique	5,5 ans (6 mois à 6 ans)
Enfants devenant adultes	• « Promenade, randonnée, jogging » dans les zones 1 et 2	4 ans en tant qu'enfant et 24 ans en tant qu'adulte (2 à 30 ans)
	• Fréquentation de l'aire de pique-nique	5,5 ans en tant qu'enfant et 24 ans en tant qu'adulte (6 mois à 30 ans)

Illustration 82 - Nombre d'années d'exposition des cibles retenu ;

c) Évaluation de la toxicité

- **Identification du potentiel dangereux**

L'étape d'identification du potentiel dangereux des substances consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme.

N° CAS	substance	Description des effets systémiques chroniques		Effets cancérigènes			
		Voie ingestion	Voie inhalation	Classification			Description des effets cancérigènes constatés
				CIRC	IRIS/US-EPA	ECHA/UE	
7429-90-5	Aluminium (Al)	Chez l'homme, des effets neurotoxiques sont pointés : Al serait impliqué dans le développement de la maladie d'Alzheimer et associé avec d'autres maladies neurodégénératives. Cependant, ces hypothèses restent controversées. Chez l'animal, des effets neurotoxiques, des effets sur l'appareil reproducteur, ainsi que des effets embryotoxiques affectant le développement du système nerveux de la progéniture, sont pointés. (EFSA, 2008)	Peu d'études robustes pour la voie inhalation. Syndromes neurologiques. (OMS, 1997)	Non évalué par le CIRC	Non évalué par l'US-EPA (IRIS)	Non classé par l'ECHA	Informations insuffisantes pour classer le risque de cancer associé à l'exposition humaine à Al et ses composés. Les études chez l'animal n'indiquent pas que Al et ses composés sont cancérigènes. (OMS, 1997)
7440-38-2	Arsenic (As)	S'agissant des effets chroniques par voie orale, les effets de l'arsenic sont divers : effets sur la peau (hyperkératose et hyperpigmentation), le système respiratoire (toux, écoulement nasal, laryngites), cardiovasculaire (arythmies, péricardites, « Blackfoot disease » -gangrène), neurologique, gastro-intestinal, sanguin et, découvert récemment, un possible impact sur le développement de certains types de diabète. Les effets sur la peau sont les signes les plus précoces traduisant une intoxication par l'arsenic. (INERIS, 2010)	La grande majorité des informations disponibles, relatives à l'exposition par inhalation à l'arsenic, provient de situations professionnelles (fonderies, mines ou usines de produits chimiques) et rapporte des effets principalement au niveau de l'appareil respiratoire, du système cardiovasculaire et de la peau, mais aussi au niveau du système nerveux périphérique (neuropathies, diminution de la conduction nerveuse). (INERIS, 2010)	Groupe 1 - Carcinogenic to humans (2012)	Groupe A - Human carcinogen (1995)	Groupe Carc. 1A - Substance dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est avéré	Les principaux cancers liés à une exposition à l'arsenic sont les cancers de la peau, de la vessie, des poumons, des reins et du foie. L'arsenic est clastogène (c'est-à-dire susceptible de provoquer des cassures de chromosomes). Il est génotoxique (c'est-à-dire susceptible de provoquer l'apparition de lésions dans l'ADN). Il est considéré que le mécanisme de génotoxicité impliqué serait indirect, l'arsenic agissant au niveau de l'apoptose, de la réplication de l'ADN, des enzymes de réparation, ou en tant qu'analogue du phosphore. (INERIS, 2010)
7440-42-8	Bore (B)	Effet sur le développement (diminution du poids du fœtus) et la reproduction (atrophie testiculaire) chez l'animal. (OMS, 1998)	Effet irritant des voies respiratoires supérieures (nez, pharynx et yeux) : effet court terme et réversible. (OMS, 1998) Effets sur les testicules (US-EPA IRIS)	Non évalué par le CIRC	Non évalué par l'US-EPA (IRIS)	Non classé par l'ECHA	Le bore n'est pas considéré comme cancérigène, seules des VTR pour des effets à seuil non cancérigènes sont développées par les organismes (INERIS, 2014).

Illustration 83 - Identification du potentiel dangereux des substances retenues.

Abréviations :

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer ; IRIS/US-EPA : Integrated risk information system / United-States environmental protection agency (agence américaine de protection de l'environnement) ; ECHA/UE : European Chemicals Bureau de l'Union Européenne ; EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments ; INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques (France) ; OMS : Organisation mondiale de la santé ; ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry (États-Units).

N° CAS	substance	Description des effets systémiques chroniques		Effets cancérigènes			
		Voie ingestion	Voie inhalation	Classification			Description des effets cancérigènes constatés
				CIRC	IRIS/US-EPA	ECHA/UE	
7440-31-5	Etain (Sn)	Que ce soit par inhalation ou ingestion, les composés inorganiques de l'étain n'engendrent généralement pas d'effets nocifs chez l'homme car ils pénètrent et sont éliminés rapidement de l'organisme. (ATSDR, 2005)	Que ce soit par inhalation ou ingestion, les composés inorganiques de l'étain n'engendrent généralement pas d'effets nocifs chez l'homme car ils pénètrent et sont éliminés rapidement de l'organisme. Cependant, à doses élevées, les études révèlent les effets suivants : douleurs d'estomac, anémie, problèmes sur le foie et le rein. Les études expérimentales chez l'animal montrent des effets similaires à ceux observés chez l'homme. (ATSDR, 2005)	Non évalué par le CIRC	Non évalué par l'US-EPA (IRIS)	Non classé par l'ECHA	L'étain inorganique n'est pas reconnu comme cancérigène. (ATSDR, 2005)
7440-41-7	Béryllium (Be)	Les organes cibles pour une exposition par voie orale sont le système gastro-intestinal et le squelette : lésions gastro-intestinales, hypoplasie de la moelle osseuse, rachitisme. (OMS, 2001)	L'organe cible principal pour une exposition par voie inhalation est le poumon. Chez l'animal, des pneumonites, fibroses, lésions proliférratives, métaplasies, hyperplasies ont été observées dans les poumons chez plusieurs espèces animales exposées à des formes solubles ou peu solubles du Be. Chez l'homme, la bérylliose pulmonaire chronique se caractérise par la formation de granulomes, résultant d'une réaction immunitaire aux particules de Be dans les poumons. (OMS, 2001)	Groupe 1 - Carcinogenic to humans (2012)	Groupe B1 - Probable human carcinogen, based on limited evidence of carcinogenicity in humans (1998)	Groupe Carc. 1B - Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé	Cancers pulmonaires (OMS, 2001). Les résultats des études de génotoxicité semblent montrer que les différents composés du béryllium ne sont pas mutagènes sur bactéries mais que certains d'entre eux seraient mutagènes et clastogènes sur cellules de mammifères in vitro. Ces résultats ne seraient pas confirmés par deux études réalisées in vivo. Toutefois, en l'absence d'études complémentaires, le mécanisme de l'effet cancérigène pour le béryllium et ses composés est considéré comme étant sans seuil (INERIS, 2014).

Illustration 83 (suite) - Identification du potentiel dangereux des substances retenues

Abréviations :

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry (États-Unis) ; CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer ; ECHA/UE : European Chemicals Bureau de l'Union Européenne ; EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments ; INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques (France) ; IRIS/US-EPA : Integrated risk information system / United-States environmental protection agency (agence américaine de protection de l'environnement) ; OMS : Organisation mondiale de la santé.

- **Choix des relations dose-réponse**

L'objectif de l'évaluation de la relation dose-réponse est de définir, quand cela est possible, une relation quantitative entre la dose et l'augmentation de la probabilité d'occurrence et/ou de la gravité des effets néfastes.

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR), utilisées pour estimer l'incidence ou le potentiel des effets néfastes sur l'homme, sont dérivées de cette relation dose-réponse.

Ces VTR ont été sélectionnées conformément à la note d'information de la Direction Générale de la Santé (DGS) n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux « modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impacts et de la gestion des sites et sols pollués ».

Les VTR pour la voie orale retenues dans la présente étude sont présentées dans l'Illustration 84 et explicitées dans les paragraphes suivants.

N° CAS	substance	Voie d'exposition : orale							
		Durée d'exposition : chronique							
		Effets à seuil	Source, date	Effet critique	Justification du choix au regard de la note de la DGS (2014)	Effets sans seuil	Source, date	Effet critique	Justification du choix au regard de la note de la DGS (2014)
		VTR (mg/kg/j)				VTR $(mg/kg/j)^{-1}$			
7429-90-5	Aluminium (Al)	1,40E-01	EFSA, 2008	Développement du système nerveux	Expertise nationale VTR sélectionnée par l'ANSES (ANSES, 2014 - Saisine n° 2014-SA-0223)	-	-	-	Pas d'effet sans seuil identifiés (i.e. effets cancérogènes mutagènes ou génotoxiques).
7440-38-2	Arsenic (As)	4,50E-04	ForBiG, 2009	Lésions cutanées	Expertise nationale Valeur recommandée par l'INERIS (INERIS, 2010) Pas de VTR postérieure à cette date identifiée	1,50E+00	US-EPA (IRIS), 1998 OEHHA, 2009	Cancer de la peau	Expertise nationale Valeur recommandée par l'INERIS (INERIS, 2010) Pas de VTR postérieure à cette date identifiée
7440-42-8	Bore (B)	2,00E-01	US-EPA (IRIS), 2004	Effet sur le développement : diminution du poids du fœtus	Expertise nationale Valeur recommandée par l'INERIS (INERIS, 2014) Pas de VTR postérieure à cette date identifiée	-	-	-	Pas d'effet sans seuil identifiés (i.e. effets cancérogènes mutagènes ou génotoxiques).

Illustration 84 - Valeurs toxicologiques retenues pour la voie orale (valeurs au 16/11/2017) .

Abréviations :

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, France ; ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, États-Unis ; DGS : Direction Générale de la Sante du ministère en charge de la santé, France ; EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments ; ForBiG : Forschungs und Beratungsinstitut Gefahrstoffe (institut de recherche et de conseil pour les substances dangereuses), Allemagne ; INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques (France) ; OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment (bureau de l'état de Californie pour l'évaluation des risques sanitaires liés à l'environnement) ; OMS : Organisation mondiale de la santé ; RIVM : RijksInstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Institut néerlandais de la santé publique et de l'environnement) ; US-EPA (IRIS) : United-States environmental protection agency (agence américaine de protection de l'environnement) – integrated risk information system.

N° CAS	substance	Voie d'exposition : orale							
		Durée d'exposition : chronique							
		Effets à seuil	Source, date	Effet critique	Justification du choix au regard de la note de la DGS (2014)	Effets sans seuil	Source, date	Effet critique	Justification du choix au regard de la note de la DGS (2014)
		VTR (mg/kg/j)				VTR $(mg/kg/j)^{-1}$			
7440-41-7	Béryllium (Be)	2,00E-03	US-EPA (IRIS), 1998 ATSDR, 2002 OMS, 2000	Effets gastro-intestinaux : petites lésions intestinales	Expertise nationale Valeur recommandée par l'INERIS (INERIS, 2014) Pas de VTR postérieure à cette date identifiée	-	-	-	Aucune VTR orale identifiée, bien que des effets cancérigènes sans seuil soient suspectés.
7440-31-5	Etain (Sn)	2,00E-01	RIVM, 2009	Accumulation de Sn dans les os et diminution de l'efficience alimentaire	Seule VTR chronique non provisoire disponible.	-	-	-	Pas d'effet sans seuil identifiés (i.e. effets cancérogènes mutagènes ou génotoxiques).

Illustration 84 (suite) - Valeurs toxicologiques retenues pour la voie orale (valeurs au 16/11/2017).

Abréviations :

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, France ; ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, États-Unis ; DGS : Direction Générale de la Sante du ministère en charge de la santé, France ; EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments ; ForBiG : Forschungs und Beratungsinstitut Gefahrstoffe (institut de recherche et de conseil pour les substances dangereuses), Allemagne ; INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques (France) ; OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment (bureau de l'état de Californie pour l'évaluation des risques sanitaires liés à l'environnement) ; OMS : Organisation mondiale de la santé ; RIVM : RijksInstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Institut néerlandais de la santé publique et de l'environnement) ; US-EPA (IRIS) : United-States environmental protection agency (agence américaine de protection de l'environnement) – integrated risk information system.

d) Caractérisation des risques

- **Prise en compte de la bioaccessibilité dans l'évaluation des risques sanitaires**

Notions de biodisponibilité et de bioaccessibilité

La définition du terme biodisponibilité dépend du domaine scientifique dans lequel on l'emploie : étude des transferts dans la zone non saturée, absorption par les plantes, toxicologie humaine, écotoxicologie, etc. S'inscrivant dans un contexte d'évaluation des risques pour la santé humaine, ce paragraphe traite de la biodisponibilité par voie orale pour l'homme.

- *Biodisponibilité absolue*

La biodisponibilité absolue par voie orale ($BD_{absolue}$) se définit comme la fraction de la dose administrée parvenant dans le compartiment sanguin (INERIS et InVS, 2012).

Schématiquement, la biodisponibilité d'une substance résulte de trois processus successifs (Caboche, 2009 ; RECORD, 2012 ; Ruby, 1999 ; Oomen et al., 2006) :

- la solubilisation de la substance, dans la lumière du tractus gastro-intestinal. Le compartiment buccal a un faible effet de solubilisation des substances présentes dans la terre ingérée car son pH est proche de la neutralité et le temps de séjour est faible (de quelques secondes à quelques minutes). Au contraire, dans le compartiment stomacal, le pH bas (pH entre 1 et 2 en conditions à jeun) permet une mise en solution plus importante des substances liées à la matrice du sol dans le chyme (c'est-à-dire le mélange semi-liquide correspondant à l'état du bol alimentaire dans l'estomac). Ensuite, dans le duodénum, c'est-à-dire la première portion de l'intestin grêle, le chyme stomacal reçoit les sécrétions biliaires et pancréatiques, qui relèvent son pH jusqu'à une valeur proche de la neutralité. A ce niveau, les substances solubilisées voient leur environnement devenir neutre et réagissent avec les composés du chyme et les composés produits par les sécrétions. Ainsi, il se produit des réactions de précipitation et de complexation qui diminuent la part des substances solubilisées disponibles pour l'absorption dans les compartiments suivants du tractus gastro-intestinal.
  La bioaccessibilité est le terme qui décrit l'ensemble de ces phénomènes ;

- l'absorption intestinale. Les substances solubilisées peuvent ensuite être absorbées par l'épithélium intestinal au niveau des portions de l'intestin grêle en aval du duodénum, le jéjunum et l'iléon. Cette absorption est favorisée par un temps de séjour de quelques heures, une structure maximisant les surfaces d'échange (villosités, microvillosités, etc.) et des cellules spécialisées pour l'absorption, les entérocytes. En fonction de leurs caractéristiques et de leur forme (libre, complexée), des modes de transfert différents permettent aux substances de pénétrer l'organisme par la voie intestinale. Par exemple, alors que le plomb pénètre principalement par transport transcellulaire facilité, le cadmium sera principalement absorbé par diffusion passive transcellulaire ou paracellulaire (Caboche, 2009). Ainsi, les taux d'absorption varient en fonction des substances considérées et des mécanismes de transfert mobilisés ;

- la métabolisation de la substance susceptible d'intervenir suite à l'absorption par l'épithélium intestinal. En particulier, la substance peut être extraite de la circulation systémique par la bile au niveau du foie.

À terme, la fraction de la substance, solubilisée dans le tractus gastro-intestinal, absorbée par la membrane intestinale et non métabolisée par le foie pourra être distribuée/accumulée dans les organes cibles et y exercer ses effets toxiques.

- *Bioaccessibilité absolue*

La bioaccessibilité absolue d'une substance dans une matrice se définit comme la fraction massique de cette substance qui est extraite de la matrice et mise en solution pour l'action mécanique (mastication, péristaltisme gastro intestinal) et chimique (salive, sécrétions gastriques, bile, enzymes pancréatiques, etc.) lors de son passage dans le tractus gastro-intestinal. Il s'agit de la fraction de la dose administrée mise en solution par ces mécanismes (INERIS et InVS, 2012).

La relation entre biodisponibilité et bioaccessibilité s'établit selon l'équation 1.

Pour une matrice donnée :

$$BD_{i\ absolue} = BA_{i\ absolue} \times AB_i \times M_i \qquad (1)$$

$BD_{i\ absolue}$: biodisponibilité (ou fraction biodisponible) absolue de la substance i (-)

$BA_{i\ absolue}$: bioaccessibilité (ou fraction bioaccessible) absolue de la substance i (-)

AB_i : fraction absorbée de la substance i, c'est-à-dire traversant la paroi intestinale (-)

M_i : fraction de la substance i non métabolisée, donc qui reste dans le sang (-)

Les substances qui ne sont pas dissociées de la matrice du sol lors du transit gastro-intestinal ne pourront pas être absorbées. La fraction bioaccessible représente donc la fraction maximale de la substance qui peut être absorbée. Pour As, plusieurs auteurs (Ruby et al., 1999 ; Caboche, 2009) ont démontré que l'étape de solubilisation des substances, c'est-à-dire la bioaccessibilité, constitue l'étape limitante de la biodisponibilite.

Intégration dans l'évaluation des risques sanitaires

- Le facteur correctif pertinent, la biodisponibilité relative

La matrice ingérée dans laquelle se trouve la substance toxique a une influence sur la relation dose-réponse de la substance. Le facteur correctif pris en compte dans le cadre de l'évaluation des risques par ingestion de sol, pour tenir compte des variations des relations dose-réponse en fonction des matrices, est la biodisponibilité relative (INERIS et InVS, 2012). Cette variable se définit comme le rapport de la biodisponibilité absolue de la substance dans la matrice sol sur la biodisponibilité absolue de l'élément dans la matrice utilisée pour élaborer la VTR (équation 2).

$$BD_{i\ relative} = \frac{BD_{i\ absolue\ sol}}{BD_{i\ absolue\ VTR}} \qquad (2)$$

$BD_{i\ relative}$: biodisponibilité relative de la substance i (-)

$BD_{i\ absolue\ sol}$: biodisponibilité absolue de la substance dans la matrice sol (-)

$BD_{i\ absolue\ VTR}$: biodisponibilité absolue de la substance dans la matrice de référence fondant la VTR (-)

- De la biodisponibilité relative à la bioaccessibilité absolue

L'état des connaissances sur l'absorption et métabolisation de As étaye un certain nombre d'hypothèses simplificatrices qui permettent de relier la biodisponibilité relative, variable prise en compte dans l'évaluation des risques sanitaires par ingestion de sol, à la bioaccessibilité absolue, variable mesurée par le test UBM :

Caboche (2009) et l'INERIS et l'InVS (2012) retiennent l'égalité de la fraction absorbée de As présent dans un sol contaminé ($AB_{As\ sol}$) et de la fraction absorbée de As présent dans de l'eau de boisson, matrice de référence pour l'établissement des VTR ($AB_{As\ VTR}$). De plus, Oomen et al. (2006) indiquent que la métabolisation de l'arsenic absorbé ne dépend pas de la matrice dans laquelle l'élément se trouvait dans le tractus gastro-intestinal (sol

ou matrice de référence, $M_{As\ sol} = M_{As\ VTR}$). Enfin, la bioaccessibilité absolue des métaux dans l'eau, matrice de référence des VTR de l'arsenic, est proche de 100 % ($BA_{As\ absolue\ VTR} = 1$) (INERIS et InVS, 2012).

Ainsi, l'équation (2) de la biodisponibilité relative se simplifie de la manière suivante pour l'arsenic (InVS et INERIS, 2012) :

$$BD_{As\ relative} = \frac{BA_{As\ absolue\ sol}}{BA_{As\ absolue\ VTR}} = BA_{As\ absolue\ sol} \qquad (3)$$

Ainsi, il est possible de tenir compte de la bioaccessibilité absolue de As mesurée par le test UBM dans l'évaluation des risques sanitaires par ingestion de sol.

- **Calcul des niveaux de risques**

Les niveaux de risques d'effets à seuil (quotients de danger – QD) et sans seuil (excès de risque individuel – ERI) pour les cibles exposées par ingestion de terre à une substance i contenue dans les sols de surface se définissent de la manière suivante :

$$QD\ ing_{\ i\ cible} = \frac{\dfrac{C_{As} \times BD_{i\ relative\ sol} \times Q_{sol\ cible} \times \dfrac{Nb_{j\ cible}}{365\ j}}{MC_{\ cible}}}{VTRo_{i\ à\ seuil}} \qquad (4)$$

$$ERI\ ing_{\ i\ cible} = \frac{C_{As} \times BD_{i\ relative\ sol} \times Q_{sol\ cible} \times \dfrac{Nb\_j_{\ cible}}{365\ j} \times \dfrac{Nb\_an_{\ cible}}{70ans}}{MC_{\ cible}} \times VTRo_{i\ ss\ seuil} \qquad (5)$$

$QD\ ing_{\ i\ cible}$: quotient de danger associé à l'exposition de la cible à la substance i par ingestion de sol (-)

$ERI\ ing_{\ i\ cible}$: excès de risque individuel associé à l'exposition de la cible à la substance i par ingestion de sol (-)

$C_{\ i}$: teneur de la substance dans les sols superficiels (mg/kg)

$BD_{\ i\ relative\ sol}$: biodisponibilité relative de la substance i dans la matrice sol (-)

Pour Al, B, Be et Sn : $BD_{\ i\ relative\ sol} = 1$

Pour As : $BD_{\ As\ relative\ sol} = BA_{\ As\ absolue\ sol}$ (cf. équation 3)

$Q_{\ sol\ cible}$: masse de terre ingérée par la cible par jour (kg/j)

$MC_{\ cible}$: masse corporelle de la cible (kg)

$Nb\_j_{\ cible}$: nombre jours par an où la cible se rend sur le site (j)

$Nb\_an_{\ cible}$: nombre d'année où la cible se rend sur le site (an)

$VTRo_{\ i\ à\ seuil}$: valeur toxicologique de référence par voie orale pour les effets à seuil de la substance i (mg/kg/j)

$VTRo_{\ i\ ss\ seuil}$: valeur toxicologique de référence par voie orale pour les effets sans seuil de la substance i ($(mg/kg/j)^{-1}$)

9.3.3. Résultats de l'évaluation des risques sanitaires

a) Niveaux de risques estimés pour chaque scénario d'exposition considéré

Pour chaque scénario d'exposition, l'Illustration 85 présente les quotients de danger et les excès de risques individuels obtenus pour chaque substance retenue. Ces niveaux de risques sont interprétés au regard des intervalles de risques définis spécifiquement pour la démarche d'Interprétation de l'État des Milieux (cf. § 9.1).

Quel que soit le scénario d'exposition considéré, au moins une substance présente un quotient de danger (QD) compris entre 0,2 et 5 ou un excès de risque individuel (ERI) compris entre 10^{-6} et 10^{-4}, intervalles qualifiés de « zone d'incertitude » dans la dernière colonne de l'Illustration 85. En conséquence, il semble souhaitable qu'une réflexion plus approfondie soit conduite avant de s'engager dans un plan de gestion eu égard à ces usages du site.

Zone	Usage	Cibles	Al		As		B		Be		Sn		Conclusion de l'IEM sans additivité
			ERI	QD	ERI	QD	ERI	QD	ERI	QD	ERI	QD	
1 : Le long des sentiers et chemins (ABNit185 inclus)	Promenade, randonnée, jogging	adulte (6-70 ans)	-	8,5E-02	**4,2E-06**	3,3E-02	-	1,4E-04	-	1,5E-03	-	6,7E-05	Zone d'incertitude de l'IEM en raison des effets sans seuil de As et des effets à seuil de Al
		enfant (2-6 ans)	-	**3,3E-01**	**4,9E-06**	1,3E-01	-	5,6E-04	-	6,0E-03	-	2,6E-04	
		enfant devenant adulte (2-30 ans)	-	**3,3E-01**	**7,4E-06**	1,3E-01	-	5,6E-04	-	6,0E-03	-	2,6E-04	
2 : Dépôts tabulaires de résidus	Promenade, randonnée, jogging	adulte (6-70 ans)	-	1,2E-01	**7,8E-06**	6,1E-02	-	1,2E-04	-	3,0E-03	-	1,4E-04	Zone d'incertitude de l'IEM en raison des effets sans seuil de As et des effets à seuil de Al et As
		enfant (2-6 ans)	-	**4,7E-01**	**9,1E-06**	**2,4E-01**	-	4,6E-04	-	1,2E-02	-	5,4E-04	
		enfant devenant adulte (2-30 ans)	-	**4,7E-01**	**1,4E-05**	**2,4E-01**	-	4,6E-04	-	1,2E-02	-	5,4E-04	
	VTT, équitation	adulte (6-70 ans)	-	**3,0E-01**	**2,7E-05**	1,5E-01	-	2,9E-04	-	7,5E-03	-	3,4E-04	
	BMX	adulte (10-50 ans)	-	**5,4E-01**	**4,4E-05**	**2,7E-01**	-	5,3E-04	-	1,4E-02	-	6,2E-04	
3 : Flanc nord du cône de stériles	BMX	adulte (10-50 ans)	-	**5,3E-01**	**1,8E-05**	1,1E-01	-	4,1E-04	-	1,3E-02	-	3,1E-04	Zone d'incertitude de l'IEM en raison des effets sans seuil de As et des effets à seuil de Al
4 : Flanc sud du cône de stériles	VTT de descente	adulte (10-50 ans)	-	**5,0E-01**	**3,3E-05**	**2,1E-01**	-	6,5E-04	-	1,2E-02	-	4,9E-04	Zone d'incertitude de l'IEM en raison des effets sans seuil de As et des effets à seuil de Al et As
Aire de pique-nique ABNit185	Repas/zone de jeux pour enfants	adulte (6-70 ans)	-	-	**4,1E-06**	2,2E-02	-	-	-	-	-	-	Zone d'incertitude de l'IEM en raison des effets sans seuil de As
		enfant (6 mois-6 ans)	-	-	**7,1E-06**	1,3E-01	-	-	-	-	-	-	
		enfant devenant adulte (6 mois-30 ans)	-	-	**9,2E-06**	1,3E-01	-	-	-	-	-	-	

Quotient de danger compris entre 0,2 et 5

Illustration 85 - Niveaux de risques pour chaque scénario d'exposition calculés sans additivité.

Dans cette situation, la méthodologie nationale indique en particulier qu'il peut être pertinent, selon les cas, de :

- recourir à des diagnostics complémentaires sur la zone étudiée, sur des témoins, voire sur l'environnement local témoin ;
- réaliser des tests de bioaccessibilité ;
- puis sur la base des résultats des diagnostics complémentaires et des tests de bioaccessibilité, réaliser une évaluation quantitative des risques sanitaires en considérant l'additivité des risques. Les critères d'acceptabilité des risques sont alors ceux qui sont usuellement retenus au niveau national par les organismes en charge de la protection de la santé :
  - quotient de danger inférieur à 1 (pour les effets à seuil),
  - excès de risque individuel inférieur à 10^{-5} (pour les effets sans seuil).

Le diagnostic des sols effectué dans le cadre de la présente étude comporte une campagne d'analyses *in situ* de As par fluorescence X portable, le prélèvement et l'analyse d'échantillons complémentaires dans les zones pertinentes, ainsi que des essais de bioaccessibilité. Il a été dimensionné précisément pour permettre une appréciation plus juste des niveaux de risques dans le cadre de l'IEM. Une EQRS, tenant compte de l'additivité des risques liés aux différentes substances a donc été conduite, sur la base de ces mêmes données.

Dans ce cadre, les niveaux de risques ont été additionnés de manière systématique, indépendamment des organes cibles et des effets critiques des différentes substances. Pour les effets sans seuil, ce choix est conforme aux préconisations en matière de gestion des sites et sols pollués ; pour les effets à seuil, dans la mesure où le quotient danger « global » obtenu de cette manière est inférieur au niveau de référence de 1 pour tous les scénarios considérés, l'approche plus fine consistant à additionner les quotients de danger par organe cible n'a pas été mise en œuvre.

Les résultats sont présentés dans l'Illustration 86.

Zone	Usage	Cibles	Somme		Conclusion de l'IEM avec additivité
			ERI	QD	
1 : Le long des sentiers et chemins (ABNit185 inclus)	Promenade, randonnée, jogging	adulte (6-70 ans)	4,2E-06	1,2E-01	Compatibilité
		enfant (2-6 ans)	4,9E-06	4,7E-01	
		enfant devenant adulte (2-30 ans)	7,4E-06	4,7E-01	
2 : Dépôts tabulaires de résidus	Promenade, randonnée, jogging	adulte (6-70 ans)	7,8E-06	1,8E-01	Incompatibilité en raison des effets sans seuil de As
		enfant (2-6 ans)	9,1E-06	7,2E-01	
		enfant devenant adulte (2-30 ans)	**1,4E-05**	7,2E-01	
	VTT, équitation	adulte (6-70 ans)	**2,7E-05**	4,6E-01	
	BMX	adulte (10-50 ans)	**4,4E-05**	8,3E-01	
3 : Flanc nord du cône de stériles	BMX	adulte (10-50 ans)	**1,8E-05**	6,6E-01	Incompatibilité en raison des effets sans seuil de As
4 : Flanc sud du cône de stériles	VTT de descente	adulte (10-50 ans)	**3,3E-05**	7,2E-01	Incompatibilité en raison des effets sans seuil de As
Aire de pique-nique ABNit185	Repas/zone de jeux pour enfants	adulte (6-70 ans)	4,1E-06	2,2E-02	Compatibilité
		enfant (6 mois-6 ans)	7,1E-06	1,3E-01	
		enfant devenant adulte (6 mois-30 ans)	9,2E-06	1,3E-01	

Excès de risque individuel supérieur à 10^{-5}

Illustration 86 - Niveaux de risques pour chaque scénario d'exposition calculés avec additivité.

Ces résultats révèlent la situation suivante :

- sur les zones 2 (dépôts tabulaires de résidus), 3 (flanc nord du cône de stériles) et 4 (flanc sud du cône de stériles) :
  - les teneurs en As dans les sols sont incompatibles avec tous les usages considérés dans la présente étude ;
- sur la zone 1 (le long des sentiers et chemins, ABNit185 inclus) :
  - les teneurs mesurées dans les sols sont compatibles avec l'usage de promenade, randonnée, jogging.

  En revanche, la teneur en As mesurée au niveau de l'aire de pique-nique est associée à des niveaux de risques qui, même s'il restent compatibles, sont très proches du seuil d'acceptabilité, considérant les usages spécifiques à cette zone (prise de repas et jeux des enfants en bas âge), lesquels sont suceptibles d'induire des contacts entre les sols et les populations plus intenses qu'un simple usage de promenade.

Pour rappel, ces niveaux de risques tiennent compte de la seule voie d'exposition par ingestion de terre et de poussières. L'inhalation de poussières n'est pas considérée. En revanche, un calcul de risque alternatif est proposé en analyse d'incertitudes tenant pour le scénario « promenade, randonée, jogging » et « aire de pique-nique » à la fois des voies ingestion de terre et de poussières et inhalation de poussières (cf. § 9.3.3-b).

b) Analyse des incertitudes

- **Incertitudes sur les éléments et teneurs retenus**

Les analyses des sols et résidus réalisées ont porté sur le cortège d'éléments traces associés au gisement d'Abbaretz dans son ensemble. Parmi ceux-ci, la présente évaluation des risques sanitaires retient les éléments qui présentent des teneurs supérieures à l'environnement local témoin (cf. § 8.2.2). Cette approche est conforme à la méthodologie de l'IEM.

De plus la présence potentielle de composés organiques dans les résidus de traitement en relation avec la flottation des sulfures a été exclue car aucune information n'a été retrouvée concernant le type de réactif utilisé, les composés généralement utilisés sont peu persistants dans l'environnement et la durée de fonctionnement de ce procédé était restreinte (1 ou 2 ans) (cf. § 5.1).

De nombreuses analyses de As (n = 177) ont été réalisées sur le site par XRF portable ; les résultats de ces analyses, au vu de leur densité, peuvent être considérés représentatifs de la variabilité des teneurs en As sur le site. Des teneurs moyennes par zone d'usage homogène ont donc été calculées et utilisées dans l'évaluation des expositions. Cette approche est réaliste. Les éventuelles incertitudes peuvent résulter :

- d'une part, des incertitudes des mesures XRF. Néanmoins, ces incertitudes sont limitées puisque la droite de corrélation entre analyses en laboratoire et analyses *in situ* présente un coefficient de corrélation $R^2 = 0,92$;
- d'autre part, du fait que les zones d'usage homogène définies ne seraient en réalité pas homogènes car le public passerait beaucoup plus de temps à certains endroits plutôt qu'à d'autres, présentant des niveaux de contamination différents. C'est pour cette raison qu'un calcul spécifique a été réalisé pour la zone de pique-nique.

Pour les autres éléments (Al, B, Be et Sn), les données de teneurs disponibles sur le site sont plus disparates (cf. § 8.2.2). Aussi, dans le cadre d'une approche conservatoire, les teneurs maximales mesurées dans chaque zone d'usage homogènes ont été retenues.

- **Incertitudes sur l'évaluation des expositions**

Voie d'exposition par inhalation de poussières

En cohérence avec les données disponibles actuellement, la voie d'exposition par inhalation de poussières n'a pas été retenue dans la mesure où elle apparait minoritaire devant la voie ingestion de terre pour les enfants. Cependant, les niveaux de risques calculés pour le scénario « promenade, randonnée, jogging » sur la zone 1, ainsi que l'aire de pique-nique, sont proches des seuils d'acceptabilité. Il convient donc de vérifier que la prise en compte de la voie d'exposition inhalation de poussière ne remettrait pas en question ce résultat.

Les expositions par inhalation de poussières ont été modélisées :

- en considérant une disponibilité des polluants par voie respiratoire égale à 100% ;
- au moyen d'un facteur d'émission particulaire (PEF) selon l'approche du « Soil Screening Guidance » de l'US-EPA, en considérant l'érosion des sols par le vent et en tenant compte des spécificités du site12. Le détail du calcul du PEF spécifique au site est présenté en Annexe 8 ;
- en considérant une fréquence d'exposition journalière de 3h/j pour la zone 1 dans son ensemble et de 2h/j sur l'aire de pique-nique, pour les adultes comme les enfants ;
- en tenant compte des valeurs toxicologiques de référence spécifiques à la voie inhalation ci-dessous.

N° CAS	substance	Voie d'exposition : inhalation							
		Durée d'exposition : chronique							
		Effets à seuil VTR (mg/m^3)	Source, date	Effet critique	Justification du choix	Effets sans seuil VTR $(mg/m^3)^{-1}$	Source, date	Effet critique	Justification du choix
7440-38-2	Arsenic (As)	1,50E-05	OEHHA, 2008	Effets neurologiques (diminution des capacités intellectuelles et effets néfastes sur le comportement)	Expertise nationale Valeur recommandée par l'INERIS (INERIS, 2010). Pas de VTR postérieure à cette date identifiée.	4,30E+00	US-EPA (IRIS), 1998	Cancers pulmonaires	Expertise nationale Valeur recommandée par l'INERIS (INERIS, 2010). Pas de VTR postérieure à cette date identifiée.
7440-31-5	Etain (Sn)	-	-	-	Aucune VTR inhalation identifiée.	-	-	-	Pas d'effet sans seuil identifiés (i.e. effets cancérogènes mutagènes ou génotoxiques).
7429-90-5	Aluminium (Al)	-	-	-	Aucune VTR inhalation identifiée.	-	-	-	Pas d'effet sans seuil identifiés (i.e. effets cancérogènes mutagènes ou génotoxiques).
7440-42-8	Bore (B)	-	-	-	Aucune VTR inhalation identifiée.	-	-	-	Pas d'effet sans seuil identifiés (i.e. effets cancérogènes mutagènes ou génotoxiques).
7440-41-7	Béryllium (Be)	7,00E-03	OEHHA, 2009	Effets sur les poumons et le système immunitaire : sensibilisation au Be et bérylliose pulmonaire chronique (formation de granulomes, résultant d'une réaction immunitaire aux particules de Be dans les poumons)	Expertise nationale Valeur recommandée par l'INERIS (INERIS, 2014) Pas de VTR postérieure à cette date identifiée	2,40E+00	US-EPA (IRIS), 1998 OEHHA, 2011	Cancer pulmonaire	Expertise nationale Valeur recommandée par l'INERIS (INERIS, 2014) Pas de VTR postérieure à cette date identifiée

Illustration 87 - Valeurs toxicologiques retenues pour la voie respiratoire (valeurs au 16/11/2017).

Sous ces hypothèses, les niveaux de risques cumulés tenant compte des expositions par ingestion de terre et inhalation de poussière des cibles pratiquant les activités de « promenade, randonnée, jogging » sur la zone 1 et des activités de « prise de repas / jeux d'enfants » au droit de l'aire de pique-nique sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

[12] US-EPA, Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites, December 2002. http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/index.htm
Annexe E
CH2MHILL, Comprehensive Investigation Report and Remedial Alternatives Analysis Swann Park Baltimore, Maryland, document LOC: 4.03.02, October 5, 2007.
http://www.mde.maryland.gov/programs/Marylander/PublicHealthHome/Pages/citizensinfocenter/health/100507_spdocuments.aspx
Annexe F
John E. Till, Helen A. Grogan, Radiological Risk Assessment and Environmental Analysis, 2008, Oxford University Press.

Zone	Usage	Cibles	Somme ingestion		Somme inhalation de poussières		Somme ingestion + inhalation de poussières		Pourcentage de contribution de la voie inhalation de poussières aux niveaux de risques calculés	
			ERI	QD	ERI	QD	ERI	QD	ERI	QD
1 : Le long des sentiers et chemins (ABNit185 inclus)	Promenade, randonnée, jogging	adulte (6-70 ans)	4,2E-06	1,2E-01	3,5E-06	8,2E-02	7,7E-06	2,0E-01	45%	41%
		enfant (2-6 ans)	4,9E-06	4,7E-01	2,3E-07	6,0E-02	5,2E-06	5,3E-01	4%	11%
		enfant devenant adulte (2-30 ans)	7,4E-06	4,7E-01	1,8E-06	8,2E-02	9,2E-06	5,5E-01	19%	15%

Illustration 88 - Niveaux de risques calculés avec additivité en tenant compte de l'exposition par inhalation de poussières telluriques des cibles pratiquant les activités de « promenade, randonnée, jogging » sur la zone 1.

Zone	Usage	Cibles	Somme ingestion		Somme inhalation de poussières		Somme ingestion + inhalation de poussières		Pourcentage de contribution de la voie inhalation de poussières aux niveaux de risques calculés	
			ERI	QD	ERI	QD	ERI	QD	ERI	QD
Aire de pique-nique ABNit185	Repas/zone de jeux pour enfants	adulte (6-70 ans)	4,1E-06	2,2E-02	2,2E-06	3,7E-02	6,3E-06	6,0E-02	35%	63%
		enfant (2-6 ans)	7,1E-06	1,3E-01	1,4E-07	3,7E-02	7,3E-06	1,7E-01	2%	22%
		enfant devenant adulte (2-30 ans)	9,2E-06	1,3E-01	1,1E-06	3,7E-02	**1,0E-05**	1,7E-01	11%	22%

Illustration 89 - Niveaux de risques calculés avec additivité en tenant compte de l'exposition par inhalation de poussières telluriques des cibles pratiquant les activités de « prise de repas / jeux d'enfants » au niveau de l'aire de pique-nique.

Comparaison de la contribution de chaque voie d'exposition :

La voie inhalation de poussières telluriques a une contribution plus importante au niveau du risque global pour les adultes que pour les enfants. Ce résultat s'explique par le fait que les enfants ingèrent plus de terre que les adultes et leur masse corporelle est plus faible. Il en résulte que la voie inhalation de poussière est bien minoritaire par rapport à la voie ingestion de terre pour les enfants.

Soulignons cependant que les deux voies d'exposition ne sont pas prises en compte de manière identique : alors que les niveaux de risques par ingestion de terre sont estimés au plus juste, en ne considérant que la fraction de As solubilisable par les sucs digestifs et disponible pour l'absorption intestinale (fraction mesurée en moyenne à 17,2 %), l'évaluation des risques par inhalation repose, en l'absence de protocole validé pour apprécier la disponibilité des polluants par cette voie, sur les teneurs totales (eau régale) en ETM dans les sols. La contribution de la voie inhalation est donc vraisemblablement majorée dans le calcul présenté ci-dessus.

Impact de la prise en compte de la voie inhalation de poussières sur le résultat de l'étude :

La prise en compte de la voie inhalation de poussières ne modifie pas le résultat final pour le scénario « promenade, randonnée, jogging » sur la zone 1 : les niveaux de risques évalués acceptables sans prise en compte de la voie inhalation de poussières, le restent en prenant en compte cette voie d'exposition.

Cependant, la prise en compte de la voie inhalation de poussières, bien qu'elle soit minoritaire pour les enfants, suffit à faire passer les niveaux de risques d'effets à seuil d'un niveau acceptable sans prise en compte de cette voie (ERI = $9{,}2.10^{-6}$) à un niveau inacceptable (ERI = 1.10^{-5}). Ce résultat doit être considéré dans le cadre de la gestion du site.

Budget espace-temps

Les valeurs retenues pour le paramètre « nombre de jours de fréquentation du site » résultent de l'interprétation des données statistiques moyennes à l'échelle nationale (enquête emploi du temps de l'Insee de 2009-2010 – sauf pour le scénario « pique-nique »). La transposition de ces données moyennes nationales au cas spécifique du site d'Abbaretz nécessite le choix de certaines hypothèses. Elle suppose en effet que :

- (1) les cibles retenues dans cette étude ont un comportement vis-à-vis des activités « promenade » et « sport » correspondant au comportement moyen de la population française ;
- (2) les cibles passent sur le site d'Abbaretz 100% de leur temps de promenade et/ou de sport ainsi estimé.

Si la première hypothèse sous-jacente à ce choix se veut une hypothèse centrale (au sens où elle aura tendance à moyenner le risque), en revanche la seconde pourrait éventuellement apparaître majorante.

Cependant, au vu des constats de fréquentation effectués régulièrement sur le site par le DPSM tout au long de l'année, il n'apparait pas raisonnable de garantir une fréquentation du site inférieure à ces valeurs.

Masse de terre ingérée par jour par les enfants

Les données relatives à la masse de terre ingérée par jour pour les enfants font actuellement l'objet d'un débat scientifique.

La valeur retenue dans la présente étude pour les enfants de moins de 6 ans est de 91 mg/j conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 (DGPR, 2017). Elle correspond au 95ème percentile de la distribution de probabilité proposée pour ce paramètre par l'INERIS et l'InVS (2012) dans le guide « Quantités de terre et de poussière ingérées chez l'enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants ». Cette distribution est une distribution log-normale, ajustée aux données publiées par Stanek et al. (2001) puis bornée entre 0 et 200 mg/j.

L'étude source considérée (Stanek *et al.,* 2001) ne permet pas de distinguer l'ingestion de terre en extérieur et ingestion de poussières intérieures. Il s'agit d'un facteur de majoration des risques dans le cas de la présente évaluation, car le site est distant du domicile des populations susceptibles de le fréquenter.

Il n'y a cependant à l'heure actuelle pas de consensus scientifique sur les hypothèses d'ingestion de terre les plus pertinentes. En particulier, l'étude source (Stanek *et al.,* 2001) est critiquée notamment en raison de certains choix de traitement statistiques (INERIS, 2015) et car les populations étudiées résidaient sur un site pollué ce qui a pu modifier leur comportement notamment au travers d'une vigilance et de recommandations des parents. Ces considérations ont conduit l'INERIS à proposer des valeurs plus élevées dans le cadre de la définition des paramètres d'exposition par défaut du logiciel MODUL'ERS (INERIS, 2015). Cependant, dans le cadre de la mise à jour récente du chapitre 5 de l'Exposure Factors Handbook fin 2017, l'US-EPA a proposé, en cohérence avec l'hypothèse retenue dans la présente étude, une valeur conservatoire de 90 mg/j pour les enfants.

Bioaccessibilité

La prise en compte de la bioaccessibilité des ETM par voie orale permet une estimation réaliste de l'exposition des cibles, puisqu'elle permet de fonder l'évaluation des expositions par ingestion de terre non sur la teneur totale des éléments dans le sol, mais sur leur teneur solubilisable par les sucs digestifs et donc disponible pour l'absorption intestinale.

À ce jour, le protocole UBM « Unified Bioaccessibility Method », recommandé par l'INERIS et l'InVS (2011), a été validé biologiquement pour As, Cd et Pb (Caboche, 2009). Cet essai a donc été mis en œuvre sur une sélection de 10 échantillons prélevés sur le site, en duplicat, et les résultats de bioaccessibilité de As ont été intégrés dans l'évaluation des risques sanitaires selon les bonnes pratiques.

Cependant, il n'existe pas de protocole similaire validé biologiquement pour les autres éléments considérés dans l'étude (Al, B, Be et Sn). L'évaluation des risques liés à ces éléments a donc été réalisée sur la base de leur teneur totale. Il s'agit très probablement un facteur majorant des niveaux de risques réels, mais dont l'impact reste limité dans la mesure où As est le seul contributeur aux niveaux de risques sans seuil calculés.

- **Incertitudes sur l'évaluation de la toxicité**

Construction des VTR

De nombreuses incertitudes sont associées à la construction des valeurs toxicologiques de référence (VTR). On peut notamment citer :

- l'extrapolation de relations dose-effet établies pour de fortes doses à des faibles doses ;
- l'extrapolation de relations établies pour des expositions de courtes durées à des longues durées ;
- l'extrapolation des résultats d'expérimentations chez l'animal pour prédire des effets chez l'homme ;
- l'extrapolation de relations établies sur des populations homogènes pour prédire les effets sur une population composée d'individus avec un large spectre de sensibilité.

Ainsi, toute VTR intègre intrinsèquement des facteurs d'incertitude ou d'ajustement importants.

Sélection des VTR

Par ailleurs, différents organismes nationaux et internationaux produisent des VTR, lesquelles sont susceptibles de diverger selon les études sources retenues, les modalités de construction de la VTR et les facteurs d'incertitude et d'ajustement pris en compte. Dans la présente étude, les bases de données toxicologiques suivantes ont été considérées : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA et EFSA. Face à la multiplicité des choix possibles, il a été retenu de suivre les recommandations de sélection de la note n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014, donnant priorité aux VTR produites par l'ANSES et sélectionnées par des travaux d'expertise nationale (ANSES et INERIS).

Cela conduit dans le cas présent à la situation suivante : sur les 6 VTR retenues dans la présente évaluation, 5 sont issues d'une expertise nationale (ANSES ou INERIS) et, en particulier, les VTR de As et Al qui contribuent majoritairement aux risques à seuil et/ou sans seuil.

Ainsi, les choix de VTR effectués dans la présente étude sont globalement considérés comme fiables dans la mesure où une expertise nationale atteste de leur validité scientifique.

Effets sans seuil du béryllium

Aucune VTR orale n'est disponible dans les différentes bases de données pour les effets sans seuil du béryllium. En conséquence, conformément à la note de la DGS du 31 octobre 2014, aucune quantification des risques pour les effets sans seuils de Be par voie ingestion de terre n'est possible.

Soulignons cependant que :

- de tels effets peuvent être suspectés au regard de l'étude des dangers présentée au §.9.3.2-c ;

- une VTR sans seuil, spécifique à des cancers pulmonaires, existe pour Be par inhalation.

Il n'a pas été procédé à une transposition de la VTR par voie respiratoire en une VTR par voie orale, conformément à la note DGS du 31 octobre 2014, puisqu'il s'agirait d'une démarche dénuée de réalisme toxicologique et strictement calculatoire.

- **Incertitudes sur la caractérisation des risques**

D'une manière générale, les incertitudes inhérentes à la caractérisation du risque sont directement fonction des incertitudes relatives aux étapes précédentes de l'évaluation des risques.

Ces incertitudes concernent également les règles d'additivité des risques, pour les effets à seuil dans le cas présent[13].

Le calcul de quotients de danger, définis par le rapport d'une dose (ou concentration) d'exposition sur une VTR, a été appliqué à chaque substance prise individuellement et ne vaut que pour l'effet critique associé à cette substance. Cette approche ne renseigne donc pas sur l'effet résultant de l'exposition à un mélange de substances. Les connaissances relatives aux effets potentiellement additifs, synergiques ou antagonistes pouvant avoir lieu lors d'une exposition multiple sont limitées et on ne dispose pas de règles générales de prise en compte de ces effets. Dans le présent rapport, supposant que l'additivité permet de compenser les effets mal connus de synergie et d'antagonisme, les quotients de danger ont été systématiquement additionnés par substance (et par voie dans l'analyse de sensibilité), permettant ainsi de calculer un risque global.

Dans la présente étude, cette approche est appropriée dans le sens où aucun quotient de danger global supérieur à 1 n'est identifié. L'analyse plus fine des organes cibles propres à chaque substance ne s'impose donc pas.

Il n'en reste pas moins que ce quotient de danger global peut minorer ou majorer le risque réel.

[13] Seul un élément retenu dans cette évaluation (As) présente des effets sans seuil. Il n'y a donc aucune incertitude liée à l'additivité des risques pour les effets sans seuil.

10. Conclusions et recommandations

Comme indiqué en introduction, l'objectif de la présente étude est d'évaluer la compatibilité de la qualité des milieux compte tenu des usages identifiés.

La zone concernée par cette étude est la zone des dépôts de stériles et résidus du Bois Vert située au nord de la route départementale RD2 d'Abbaretz à Nozay. Ainsi, les sources de pollution potentielles issues des anciennes installations de l'exploitation minière, notamment les anciennes installations de traitement de minerai, localisées au sud de la RD2 n'ont pas fait l'objet d'investigation.

Les usages, les milieux et voies d'exposition potentielles identifiés dans le schéma conceptuel préliminaire étaient les suivants :

Localisation	Milieux d'exposition	Voies d'exposition	Usages
Sur site	Sols superficiels	Ingestion de sols et de poussières Inhalation de poussières	Randonnée, promenade, pique-nique, jogging, VTT, équitation, BMX
Hors site	Eaux souterraines	Ingestion d'eau	Domestique (dont sanitaire), agricole (abreuvement)

Illustration 90 - Milieux, voies d'exposition et usages recensés au droit de la zone d'étude dans le schéma conceptuel préliminaire.

Pour rappel, un Drainage Minier Acide (DMA) a été mis en évidence au droit du site. Des travaux pour la maîtrise de ce DMA sont en cours de réalisation (Hoang, 2015). Par conséquent, les milieu d'exposition et voie de transfert via les eaux superficielles impactées par le DMA n'ont pas été considérés dans le cadre de cette étude. Il conviendra cependant de vérifier la compatibilité de ce milieu avec ses usages une fois les mesures de gestion mises en œuvre.

Des propositions et exemples de mesures de gestion par milieu sont présentées ci-après.

Conformément à l'instruction n° DGS/EA1/DGPR/DGAL/2017/145 du 27 avril 2017, relative à la gestion des sites pollués et de leurs impacts, nécessitant la mise en œuvre de mesures de gestion sanitaire et d'études de santé et/ou de mesures de gestion sanitaire des productions animales et végétales, un rapport en version provisoire a fait l'objet d'une validation par les autorités compétentes (DREAL et ARS notamment, cf. courrier de l'ARS joint en Annexe 9 du présent rapport). D'autre part, GEODERIS[14], réalisant également des IEM, a été saisi par la DREAL pour émettre un avis sur le rapport en version provisoire. Le présent rapport en version finale prend en compte les remarques formulées par la DREAL et GEODERIS.

10.1. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS SUR LE MILIEU EAUX SOUTERRAINES

Les analyses réalisées sur les puits recensés autour du site ont mis en évidence une incompatibilité pour certains puits et pour certains usages. Des mesures simples de gestion sont donc proposées.

[14] GIP (Groupement d'Intérêt Public) qui apporte son appui aux services de l'État en matière d'expertise Après-Mine.

Puits	Conclusions	Propositions de mesures simples de gestion
ABF2	**Non compatible** pour l'alimentation humaine **Compatible** pour un usage d'abreuvage	Information du propriétaire sur la non-potabilité de l'eau du puits et interdire l'usage de l'eau du puits pour l'alimentation humaine. Basculer la connexion de la maison au réseau AEP. Compte tenu de la défaillance potentiel du système de traitement, il convient de mettre en place un suivi de la qualité des eaux du puits après le système de traitement. Il est proposé un suivi a minima trimestriel avec mesure du pH, de la conductivité, ainsi que des teneurs en métaux et métalloïdes (Al, Fe, Mn, As, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd, Mo, Co, B et Sn).
ABF9	**Non compatible** pour un usage d'abreuvage	Informer le propriétaire sur la non-compatibilité de la qualité de l'eau du puits pour un usage d'abreuvage et en interdire l'utilisation pour cet usage et, bien sûr, pour un éventuel usage de consommation humaine ou d'usages domestiques (tels qu'arrosage de potager ou encore lavage de fruits et légumes avant consommation), ou autre usage incompatible.
ABF11	**Compatible** avec l'usage d'abreuvage	Compte tenu de la défaillance potentielle du système de traitement, il convient de mettre en place un suivi de la qualité des eaux du puits après le système de traitement. Il est proposé un suivi *a minima* trimestriel avec mesure du pH, de la conductivité, ainsi que des teneurs en métaux et métalloïdes (Al, Fe, Mn, As, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd, Mo, Co, B et Sn).
ABF8	**Compatible** avec l'usage d'abreuvage	Améliorer la connaissance de l'usage du puits. Vérifier sur une année, par un suivi trimestriel des teneurs en métaux et métalloïdes (Al, Fe, Mn, As, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd, Mo, Co, B et Sn), que la qualité de l'eau reste compatible avec l'usage d'abreuvage sur un cycle hydrologique complet.
ABF7	Compatibilité inconnue malgré l'usage domestique dont sanitaire	Prélever l'eau puis analyser sa qualité pour vérifier la compatibilité avec l'usage recensé.
ABF1, ABF3, ABF4, ABF5, ABF6	Pas d'usage	Mise en place d'un mécanisme de conservation de la mémoire et vérifier la compatibilité en cas de changement d'usage.

Illustration 91 - Mesures de gestion proposées sur les puits de particuliers recensés autour du site.

Pour tous les puits recensés, il semble souhaitable qu'un dispositif de conservation de la mémoire soit mis en place par les pouvoirs publics compétents afin de garantir la pérennité de la compatibilité des usages avec la qualité du milieu et de vérifier cette compatibilité en cas de changement d'usage.

Par ailleurs, compte tenu des incertitudes relatives à ce milieu, notamment sur l'influence des anciens travaux miniers et des dépôts de résidus sur la qualité des eaux souterraines et sur leur sens d'écoulement, il est recommandé de réaliser une étude complémentaire sur l'hydrogéologie du secteur (pose de piézomètres, nivellement des ouvrages créés et existants et des eaux du lac, analyses physico-chimiques des eaux, etc.).

10.2. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS SUR LE MILIEU SOLS SUPERFICIELS

Les analyses sur la qualité des sols superficiels et les calculs de risques sanitaires réalisés ont mis en évidence une incompatibilité pour certains usages au droit de certaines zones du site. Des mesures simples de gestion sont donc proposées. Ces mesures pourraient être évaluées à l'aide d'un bilan coûts-avantages dans le cadre d'un plan de gestion.

Zone	Conclusions	Propositions de mesures de gestion
Zones 2, 3 et 4	**Non compatible** avec les usages recensés (cf. § 9.3.3-a Niveaux de risques estimés)	Interdiction d'accès et d'usage de ces zones au public ou aménager des zones de sorte à supprimer le contact avec les sols superficiels (suppression de la voie de transfert).
Aire de pique-nique	**Non compatible** avec les usages recensés (cf. § 9.3.3-b Analyse des incertitudes)	Interdiction d'accès et d'usage de cette aire au public ou aménager cette aire de sorte à supprimer le contact avec les sols superficiels (suppression de la voie de transfert).
Zone 1	**Compatible** avec les usages considérés (cf. § 9.3.3-a Niveaux de risques estimés)	Compte tenu des niveaux de risques proches des limites fixées, il est proposé d'améliorer la qualité des milieux d'exposition en réduisant le contact avec les sols (par exemple par apport de matériaux sains et peu érodables sur les chemins ou sentiers balisés et sur certaines zones où des aménagements spécifiques très fréquentés sont en place comme table d'orientation ou bancs). Améliorer le balisage des sentiers pour limiter l'accès aux autres zones du site.

Illustration 92 – Mesures de gestion proposées au droit des dépôts de stériles et résidus.

Dans tous les cas, il semble souhaitable qu'un dispositif de conservation de la mémoire soit mis en place par les pouvoirs publics compétents afin de garantir la pérennité de la compatibilité des usages avec la qualité du milieu et de vérifier cette compatibilité en cas de changement d'usage.

Par ailleurs, il est à noter que l'interdiction d'accès au public sur les zones 2, 3 et 4 pourrait être levée à condition que l'exposition des usagers aux sols superficiels en place soit supprimée. Cela nécessiterait la réalisation d'un plan de gestion proposant des mesures de gestion plus conséquentes, par exemple de type remodelage et couverture des dépôts avec des aménagements spécifiques pour les usages actuels (BMX, etc..). Ces aménagements s'inscrivent nécessairement dans une perspective à long terme.

Il est également recommandé que soient réalisées des investigations complémentaires au droit des anciennes installations de traitement de minerai compte tenu des sources potentielles de pollution identifiées (stockage huiles, essence, atelier, forge, etc..).

10.3. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

Les résultats de l'étude ayant mis en évidence des incompatibilités par rapport aux usages recensés, il est recommandé de mettre en œuvre des **mesures de gestion immédiates** dans l'attente d'un plan de gestion. Ces mesures immédiates concernent notamment :

- l'information des utilisateurs d'eau souterraine non compatible et les restrictions d'usage qui s'y rapportent ;
- l'information des usagers du site (par exemple par réunion publique, bulletin municipal, etc.) et la pose de panneaux d'information au droit des terrils pour limiter l'accès du public aux zones concernées.

Il est proposé de réaliser un plan de gestion comprenant notamment un bilan coûts-avantages des options de gestion possibles avant mise en œuvre.

11. Bibliographie

Amalric L. avec la collaboration de Aubert N., Ghestem J.-P. Leprond H. (2015) - Analyse des sols en contexte sites et sols pollués – Synthèse des réunions du Groupe de Travail Laboratoires. Rapport final BRGM/RP-64749-FR.

ANTEA (2002) - Étude d'aménagement touristique du site minier d'Abbaretz (Loire Atlantique). Phase 1 : historique et évaluation des risques de mouvement de terrain - Rapport 028150a.

ANTEA (2002) - Étude d'aménagement touristique du site minier d'Abbaretz (Loire Atlantique). Phase 2 : Étude de faisabilité géotechnique des aménagements et étude des risques sanitaires - Rapport 029120a.

ANTEA (2006) - Ancien site minier sur la commune d'Abbaretz (44) - Evaluation Détaillée des Risques pour la santé relative aux activités existantes - Rapport 044206/A.

Braud D. (2013) - La mine d'Abbaretz - L'exploitation de l'étain des Gaulois à nos jours.

Caboche J. (2009) - Validation d'un test de mesure de bioaccessibilité. Application à quatre éléments traces métallique dans les sols: As, Cd, Pb et Sb. Science Agronomique. PhD. L'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 2009, 348 p.

CH2MHILL (2007) - Comprehensive Investigation Report and Remedial Alternatives Analysis Swann Park Baltimore, Maryland. Document LOC: 4.03.02, 05/10/2007.

Chauris L. et Paré B. (1957) - Observations préliminaires sur le gisement d'étain d'Abbaretz – Extrait du bulletin de la société Géologique de France, 6è série, t. VII, p. 597 à 610.

Cottard F., Grégoire S., Thauvin M. (2010) - Diagnostic environnemental de l'ancienne concession minière d'Abbaretz (44) - Rapport BRGM/RP-58227-FR.

Deroualle M. (2012) - Concession d'étain d'Abbaretz - Travaux de mise en sécurité de 6 puits. Démolition d'un bâtiment. Communes d'Abbaretz, Nozay, Marsac-sur-Don (Loire-Atlantique). Mémoire de fin de travaux BRGM/RP-60441-FR, 171 p., 32 ill., 5 an.

Direction Générale de Prévention des Risques (DGPR), Bureau du Sol et du Sous-Sol (B3S) (2017) - Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.

Direction Générale de la Santé (2014) - Modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impacts et de la gestion des sites et sols pollués. Note d'information de la Direction Générale de la Santé n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

GEODERIS (2008) - Concession d'Abbaretz (44). Phase informative environnement - Rapport W2008/067DE-08PAL2230.

GEODERIS (2010) - Concession d'Abbaretz (44). Diagnostic complémentaire - Rapport W2009/052DE-09PAL2240Loislard M., Nachbaur A. (2008) - Concession d'Abbaretz (44). Cartographie informative, évaluation et cartographie de l'aléa « mouvements de terrain » - Rapport BRGM/RP-56412-FR.

GEODERIS (2013) - Inventaire des dépôts issus des exploitations minières selon l'article 20 de la Directive 2006/21/CE. Monographie sur la région Pays-de-la-Loire - Rapport N2012/035DE-12NAT2121.

Greffié C. (2009) - Concession d'abbaretz (44). Contribution à la phase informative de l'aléa environnement - Rapport BRGM/RP-57725-FR.

Hawley JK. (1997) - Assessment of health risk from exposure to contaminated soil. Risk Analysis, vol.5(4), pp. 289-302.

Hoang V. (2015) - Concession d'Abbaretz (44) - Site du Bois Vert - Plan de gestion des eaux issues du drainage minier acide - Rapport BRGM/RP-64587-FR.

INERIS et InVS (2012) - Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants : état des connaissances et propositions, Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, septembre 2012, 83 p.

INERIS (2015) - Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS. Rapport INERIS-DRC-14-141968-11173A du 21/02/2015.

MEDD, BRGM, ADEME, INERIS, InVS (2011) - Paramètres d'exposition - VTR et VGAI dans le cadre de la démarche Etablissement Sensible.

Oksanen, J. (2015) - "Multivariate Analysis of Ecological Communities in R: vegan tutorial." Retrieved 2016, from http://cc.oulu.fi/~jarioksa/opetus/metodi/vegantutor.pdf.

Oomen A.G., Brandon E.F.A., Swartjes F.A., Sips A.J.A.M. (2006) - How can information on oral bioavailability improve human health risk assessment for lead-contaminated soils? Implementation and scientific basis. RIVM report 711701042/2006.

RECORD (2012) - Biodisponibilité et Bioaccessibilité des polluants dans le cas des sols pollués, état des connaissances et pistes de recherche. Rapport n° 10-0671/1A, 259p.

Roy M., Malabret J.M., Courtay C. (1993) - Débits respiratoires et activités quotidiennes: paramètres de l'exposition aux substances inhalées. Radioprotection, vol.28(3), pp.279-90.

Ruby, M.V., Davis A., Schoof R., Eberle S. and Sellstone C.M. (1996**)** - Estimation of lead and arsenic bioavailability using a physiologically based extraction test. *Environ. Sci. Technol.,* 30:422-430.

Ruby M.V., Schoof R., Brattin W., Goldade M., Post, G., Harnois M., Mosby D.E., Casteel S.W., Berti W., Carpenter M.; Edwards D., Cragin D. and Chappell W. (1999) - Advances in evaluating the oral bioavailability of inorganics in soil for use in human health risk assessment. Environ. Sci. Technol., vol.33, pp.3697-3705.

Stanek E.J., Calabrese E.J. et Zorn M. (2001) - Biasing factors for simple soil ingestion estimates in mass balance studies of soil ingestion. Human and Ecological Risk Assessment 2001, vol.7(2), pp.329-55.

Till J.E. et Grogan H.A. (2008) - Radiological Risk Assessment and Environmental Analysis, Oxford University Press.

U.S. Environmental Protection Agency (2011) - Exposure Factors Handbook 2011. Edition (Final), U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-09/052F, 2011.

US-EPA (2002) - Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites, December 2002.

Xue J., Zartarian V., Moya J., Freeman N., Beamer P., Black K., Tulve N. et Shalat S. (2007) - A meta-analysis of children's hand-to-mouth frequency data for estimating nondietary ingestion exposure. Risk Analysis, vol.27(2), pp.411-420.

Annexe 1

Liste des documents consultés aux Archives Départementales 44

Archives départementales de Loire-Atlantique		
Cote	**Dossier**	**Détail**
2254 W 130	Archives DRIRE 1946 à 1983	Gisement d'étain : concession, état des lieux et évolution : correspondance, plans des installations, inspections et visites ingénieurs des mines (PV, rapports, plans, etc.)
414 W 35	Archives DRIRE 1910 à 1978	Administration par la SNMO : Fonctionnement : statuts, compte-rendu des assemblées générales, occupation des terrains, arrêtés préfectoraux, etc.
414 W 37	Archives DRIRE 1941 à 1957	Visites de l'ingénieur et du contrôleur des mines : procès-verbaux, rapports, correspondances. Sondages : diagrammes, tableaux de résultats
414 W 38	Archives DRIRE 1941 à 1966	Contrôle de l'exploitation et participation de l'État aux travaux de prospection et d'exploitation, modifications de la concession : notes, rapports, projets de convention, correspondances.
414 W 39	Archives DRIRE 1944 à 1956	Plans de la concession et des infrastructures
284 J 94	Archives privées (Fonds Joseph Stany-Gauthier)	Abbaretz : Notice historique, bibliographie, dessins, cartes postales, photographies, coupures de presse, plan
13 Fi Abbaretz	Fonds de la société Lapie	art. 1 : Vue panoramique des mines d'étain art. 2 : Vue générale des mines d'étain art. 3 : Une fosse comblée d'eau après exploitation art. 10 : La cité Hector Pétin, à l'arrière-plan, les mines

Annexe 2

Réponse de l'Agence Régionale de Santé (ARS) Pays de la Loire sur les captages AEP

Girardeau Ingrid

De:	Alain.PATRON@ars.sante.fr
Envoyé:	lundi 20 février 2017 17:08
À:	Girardeau Ingrid
Cc:	David.GIRAUDEAU@ars.sante.fr; Denis.REDEGER@ars.sante.fr; Raphaele.HAVIOTTE@ars.sante.fr; Agnes.MEYRONNEINC@ars.sante.fr
Objet:	RE: demande de renseignements
Pièces jointes:	captage AEP nappe de Saffré_périmètres de protection.pdf

Bonjour,

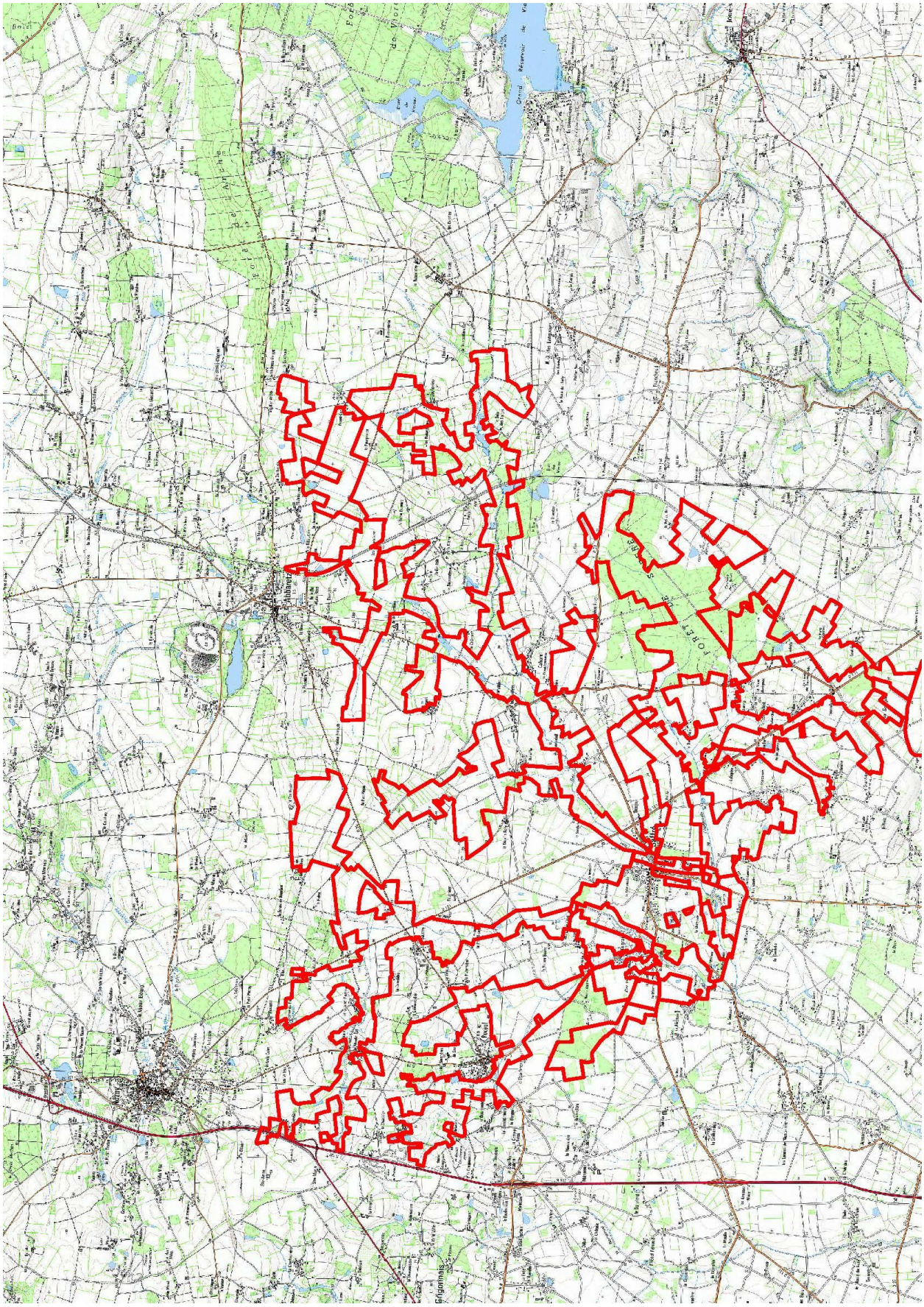
Faisant suite à votre demande, je vous adresse la carte des périmètres de protection définis autour du captage de la Chutenaie, commune de Saffré.

Ce captage est exploité par le SIAEP de la région de Nort sur Erdre. Les périmètres de protection s'étendent partiellement sur la commune d'Abbaretz. Le tracé, de forme tentaculaire, correspond à la protection des ruisseaux qui convergent vers la nappe.

Sincères salutations

Alain PATRON
Délégation territoriale de la Loire-Atlantique
Sécurité sanitaire des personnes et de l'environnement
Technicien sanitaire

Agence régionale de santé Pays de la Loire
CS 56233 - 44262 NANTES cedex 2 - 02 49 10 41 35
www.ars.paysdelaloire.sante.fr - ars-dt44-sspe@ars.sante.fr



Annexe 3

Bulletins d'analyses eaux souterraines

WESSLING

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.
Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau
BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37
labo@wessling.fr · www.wessling.fr

Laboratoire WESSLING, 40 rue du Ruisseau, 38070 Saint-Quentin-Fallavier Cedex

BRGM
D3E/3SP
Madame Ingrid GIRARDEAU
3 avenue Claude Guillemin BP 36009
45060 Orléans cedex 2

Rapport d'essai n° :	ULY17-005451-1
Commande n° :	ULY-03627-17
Interlocuteur :	C. Delente
Téléphone :	+33 474 999 629
eMail :	Caroline.Delente@wessling.fr
Date :	19.04.2017

Rapport d'essai

PAM11COE95

Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis à l'essai, sous réserve du flaconnage reçu (hors flaconnage Wessling), du respect des conditions de conservation des échantillons jusqu'au laboratoire d'analyses et du temps imparti entre le prélèvement et l'analyse préconisé dans les normes suivies.
Les méthodes couvertes par l'accréditation EN ISO 17025 sont marquées d'un A dans le tableau récapitulatif en fin de rapport au niveau des normes.
Les résultats obtenus par ces méthodes sont accrédités sauf avis contraire en remarque.
La portée d'accréditation COFRAC n°1-1364 essais est disponible sur www.cofrac.fr pour les résultats accrédités par les laboratoires Wessling de Lyon.
Les essais effectués par le laboratoire de Paris sont accrédités par le COFRAC sous le numéro 1-5578.
Les essais effectués par les laboratoires allemands sont accrédités par le DAKKS sous le numéro D-PL-14162-01-00 (www.as.dakks.de).
Les essais effectués par le laboratoire hongrois de Budapest sont accrédités par le NAT sous le numéro NAT-1-1398 (www.nat.hu).
Les essais effectués par le laboratoire polonais de Krakow sont accrédités par le PCA sous le numéro AB 918 (www.pca.gov.pl).
Ce rapport d'essai ne peut-être reproduit que sous son intégralité et avec l'autorisation des laboratoires WESSLING (EN ISO 17025).
Les laboratoires WESSLING autorisent leurs clients à extraire tout ou partie des résultats d'essai envoyés à titre indicatif sous format excel uniquement à des fins de retraitement, de suivi et d'interprétation de données sans faire allusion à l'accréditation des résultats d'essai.
La conclusion ne tient pas compte des incertitudes et n'est pas couverte par l'accréditation.

Rapport d'essai n°.: ULY17-005451-1
Projet : PAM11COE95

WESSLING

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.
Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau
BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37
labo@wessling.fr · www.wessling.fr

St Quentin Fallavier, le 19.04.2017

N° d'échantillon Désignation d'échantillon	Unité	17-049745-01 ABF2 brut	17-049745-02 ABF2 traité	17-049745-03 ABF3	17-049745-04 ABF4
Rubidium (Rb)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cations, anions et éléments non métalliques					
Hydrogénocarbonates (HCO3)	mg/l E/L	37	35	120	88
Carbonate (CO3)	mg/l E/L	<10	<10	<10	<10
Chlorures (Cl)	mg/l E/L	55	54	19	270
Sulfates (SO4)	mg/l E/L	42	38	22	180
Eléments					
Aluminium (Al)	µg/l E/L	4,0	4,0	41	4,0
Arsenic (As)	µg/l E/L	<10	<10	16	<10
Baryum (Ba)	µg/l E/L	24	24	20	56
Béryllium (Be)	µg/l E/L	0,5	1,0	<0,1	<0,1
Bore (B)	µg/l E/L	<50	<50	88	<50
Calcium (Ca)	mg/l E/L	14	13	33	55
Chrome (Cr)	µg/l E/L	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Cobalt (Co)	µg/l E/L	15	17	<2,0	51
Fer (Fe)	mg/l E/L	0,023	0,022	0,028	0,04
Potassium (K)	mg/l E/L	2,9	2,5	24	70
Cuivre (Cu)	µg/l E/L	5,0	9,0	6,0	<1,0
Magnésium (Mg)	mg/l E/L	11	10	5,5	39
Manganèse (Mn)	µg/l E/L	210	210	0,5	930
Molybdène (Mo)	µg/l E/L	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Sodium (Na)	mg/l E/L	32	31	11	110
Nickel (Ni)	µg/l E/L	33	33	<2,0	140
Strontium (Sr)	µg/l E/L	130	110	85	180
Zinc (Zn)	µg/l E/L	290	84	6,0	47
Étain (Sn)	µg/l E/L	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0

N° d'échantillon Désignation d'échantillon	Unité	17-049745-01-1 ABF2 brut	17-049745-02-1 ABF2 traité	17-049745-03-1 ABF3	17-049745-04-1 ABF4
Rubidium (Rb)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Eléments					
Aluminium (Al)	µg/l E/L	51	140	170	57
Arsenic (As)	µg/l E/L	300	<10	14	19
Baryum (Ba)	µg/l E/L	59	60	60	110
Béryllium (Be)	µg/l E/L	2,0	1,0	<0,1	<0,1
Bore (B)	µg/l E/L	100	170	240	91
Chrome (Cr)	µg/l E/L	2,0	2,0	2,0	2,0
Cobalt (Co)	µg/l E/L	15	17	<2,0	50
Fer (Fe)	mg/l E/L	8,7	0,57	0,08	7,0
Cuivre (Cu)	µg/l E/L	55	18	15	10
Manganèse (Mn)	µg/l E/L	220	220	16	980
Molybdène (Mo)	µg/l E/L	4,0	<2,0	<2,0	<2,0
Nickel (Ni)	µg/l E/L	33	34	4,0	140
Strontium (Sr)	µg/l E/L	140	120	100	200
Zinc (Zn)	µg/l E/L	190	92	21	64
Étain (Sn)	µg/l E/L	11	6,0	6,0	<5,0

Page 2 sur 7

Rapport d'essai n°.: ULY17-005451-1
Projet : PAM11COE95

WESSLING

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.
Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau
BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37
labo@wessling.fr · www.wessling.fr

St Quentin Fallavier, le 19.04.2017

N° d'échantillon Désignation d'échantillon	Unité	17-049745-05 ABF6	17-049745-06 ABF8	17-049745-07 ABF9 brut	17-049745-08 ABF11 brut
Rubidium (Rb)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cations, anions et éléments non métalliques					
Hydrogénocarbonates (HCO3)	mg/l E/L	40	29	<10	54
Carbonate (CO3)	mg/l E/L	<10	<10	<10	<10
Chlorures (Cl)	mg/l E/L	150	35	110	74
Sulfates (SO4)	mg/l E/L	78	31	100	75
Eléments					
Aluminium (Al)	µg/l E/L	19	85	10	3,0
Arsenic (As)	µg/l E/L	38	<10	<10	<10
Baryum (Ba)	µg/l E/L	39	11	60	22
Béryllium (Be)	µg/l E/L	<0,1	<0,1	2,0	0,8
Bore (B)	µg/l E/L	<50	<50	<50	66
Calcium (Ca)	mg/l E/L	50	13	17	25
Chrome (Cr)	µg/l E/L	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Cobalt (Co)	µg/l E/L	3,0	4,0	140	6,0
Fer (Fe)	mg/l E/L	0,025	0,59	0,063	0,06
Potassium (K)	mg/l E/L	17	6,6	5,3	6,8
Cuivre (Cu)	µg/l E/L	7,0	12	6,0	<1,0
Magnésium (Mg)	mg/l E/L	17	11	28	13
Manganèse (Mn)	µg/l E/L	10	40	820	330
Molybdène (Mo)	µg/l E/L	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Sodium (Na)	mg/l E/L	56	17	40	47
Nickel (Ni)	µg/l E/L	12	21	190	18
Strontium (Sr)	µg/l E/L	180	45	170	270
Zinc (Zn)	µg/l E/L	38	650	3400	57
Étain (Sn)	µg/l E/L	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0

N° d'échantillon Désignation d'échantillon	Unité	17-049745-05-1 ABF6	17-049745-06-1 ABF8	17-049745-07-1 ABF9 brut	17-049745-08-1 ABF11 brut
Rubidium (Rb)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Eléments					
Aluminium (Al)	µg/l E/L	69	87	680	46
Arsenic (As)	µg/l E/L	38	<10	260	100
Baryum (Ba)	µg/l E/L	73	49	100	58
Béryllium (Be)	µg/l E/L	<0,1	<0,1	5,0	2,0
Bore (B)	µg/l E/L	84	160	99	230
Chrome (Cr)	µg/l E/L	1,0	2,0	7,0	2,0
Cobalt (Co)	µg/l E/L	3,0	5,0	140	6,0
Fer (Fe)	mg/l E/L	0,12	0,41	160	10
Cuivre (Cu)	µg/l E/L	18	21	41	8,0
Manganèse (Mn)	µg/l E/L	22	21	840	350
Molybdène (Mo)	µg/l E/L	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Nickel (Ni)	µg/l E/L	23	24	190	21
Strontium (Sr)	µg/l E/L	200	63	180	290
Zinc (Zn)	µg/l E/L	58	400	3600	86
Étain (Sn)	µg/l E/L	6,0	9,0	6,0	7,0

Page 3 sur 7

Rapport d'essai n°.: ULY17-005451-1
Projet : PAM11COE95

WESSLING

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.
Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau
BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37
labo@wessling.fr · www.wessling.fr

St Quentin Fallavier, le 19.04.2017

N° d'échantillon Désignation d'échantillon	Unité	17-049745-09 ABF11 traité	17-049745-10 PZ0	17-049745-11 PZ2
Rubidium (Rb)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Cations, anions et éléments non métalliques				
Hydrogénocarbonates (HCO3)	mg/l E/L	160	<10	<10
Carbonate (CO3)	mg/l E/L	<10	<10	<10
Chlorures (Cl)	mg/l E/L	74	7,0	8,0
Sulfates (SO4)	mg/l E/L	75	6,0	89
Eléments				
Aluminium (Al)	µg/l E/L	4,0	170	4600
Arsenic (As)	µg/l E/L	<10	100	58
Baryum (Ba)	µg/l E/L	15	12	6,0
Béryllium (Be)	µg/l E/L	0,1	0,1	5,0
Bore (B)	µg/l E/L	71	<50	<50
Calcium (Ca)	mg/l E/L	40	0,39	1,6
Chrome (Cr)	µg/l E/L	<1,0	<1,0	11
Cobalt (Co)	µg/l E/L	4,0	<2,0	52
Fer (Fe)	mg/l E/L	0,029	0,07	3,5
Potassium (K)	mg/l E/L	6,6	0,65	1,6
Cuivre (Cu)	µg/l E/L	12	16	1100
Magnésium (Mg)	mg/l E/L	27	0,29	1,6
Manganèse (Mn)	µg/l E/L	220	24	200
Molybdène (Mo)	µg/l E/L	<2,0	<2,0	<2,0
Sodium (Na)	mg/l E/L	48	3,6	4,5
Nickel (Ni)	µg/l E/L	11	2,0	130
Strontium (Sr)	µg/l E/L	240	3,0	23
Zinc (Zn)	µg/l E/L	15	9,0	150
Étain (Sn)	µg/l E/L	<5,0	<5,0	<5,0

N° d'échantillon Désignation d'échantillon	Unité	17-049745-09-1 ABF11 traité	17-049745-10-1 PZ0	17-049745-11-1 PZ2
Rubidium (Rb)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Eléments				
Aluminium (Al)	µg/l E/L	48	250	4700
Arsenic (As)	µg/l E/L	<10	1100	6000
Baryum (Ba)	µg/l E/L	65	66	54
Béryllium (Be)	µg/l E/L	0,1	0,1	4,0
Bore (B)	µg/l E/L	190	110	150
Chrome (Cr)	µg/l E/L	2,0	5,0	20
Cobalt (Co)	µg/l E/L	4,0	2,0	48
Fer (Fe)	mg/l E/L	0,098	2,0	23
Cuivre (Cu)	µg/l E/L	22	27	1100
Manganèse (Mn)	µg/l E/L	230	43	210
Molybdène (Mo)	µg/l E/L	<2,0	<2,0	<2,0
Nickel (Ni)	µg/l E/L	19	5,0	130
Strontium (Sr)	µg/l E/L	260	22	38
Zinc (Zn)	µg/l E/L	28	38	150
Étain (Sn)	µg/l E/L	7,0	<5,0	6,0

Page 4 sur 7

Rapport d'essai n°.: ULY17-005451-1
Projet : PAM11COE95

WESSLING

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.
Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau
BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37
labo@wessling.fr · www.wessling.fr

St Quentin Fallavier, le 19.04.2017

Informations sur les échantillons

N° d'échantillon :	17-049745-01	17-049745-01-1	17-049745-02	17-049745-02-1	17-049745-03
Date de réception :	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017
Désignation :	ABF2 brut	ABF2 brut	ABF2 traité	ABF2 traité	ABF3
Type d'échantillon :	Eau propre	Eau propre	Eau propre	Eau propre	Eau propre
Date de prélèvement :	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017
Heure de prélèvement :	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Récipient :	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE	100PE (HNO3)	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE	100PE (HNO3)	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE
Température à réception (C°) :	12,0°C	12,0°C	12,0°C	12,0°C	12,0°C
Début des analyses :	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017
Fin des analyses :	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017

N° d'échantillon :	17-049745-03-1	17-049745-04	17-049745-04-1	17-049745-05	17-049745-05-1
Date de réception :	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017
Désignation :	ABF3	ABF4	ABF4	ABF6	ABF6
Type d'échantillon :	Eau propre	Eau propre	Eau propre	Eau propre	Eau propre
Date de prélèvement :	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017
Heure de prélèvement :	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Récipient :	100PE (HNO3)	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE	100PE (HNO3)	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE	100PE (HNO3)
Température à réception (C°) :	12,0°C	12,0°C	12,0°C	12,0°C	12,0°C
Début des analyses :	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017
Fin des analyses :	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017

N° d'échantillon :	17-049745-06	17-049745-06-1	17-049745-07	17-049745-07-1	17-049745-08
Date de réception :	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017
Désignation :	ABF8	ABF8	ABF9 brut	ABF9 brut	ABF11 brut
Type d'échantillon :	Eau propre	Eau propre	Eau propre	Eau propre	Eau propre
Date de prélèvement :	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017
Heure de prélèvement :	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Récipient :	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE	100PE (HNO3)	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE	100PE (HNO3)	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE
Température à réception (C°) :	12,0°C	12,0°C	12,0°C	12,0°C	12,0°C
Début des analyses :	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017
Fin des analyses :	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017

N° d'échantillon :	17-049745-08-1	17-049745-09	17-049745-09-1	17-049745-10	17-049745-10-1
Date de réception :	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017
Désignation :	ABF11 brut	ABF11 traité	ABF11 traité	PZ0	PZ0
Type d'échantillon :	Eau propre	Eau propre	Eau propre	Eau propre	Eau propre
Date de prélèvement :	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017	24.03.2017
Heure de prélèvement :	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Récipient :	100PE (HNO3)	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE	100PE (HNO3)	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE	100PE (HNO3)
Température à réception (C°) :	12,0°C	12,0°C	12,0°C	12,0°C	12,0°C
Début des analyses :	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017	29.03.2017
Fin des analyses :	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017	19.04.2017

Rapport d'essai n°.: ULY17-005451-1
Projet : PAM11COE95

WESSLING

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.
Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau
BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37
labo@wessling.fr · www.wessling.fr

St Quentin Fallavier, le 19.04.2017

Informations sur les échantillons

N° d'échantillon :	17-049745-11	17-049745-11-1
Date de réception :	29.03.2017	29.03.2017
Désignation :	PZ2	PZ2
Type d'échantillon :	Eau propre	Eau propre
Date de prélèvement :	24.03.2017	24.03.2017
Heure de prélèvement :	-/-	-/-
Récipient :	2x100PE + 60PE (HNO3) + 3x60PE	100PE (HNO3)
Température à réception (C°) :	12,0°C	12,0°C
Début des analyses :	29.03.2017	29.03.2017
Fin des analyses :	19.04.2017	19.04.2017

Page 6 sur 7

Rapport d'essai n°.: ULY17-005451-1
Projet : PAM11COE95

WESSLING

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.
Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau
BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37
labo@wessling.fr · www.wessling.fr

St Quentin Fallavier, le 19.04.2017

Informations sur les méthodes d'analyses

Paramètre	Norme	Laboratoire
Métaux/Eléments sur eau / lixiviat	DIN EN ISO 11885 / DIN EN ISO 17294-2(A)	Wessling Oppin (D)
Anions dissous (filtration à 0,2 µ)	Méth. interne ION adaptée de NF EN ISO 10304-1(A)	Wessling Lyon (F)
Alcalinité TA,TAC (Calcul)	NF EN ISO 9963-1(A)	Wessling Lyon (F)
Screening Métaux / Éléments dans l'eau/lixiviat	DIN EN ISO 11885(A)	Wessling Oppin (D)

Commentaires :

Pour parfaire la lecture de vos résultats, les seuils sont susceptibles d'être augmentés en fonction de la nature chimique de la matrice. Les métaux réalisés après minéralisation sont les éléments totaux. Sans minéralisation, Il s'agit des éléments dissous.

Compte tenu du dépassement de la température de réception des échantillons par rapport à l'exigence de 8°C, l'accréditation des résultats d'essai a été maintenue sous réserve de la filtration et de l'acidification des échantillons sur site lors de leurs prélèvements selon les paramètres concernés.

Signataire Rédacteur

Caroline DELENTE

Assistante Responsable Service Clientèle

Signataire Technique

Audrey GOUTAGNIEUX

Directrice

Page 7 sur 7

Annexe 4

Protocole de mesure de la bioaccessibilité

Unified Bioaccessibility Method (UBM)

INERIS
controlling risks for sustainable development

BARGE

UBM procedure for the measurement of inorganic contaminant bioaccessibility from solid matrices

1. INTRODUCTION

This document outlines the procedure to be followed for the measurement of inorganic contaminant bioaccessibility from soil according to the *in vivo* validated Unified BARGE Method. This method may be extended to sediments, vegetables, dusts, ash, or any other matrix studied in an exposure assessment approach, assuming the similar behavior of the test sample in the matrix to the soils used in the validation study.

2. REFERENCES

- Caboche, J. (2009). Validation d'un test de mesure de bioaccessibilité - Application à 4 éléments traces métalliques dans les sols : As, Cd, Pb et Sb. Laboratoire unité de recherche animale et fonctionnalités des produits animaux (URAFPA). Nancy, Institut national polytechnique de Lorraine.
- Denys, S., Tack, K., Caboche, J. & Delalain, P. (2008). Bioaccessibility, solid phase distribution, and speciation of Sb in soils and digestive fluids. *Chemosphere,* 74, 711-716.
- Denys, S., Caboche, J., Feidt, C., Hazebrouck, B., Dor, F., Dabin, C., Floch-Barneaud, A., & Tack, K. (2009). Biodisponibilité et bioaccessibilité des métaux et métalloides des sols pollués pour la voie orale chez l'homme. *Environnement, Risques et santé,* 8, (5), 433-438.
- Wragg, J, Cave, M, Taylor, H, Basta, N, Brandon, E, Casteel, S, Denys, S, Gron, C, Oomen, A, Reimer, K, Tack, K, and Van de Wiele, T. 2009. Interlaboratory Trial of a Unified Bioaccessibility Procedure. British Geological Survey, OR/07/027.
- Wragg, J. 2009. BGS Guidance Material 102, Ironstone Soil, Certificate of Analysis. British Geological Survey IR/09/006.

3. DEFINITIONS

3.1. TERMS

- Unified BARGE Method is an *in vitro* method for simulating the human digestive procedure using synthetic digestive fluids.
- Digestive fluids are synthetic fluids used in the UBM test to simulate the fluids present in human digestive system: saliva, gastric fluid, duodenal fluid and bile.
- Inorganic solutions containing inorganic salts (such as KCl, NaCl...) are used for the preparation of each digestive fluid.

INERIS controlling risks for sustainable development

BARGE

- Organic solutions containing organic compounds (such as urea, glucose...) are used for the preparation of each digestive fluid.
- The gastric phase is a digestive extract collected after 1 hour agitation with saliva and gastric fluids.
- The gastro-intestinal phase is a digestive extract collected after 1 hour agitation with saliva and gastric fluid followed by 4 hours agitation with duodenal fluid and bile.

3.2. LIST OF ABBREVIATIONS

UBM	Unified BARGE method
BARGE	Bioaccessibility research group of Europe
S	Saliva
G	Gastric fluid
D	Duodenal fluid
B	Bile
I	Inorganic solution for the preparation of each digestive fluid
O	Organic solution for the preparation of each digestive fluid
Gc	Gastric phase of the UBM test
Ist	Gastro-intestinal phase of the UBM test
NaOH	Sodium hydroxide
HCl	Hydrochloric acid (37% Analytika Ltd.)
HNO_3	Nitric acid (67% Analytika Ltd.)

4. EXPERIMENTAL PROTOCOL

4.1. PRINCIPLE

The current procedure describes a method for simulating the human gastro-intestinal tract through 3 different compartments: mouth (5 minutes), stomach (1 hour) and small intestine (4 hours). Four digestive fluids are synthesized: saliva (S), Gastric fluid (G), duodenal fluid (D) and bile (B). Their composition is presented in section 7.3. All samples are mixed by end-over-end agitation at 37°C (human body temperature). The generalized UBM procedure is shown in Figure 1.

4.2. EQUIPMENTS

To carry out the UBM test, some specific equipment are required:

- polycarbonate tubes with caps
- oven/hot-plate at 37°C
- pH-meter
- "End-over-end" agitator/rotator at 37°C

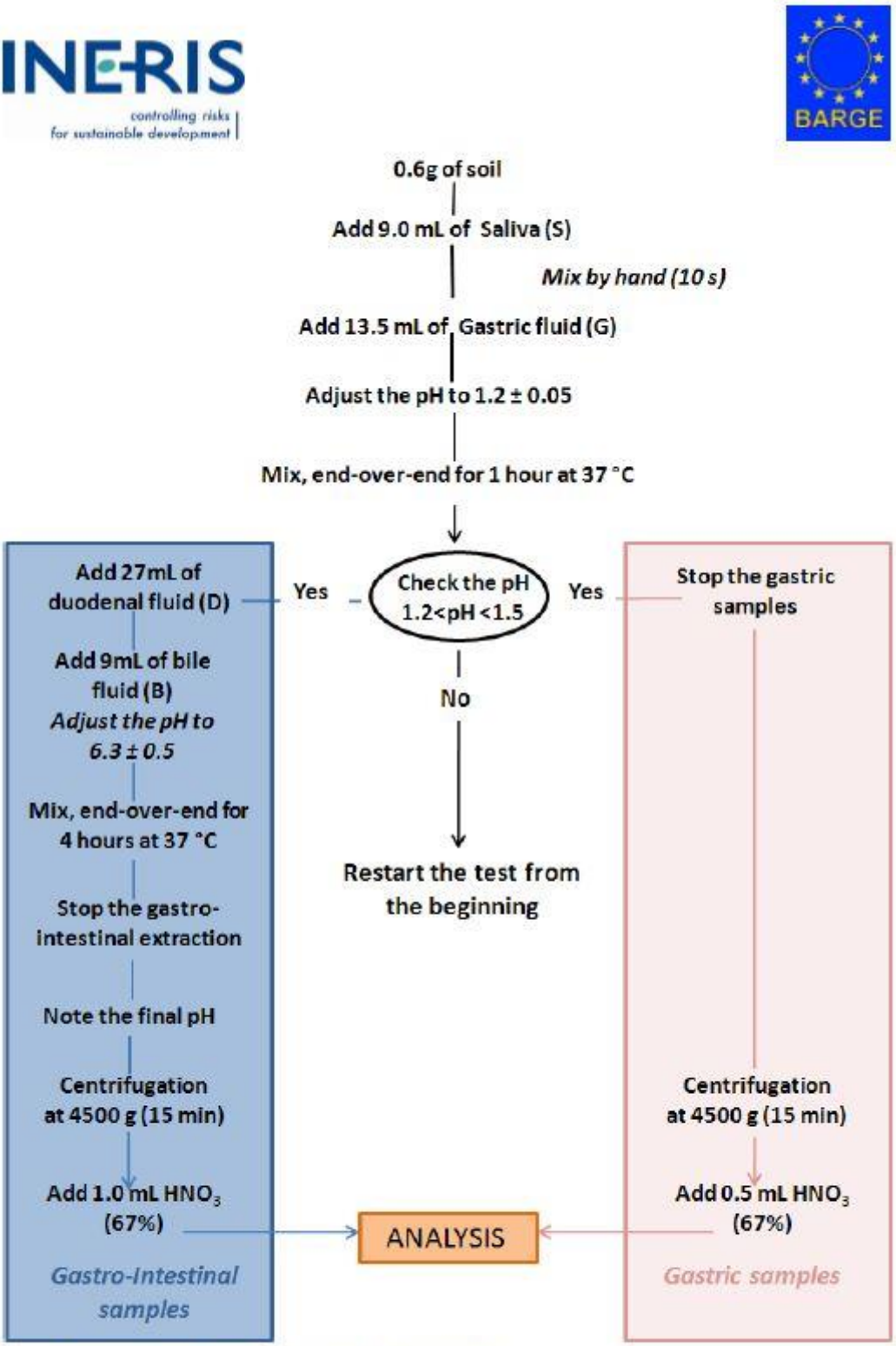


Figure 1 Schematic diagram of the UBM methodology

3

INERIS
controlling risks for sustainable development

BARGE

4.3. REAGENTS

Table 1 shows the various reagents used in the synthesis of the digestive fluids. All pH adjustments are performed with HCl 37% or NaOH 1-5 M purchased from Analytika Ltd or other suitable supplier.

Table 1 Reagents involved in the synthesis of the digestive fluids.

Reagents	Supplier	Product Code	CAS N°
NaH_2PO_4	Merck	1.06342.0250	13472-35-0
NaCl	Prolabo	27810.262	7647-14-5
KSCN	Sigma	P2713	333-20-0
Na_2SO_4	VWR	28114.230	7757-82-6
KCl	Merck	1.04936.1000	7447-40-7
$CaCl_2.2H_20$	VWR	1.02382.0250	10035-04-8
NH_4Cl	Prolabo	21236.291	12125-02-9
$NaHCO_3$	Prolabo	27778.293	144-55-8
KH_2PO4	Prolabo	26936.236	7778-77-0
$MgCl_2.6H_20$	Sigma	M8266	7786-30-3
NaOH	Prolabo	28244.295	1310-73-2
HCl	Analytika Ltd.		
Urea	Merck	108487	57-13-6
D + Glucose	VWR	101174Y	50-99-7
D – Glucuronic acid	Sigma	49335	6556-12-3
D-glucosaminehydrochloride	Sigma	G4875	66-84-2
Pepsine (porcine)	Merck	107185	9001-75-6
Bovine Serum Albumen	Merck	112018	90604-29-8
Mucin (porcine)	Sigma	M2378	84082-64-4
Uric Acid	Sigma	U2625	69-93-2
Pancreatin (porcine)	Merck	107130	8049-47-6
α-amylase (bacillus)	Sigma	A-6814	9000-90-2
Lipase (porcine)	Sigma	L-3126	9001-62-1
Bile (bovine)	Sigma	B-3883	8008-63-7

4.4. SAMPLE PREPARATION

The UBM test is carried out on 0.6 g of dried and sieved (<250 µm) samples. For each solid sample, two bioaccessible extracts are collected: one at the end of the gastric phase and another at the end of the gastro-intestinal phase. For each solid sample, the UBM test is performed in duplicate. Therefore for every solid sample, 4 liquid samples will be generated (2 replicates of the gastric phase and 2 replicates of the gastro-intestinal phase).

- Label the cleaned, dry polycarbonate tubes with
  - "Gq" for the gastric samples and "Ist" for the gastro-intestinal samples

- "1" or "2" referring to the replicate
- Name of the solid sample

Weigh 4 x 0.6 g replicates of each test soil into individual polycarbonate extraction tubes (2 replicates for the gastric phase and 2 replicates for the gastro-intestinal phase).

Two reference materials must be extracted within every batch of 10 unknown samples (corresponding to 20 samples in the gastric phase and 20 samples in the gastro-intestinal phase). Soil BGS-102 and NIST 2710a are useful and well referenced materials for the bioaccessibility of Arsenic, Lead and Cadmium.

4.5. pH-METER CALIBRATION

pH is an important parameter of the UBM test controlling the leaching of contaminants from the matrix. It must be fixed at 1.20 (± 0.05) during the gastric phase and 6.3 (±0.5) for the gastro-intestinal phase, thus the pH-meter must be precisely calibrated.

4.6. PREPARATION OF THE DIGESTIVE FLUIDS

Four digestive fluids are required for the UBM test: saliva (S), gastric (G), duodenal (D) and bile (B). All digestive fluids are prepared the day prior to their use in the UBM extraction procedure. The preparation of each fluid requires the preparation of two solutions (one inorganic (I) and one organic solution (O)). Each fluid (S, G, D or B) results from the combination of one inorganic solution, one organic solution and specific enzymes. Table 2 summarises the weight (mg) or volume (ml) of each reagent required for the preparation of 250 mL of each solution (I and O) for a final volume of each fluid about 500 mL (I+O). Once the I, O and enzymes are combined, place each fluid under magnetic agitation for at least 3 hours. Then, check the pH referring to pH values given in table 2 for each fluid. If necessary, adjust pH to the correct tolerance with NaOH 1M and/or HCl 37%. On the day of extraction, all fluids are placed at 37°C for at least one hour before the beginning of the UBM procedure.

INERIS controlling risks for sustainable development

BARGE

Table 2 Masses and volumes of reagents for the preparation of 500 mL of each fluid (S, G, D, B) with 250 mL of inorganic solution (I) and 250 mL of organic solution (O)

	REAGENTS	Saliva (S)	Gastric (G)	Duodenal (D)	Bile (B)	Volume (mL)
Inorganic (I)	KCl	448	412	282	188	250
	NaH_2PO_4	444	133	-	-	
	KSCN	100	-	-	-	
	Na_2SO_4	285	-	-	-	
	NaCl	149	1376	3506	2630	
	$CaCl_2$	-	200	-	-	
	NH4Cl	-	153	-	-	
	$NaHCO_3$	-	-	2803.5	2893	
	KH_2PO_4	-	-	40	-	
	$MgCl_2$	-	-	25	-	
	NaOH (1M)	0.9 mL	-	-	-	
	HCl (37%)	-	4.15 mL	90 uL	90 uL	
Organic (O)	Urea	100 mg	42.5	50	125	250
	Glucose		325	-	-	
	Glucuronic acid		10	-	-	
	Glucosamine hydrochloride		165	-	-	
Enzymes	Alpha amylase	72.5 mg	-	-	-	250+250= 500
	Mucin	25 mg	1500	-	-	
	Uric acid	7.5 mg	-	-	-	
	Bovine Serum Albumin	-	500	500	900	
	Pepsin	-	500	-	-	
	$CaCl_2$	-	-	100	111	
	Pancreatin	-	-	1500	-	
	Lipase	-	-	250	-	
	Bile	-	-	-	3000	
pH	I+O	6,5 +/- 0,5	1,1 +/- 0,1	7,4 +/-0,2	8 +/- 0 .2	

4.7. GASTRO-INTESTINAL FLUID PH CONTROL

- Prepare an experimental gastric blank
  - Take one empty polycarbonate tube
  - Label the tube Gc_0
  - Add 9.0 mL of saliva (S)
  - Add 13.5 mL of gastric fluid (G)
  - Check the pH=1.20 ± 0.05
  - If necessary, adjust the pH in the gastric fluid (with NaOH 1M and/or HCl 37%) or in the saliva to obtain an experimental gastric blank at pH=1.20 ±0.05

INERIS controlling risks for sustainable development

BARGE

- Prepare an experimental gastro-intestinal blank
  - Take one empty polycarbonate tube
  - Label the tube Ist_0
  - Add 9.0 mL of saliva (S)
  - Add 13.5 mL of gastric fluid (G)
  - Add 27.0 mL of duodenal fluid (D)
  - Add 9.0 mL of bile (B)
  - Check the pH=6.30 ±0.5
  - If necessary, adjust the pH in the duodenal fluid or in the bile (with NaOH 1M and/or HCl 37%) to obtain an experimental gastro-intestinal blank at pH=6.30 ±0.5

5. UBM TEST

For each polycarbonate tube:

1) Add 9.0 mL of saliva (S) by pipette. Quickly shake by hand (10 seconds).
2) Add 13.5 mL of gastric fluid (G) by pipette.
3) Check pH=1.20 ±0.05. Adjust with NaOH 1M and/or HCl 37% if necessary.
4) Quickly shake by hand (10 seconds).
5) Check pH=1.20 ±0.05. Adjust with NaOH 1M and/or HCl 37% if necessary.
6) Repeat this operation until the pH stay stable at 1.20 ±0.05
7) Place the tubes in the "end-over-end" rotator.
8) Place the agitator in a stove/heated water bath at 37°C for 1 hour
9) Remove the tubes from the stove/heated water bath.
10) Check the pH<1.50 (If not, the procedure should be restarted from the beginning with special insistence on the pH stability at 1.20 ±0.05.
11) Separate the gastric samples (Gc) from the gastro-intestinal samples (Ist)
    - Centrifuge the samples for 15 minutes at 4500 g.
    - Collect the supernatant by careful pipetting
    - Acidify the extract with 500 µL HNO_3
    - Analyse the gastric samples by ICP MS/AES
12) The following steps are applied to the gastro-intestinal samples only
13) Add 27 mL of duodenal fluid in the gastro-intestinal tubes (Ist)
14) Add 9.0 mL of bile fluid by pipette
15) Check pH=6.30 ±0.5. Adjust with NaOH 1M and/or HCl 37% if necessary.
16) Place the tubes in the "end-over-end" rotator.
17) Place the agitator in a stove/heated water bath at 37°C for 4 hours.
18) Remove the tubes from the stove/heated water bath.
19) Note the final pH of the extracts.
20) Centrifuge the samples for 15 minutes at 4500 g.
    - Collect the supernatant by careful pipetting
    - Acidify the extract with 1.0 mL HNO_3

INERIS controlling risks for sustainable development

BARGE

- Analyse the gastro-intestinal samples by ICP MS/AES

6. RESULTS

The results are expressed in mg of bioaccessible contaminant per kg of solid matrix. They are also expressed as a percentage of the bioaccessible contaminant concentration, calculated as follows:

$$\%\ bioaccessible = \frac{Concentration\ of\ bioaccessible\ metal\ (mg.kg^{-1})}{Concentration\ of\ total\ metal\ in\ sample\ (mg.kg^{-1})} \times 100$$

The concentration of the total contaminant in the sample is determined after digestion of the solid sample with aqua regia or other suitable mixed acid.

7. CLEANING

At the end of the test, the polycarbonate tubes are rinsed 3 times with de-ionized water and then filled with 2% HNO_3 until the next use.

INERIS
controlling risks for sustainable development

BARGE

Table 3 Quantification and detection limits in the UBM gastro-intestinal media determined with ICP-MS (Agilent 7500 CX). Data collected according to the analytical/instrumental conditions applied at INERIS and supplied for information only.

Element	Isotope	Isotopic abundance	Analysis mode	Units	UBM Blank	Minimal dilution	LQ	LD	Units	LQ	LD
Mg	24	79%	Without gas	$mg.L^{-1}$	5.701±0.225	100	0.500	0.167	$mg.kg^{-1}$	50	17
	26	11%		$mg.L^{-1}$	5.997±0.352	100	0.500	0.167	$mg.kg^{-1}$	50	17
Al	27	100		$\mu g.L^{-1}$	12.890±0.523	100	100	33	$mg.kg^{-1}$	50	17
Ti	46	8%	Helium	$\mu g.L^{-1}$	15.789±1.112	2	2	0.7	$mg.kg^{-1}$	0.2	0.1
	48	74%		$\mu g.L^{-1}$	111.825±1.272	2	5	1.7	$mg.kg^{-1}$	0.5	0.2
V	51	100%		$\mu g.L^{-1}$	1.144±0.018	2	1	0.3	$\mu g.kg^{-1}$	100	33
Cr	52	84%		$ng.L^{-1}$	929±18	2	500	167	$\mu g.kg^{-1}$	50	17
	53	10%		$\mu g.L^{-1}$	1.560±0.074	2	0.5	0.17	$\mu g.kg^{-1}$	50	17
Mn	55	100		$\mu g.L^{-1}$	10.440±0.128	2	10	3	$mg.kg^{-1}$	1	0.3
Fe	56	92%		$\mu g.L^{-1}$	155.203±3.647	100	100	33	$mg.kg^{-1}$	50	17
	57	2%		$\mu g.L^{-1}$	178.923±2.952	100	100	33	$mg.kg^{-1}$	50	17
Ni	58	68%		$\mu g.L^{-1}$	1.643±0.035	2	1	0.33	$\mu g.kg^{-1}$	100	33
	60	26%		$ng.L^{-1}$	945±20	2	200	67	$\mu g.kg^{-1}$	20	7
Co	59	100%		$ng.L^{-1}$	111±4	2	100	33	$\mu g.kg^{-1}$	10	3
Cu	63	69%		$\mu g.L^{-1}$	9.717±0.084	2	10	3	$mg.kg^{-1}$	1	0
	65	31%		$\mu g.L^{-1}$	9.583±0.119	2	10	3	$mg.kg^{-1}$	1	0
Zn	64	49%		$\mu g.L^{-1}$	140.306±1.169	100	25	8	$mg.kg^{-1}$	50	17
	66	28%		$\mu g.L^{-1}$	148.177±0.917	100	25	8	$mg.kg^{-1}$	50	17
	68	19%		$\mu g.L^{-1}$	131.791±1.614	100	25	8	$mg.kg^{-1}$	50	17
As	75	100%		$ng.L^{-1}$	184±7	2	200	67	$\mu g.kg^{-1}$	20	7
Se	80	50%	Hydrogen	$\mu g.L^{-1}$	11.146±0.129	2	2	0.7	$mg.kg^{-1}$	0.2	0.1
	82	9%		$\mu g.L^{-1}$	53.968±0.748	2	2	0.7	$mg.kg^{-1}$	0.2	0.1

INERIS
controlling risks for sustainable development

BARGE

Table 4 Quantification and detection limits in the UBM gastro-intestinal media determined with ICP-MS (Agilent 7500 CX). Data collected according to the analytical/instrumental conditions applied at INERIS and supplied for information only.

Element	Isotope	Isotopic abundance	Analysis mode	Units	UBM Blank	Minimal dilution	LQ	LD	Units	LQ	LD
Mo	92	15%	Without gas	$ng.L^{-1}$	991±31	2	1000	333	$mg.kg^{-1}$	0.1	0.03
	98	24%		$ng.L^{-1}$	274±7	2	500	167	$\mu g.kg^{-1}$	50	17
Ag	107	52%		$ng.L^{-1}$	0	2	10000	3333	$mg.kg^{-1}$	1	0.3
	109	48%		$ng.L^{-1}$	0	2	10000	3333	$mg.kg^{-1}$	1	0.3
Cd	111	13%		$ng.L^{-1}$	77±3	2	100	33	$\mu g.kg^{-1}$	10	3
	113	12%		$ng.L^{-1}$	0	2	1000	333	$mg.kg^{-1}$	0.1	0.03
	114	29%		$ng.L^{-1}$	0	2	100	33	$\mu g.kg^{-1}$	10	3
Sn	116	15%		$ng.L^{-1}$	0	2	10000	3333	$mg.kg^{-1}$	1	0.3
	120	33%		$ng.L^{-1}$	0	2	10000	3333	$mg.kg^{-1}$	1	0.3
Sb	121	57%		$ng.L^{-1}$	175±11	2	100	33	$\mu g.kg^{-1}$	10	3
	123	43%		$ng.L^{-1}$	197±16	2	100	33	$\mu g.kg^{-1}$	10	3
Te	126	19%		$ng.L^{-1}$	0	2	10000	3333	$mg.kg^{-1}$	1	0.3
	128	32%		$ng.L^{-1}$	0	2	10000	3333	$mg.kg^{-1}$	1	0.3
	130	34%		$ng.L^{-1}$	0	2	10000	3333	$mg.kg^{-1}$	1	0.3
Tl	203	30%		$ng.L^{-1}$	0	2	100	33	$\mu g.kg^{-1}$	10	3
	205	70%		$ng.L^{-1}$	0	2	200	67	$\mu g.kg^{-1}$	20	7
Pb	206	24%		$ng.L^{-1}$	334±4	2	100	33	$\mu g.kg^{-1}$	10	3
	207	22%		$ng.L^{-1}$	366±27	2	200	67	$\mu g.kg^{-1}$	20	7
	208	52%		$ng.L^{-1}$	306±8	2	100	33	$\mu g.kg^{-1}$	10	3

Annexe 5

Bulletins d'analyses sols

Géosciences pour une Terre durable

brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-A

Provenance : Abbaretz	**Demandeur :** GIRARDEAU Ingrid
Nature échantillon : SOLIDES **Nombre:** 20	**Adresse:** DRP/DPSM/CENTRE OUEST 3 AVENUE CLAUDE GUILLEMIN BP 36009 45060 ORLEANS CEDEX 2 France
Echantillons réceptionnés le : 13/02/2017	
Analyses commencées le : 01-MAR-17	
Référence commande : AM17COE009|IEM/IPG	

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse ICP/MS	T.CONTE
Analyse inorganique des eaux et des solides	T.CONTE
Préparations et matériaux	H.HAAS

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: Véronique JEAN-PROST, Coordonnatrice des Analyses, Direction des Laboratoires — Coordonnateur des analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 07-APR-2017

Hervé GABORIAU, Directeur, Direction des Laboratoires

Nombre de pages: 9

>>> ATTENTION AUX COMMENTAIRES DU LABORATOIRE

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100039781 Rapport d'essais : 17-8-002-A

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Préparations et matériaux

Le mode opératoire est utilisé pour doser : Broyage(Bruts)	**MO093**	Préparation des sols, sédiments, boues et déchets pour détermination des polluants organiques et minéraux d'après les normes NF ISO 11464, NFX 31-147, XP 33-012
Le mode opératoire est utilisé pour doser : PM40 (Perte de masse à 40°C)	**Méthode BRGM**	Méthode BRGM.

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

le : 07-APR-2017 Page 2

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100039781 Rapport d'essais : 17-8-002-A

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux et des solides

Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**MO077**	Détermination de la perte de masse avant ICP
PP (Perte de masse à 450°C)		
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**MO111**	Analyse multiéléments par ICP/AES
Al2O3 (Alumine)		As (Arsenic)
B (Bore)		Ba (Baryum)
Be (Béryllium)		Co (Cobalt)
Cr (Chrome)		Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)
MnO (Oxyde de Manganèse)		Ni (Nickel)
Sn (Etain)		Sr (Strontium)

Commentaire du laboratoire :
Les résultats sont exprimés sur produit séché à 105°C.

Commentaire général :

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.
RESULTATS : Toute valeur supérieure à la limite supérieure de quantification peut entraîner une interférence non contrôlée sur l'un quelconque des éléments.
Les limites de quantification sont estimées sur des matrices naturelles ou représentatives de l¿échantillon. Elles peuvent être modifiées en fonction de la nature des échantillons.
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
REMARQUES : Les résultats des 8 éléments majeurs de l'analyse ICP ne peuvent en aucun cas être utilisés pour une interprétation pétrographique ni pour une évaluation de gisement.
UNITES :
% (pourcentage massique),
mg/kg (1mg/kg=0.0001%=1g/t,)

le : 07-APR-2017 Page 3

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100039781 Rapport d'essais : 17-8-002-A

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse ICP/MS

Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**MO080**	Analyse Quantitative par ICP/MS
Rb (Rubidium)		

Commentaire du laboratoire :
Les résultats sont exprimés sur produit séché à 105°C.

Commentaire général :

RESULTATS : Sauf remarque particulière, les résultats sont exprimés sur produit brut.
Les limites de quantification sont estimées sur des matrices naturelles ou représentatives de l¿échantillon. Elles peuvent être modifiées en fonction de la nature des échantillons.
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
UNITES : Elles peuvent être différentes selon les éléments :
g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)
%(pourcentage massique)
g/kg (1g/kg=0.1%), mg/kg (1mg/kg=0.0001%=1g/t), µg/kg (1µg/Kg=0.001mg/kg=1mg/t)

µg=microgramme, ng=nanogramme, t=tonne

le : 07-APR-2017 Page 4

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039781 Rapport d'essais : 17-8-002-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257668 1 ABNit7 <2mm	200257669 2 ABNit33 <2mm	200257670 3 ABNit60 <2mm	200257671 4 ABNit67 <2mm
PM40 (Perte de masse à 40°C)	%	0.05		0.07	0.05	0.92	0.31
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05		0.34	1.99	1.96	1.35
Rb (Rubidium)	mg/kg	1		109	336	277	190
Al2O3 (Alumine)	%	1		10.8	25.4	23.9	18.8
Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)	%	1		2.72	3.32	3.44	3.88
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.01		0.016	0.034	0.030	0.029
Be (Béryllium)	mg/kg	10		< 10	25	30	< 10
B (Bore)	mg/kg	15		4274	4539	4955	7511
Cr (Chrome)	mg/kg	15		34	106	95	73
Co (Cobalt)	mg/kg	15		< 15	< 15	< 15	< 15
Ni (Nickel)	mg/kg	15		< 15	< 15	15	27
As (Arsenic)	mg/kg	20		265	886	1116	189
Sr (Strontium)	mg/kg	10		58	106	106	105
Sn (Etain)	mg/kg	10		126	184	173	100
Ba (Baryum)	mg/kg	10		150	905	687	405

le : 07-APR-2017 Page 5

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039781 Rapport d'essais : 17-8-002-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257672 5 ABNit78 <2mm	200257673 6 ABNit111 <2mm	200257674 7 ABNit145 <2mm	200257675 8 ABNit154 <2mm
PM40 (Perte de masse à 40°C)	%	0.05		5.14	2.49	0.94	0.53
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05		0.94	0.68	0.32	1.37
Rb (Rubidium)	mg/kg	1		121	74.5	29.9	136
Al2O3 (Alumine)	%	1		14.1	9.35	4.98	15.2
Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)	%	1		3.12	1.95	1.43	2.99
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.01		0.021	0.013	0.010	0.020
Be (Béryllium)	mg/kg	10		< 10	< 10	< 10	13
B (Bore)	mg/kg	15		5722	3520	2671	2037
Cr (Chrome)	mg/kg	15		53	36	22	58
Co (Cobalt)	mg/kg	15		< 15	< 15	< 15	< 15
Ni (Nickel)	mg/kg	15		15	< 15	< 15	< 15
As (Arsenic)	mg/kg	20		117	97	509	567
Sr (Strontium)	mg/kg	10		85	54	33	66
Sn (Etain)	mg/kg	10		84	61	423	50
Ba (Baryum)	mg/kg	10		247	169	73	404

le : 07-APR-2017 Page 6

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039781 Rapport d'essais : 17-8-002-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257676 9 ABNit163 <2mm	200257677 10 ABNit168 <2mm	200257678 11 ABNit7 <250µm	200257679 12 ABNit33 <250µm
PM40 (Perte de masse à 40°C)	%	0.05		0.10	0.06	0.16	0.11
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05		2.04	2.33	0.65	1.34
Rb (Rubidium)	mg/kg	1		230	193	108	308
Al2O3 (Alumine)	%	1		23.9	24.3	20.1	26.9
Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)	%	1		3.64	2.69	5.24	3.51
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.01		0.028	0.021	0.035	0.034
Be (Béryllium)	mg/kg	10		16	25	< 10	29
B (Bore)	mg/kg	15		5229	4701	10628	4968
Cr (Chrome)	mg/kg	15		104	102	79	105
Co (Cobalt)	mg/kg	15		< 15	< 15	< 15	< 15
Ni (Nickel)	mg/kg	15		27	< 15	25	15
As (Arsenic)	mg/kg	20		700	297	356	904
Sr (Strontium)	mg/kg	10		137	121	126	114
Sn (Etain)	mg/kg	10		105	70	236	192
Ba (Baryum)	mg/kg	10		719	706	290	885

le : 07-APR-2017 Page 7

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039781 Rapport d'essais : 17-8-002-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257680 13 ABNit60 <250µm	200257681 14 ABNit67 <250µm	200257682 15 ABNit78 <250µm	200257683 16 ABNit111 <250µm
PM40 (Perte de masse à 40°C)	%	0.05		0.05	< 0.05	0.20	0.17
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05		1.03	1.01	0.68	0.64
Rb (Rubidium)	mg/kg	1		277	181	132	121
Al2O3 (Alumine)	%	1		22.3	21.9	17.2	19.1
Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)	%	1		3.14	4.33	3.97	4.20
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.01		0.027	0.033	0.027	0.030
Be (Béryllium)	mg/kg	10		28	< 10	< 10	< 10
B (Bore)	mg/kg	15		4705	8423	7613	8619
Cr (Chrome)	mg/kg	15		81	83	66	77
Co (Cobalt)	mg/kg	15		< 15	< 15	< 15	< 15
Ni (Nickel)	mg/kg	15		< 15	21	20	21
As (Arsenic)	mg/kg	20		986	249	98	122
Sr (Strontium)	mg/kg	10		97	118	106	120
Sn (Etain)	mg/kg	10		156	143	119	174
Ba (Baryum)	mg/kg	10		621	494	292	358

le : 07-APR-2017 Page 8

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039781 Rapport d'essais : 17-8-002-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257684 17 ABNit145 <250µm	200257685 18 ABNit154 <250µm	200257686 19 ABNit163 <250µm	200257687 20 ABNit168 <250µm
PM40 (Perte de masse à 40°C)	%	0.05		1.51	0.77	2.76	1.56
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05		0.33	2.36	1.63	2.65
Rb (Rubidium)	mg/kg	1		48.9	162	234	193
Al2O3 (Alumine)	%	1		8.6	22.2	26.7	24.3
Fe2O3t (Fer total exprimé en Fe2O3)	%	1		2.50	3.74	3.64	2.62
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.01		0.017	0.027	0.030	0.021
Be (Béryllium)	mg/kg	10		< 10	16	18	23
B (Bore)	mg/kg	15		4937	3299	6154	4788
Cr (Chrome)	mg/kg	15		36	97	121	105
Co (Cobalt)	mg/kg	15		< 15	< 15	< 15	< 15
Ni (Nickel)	mg/kg	15		< 15	17	17	< 15
As (Arsenic)	mg/kg	20		610	573	474	228
Sr (Strontium)	mg/kg	10		59	99	155	121
Sn (Etain)	mg/kg	10		419	53	99	61
Ba (Baryum)	mg/kg	10		115	653	767	677

** LQ Limite de quantification

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

le : 07-APR-2017 Page 9

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-B

Provenance : Abbartz ER	**Demandeur :** GIRARDEAU Ingrid
Nature échantillon : SOLIDES **Nombre:** 20	**Adresse:** DRP/DPSM/CENTRE OUEST 3 AVENUE CLAUDE GUILLEMIN BP 36009 45060 ORLEANS CEDEX 2 France
Echantillons réceptionnés le : 13/02/2017	
Analyses commencées le : 20-MAR-17	
Référence commande : AM17COE009|IEM/IPG	

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse ICP/MS	T.CONTE

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: Véronique JEAN-PROST Coordonnatrice des Analyses Direction des Laboratoires — Coordonnateur des analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 11-APR-2017

Hervé GABORIAU Directeur Direction des Laboratoires

Nombre de pages: 7

>>> ATTENTION AUX COMMENTAIRES DU LABORATOIRE

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100039782 Rapport d'essais : 17-8-002-B

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse ICP/MS

Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**MO080**	Analyse Quantitative par ICP/MS
Al (Aluminium)		As (Arsenic)
B (Bore)		Ba (Baryum)
Be (Béryllium)		Co (Cobalt)
Cr (Chrome)		Fe (Fer)
Mn (Manganèse)		Ni (Nickel)
Rb (Rubidium)		Sn (Etain)
Sr (Strontium)		

Commentaire du laboratoire :
Analyse après mise en solution à l'eau Régale.

Commentaire général :

RESULTATS : Sauf remarque particulière, les résultats sont exprimés sur produit brut.
Les limites de quantification sont estimées sur des matrices naturelles ou représentatives de l¿échantillon. Elles peuvent être modifiées en fonction de la nature des échantillons.
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
UNITES : Elles peuvent être différentes selon les éléments :
g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)
%(pourcentage massique)
g/kg (1g/kg=0.1%), mg/kg (1mg/kg=0.0001%=1g/t), µg/kg (1µg/Kg=0.001mg/kg=1mg/t)

µg=microgramme, ng=nanogramme, t=tonne

le : 11-APR-2017 Page 2

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039782 Rapport d'essais : 17-8-002-B

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257688 1 ABNit7 <2mm ER	200257689 2 ABNit33 <2mm ER	200257690 3 ABNit60 <2mm ER	200257691 4 ABNit67 <2mm ER
Al (Aluminium)	mg/kg	0.1		16090	39090	32730	2101
As (Arsenic)	mg/kg	0.1		401	903	1144	204
B (Bore)	mg/kg	0.1		54.5	25.0	18.8	40.3
Ba (Baryum)	mg/kg	0.1		226	388	281	265
Be (Béryllium)	mg/kg	0.1		3.39	14.0	9.04	5.10
Co (Cobalt)	mg/kg	0.1		0.29	0.27	0.19	0.21
Cr (Chrome)	mg/kg	0.1		12.9	32.5	27.2	16.5
Fe (Fer)	mg/kg	0.1		4576.0	6947.0	6044.0	3399.0
Mn (Manganèse)	mg/kg	0.1		41.5	62.9	47.0	42.0
Ni (Nickel)	mg/kg	0.1		1.48	3.49	2.28	1.77
Rb (Rubidium)	mg/kg	0.1		75.7	144	124	89.4
Sn (Etain)	mg/kg	0.1		33.3	63.8	52.6	38.5
Sr (Strontium)	mg/kg	0.1		18.8	38.2	26.3	25.0

le : 11-APR-2017 Page 3

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039782 Rapport d'essais : 17-8-002-B

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257692 5 ABNit78 <2mm ER	200257693 6 ABNit111 <2mm ER	200257694 7 ABNit145 <2mm ER	200257695 8 ABNit154 <2mm ER
Al (Aluminium)	mg/kg	0.1		15590	11680	5857	27770
As (Arsenic)	mg/kg	0.1		148	117	477	527
B (Bore)	mg/kg	0.1		31.3	41.8	66.3	13.1
Ba (Baryum)	mg/kg	0.1		188	139	74.8	195
Be (Béryllium)	mg/kg	0.1		3.97	3.09	1.28	7.17
Co (Cobalt)	mg/kg	0.1		0.20	0.52	< 0.1	4.92
Cr (Chrome)	mg/kg	0.1		11.4	10.5	2.19	27.8
Fe (Fer)	mg/kg	0.1		2943.0	3111.0	3087.0	16827.0
Mn (Manganèse)	mg/kg	0.1		32.9	23.8	23.0	112
Ni (Nickel)	mg/kg	0.1		1.17	1.62	0.50	8.47
Rb (Rubidium)	mg/kg	0.1		69.6	50.4	35.7	63.7
Sn (Etain)	mg/kg	0.1		31.1	21.8	22.3	14.6
Sr (Strontium)	mg/kg	0.1		20.2	13.6	5.47	22.9

le : 11-APR-2017 Page 4

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039782 Rapport d'essais : 17-8-002-B

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257696 9 ABNit163 <2mm ER	200257697 10 ABNit168 <2mm ER	200257698 11 ABNit7 <250µm ER	200257699 12 ABNit33 <250µm ER
Al (Aluminium)	mg/kg	0.1		35950	38260	19790	49620
As (Arsenic)	mg/kg	0.1		554	272	372	829
B (Bore)	mg/kg	0.1		27.0	23.3	143	44.2
Ba (Baryum)	mg/kg	0.1		352	318	221	449
Be (Béryllium)	mg/kg	0.1		11.9	13.7	4.31	16.8
Co (Cobalt)	mg/kg	0.1		0.38	0.27	0.28	0.31
Cr (Chrome)	mg/kg	0.1		31.2	27.5	14.1	37.9
Fe (Fer)	mg/kg	0.1		8023.0	4278.0	4350.0	7033.0
Mn (Manganèse)	mg/kg	0.1		52.4	34.5	49.4	82.4
Ni (Nickel)	mg/kg	0.1		3.51	2.54	1.78	3.48
Rb (Rubidium)	mg/kg	0.1		127	95.1	91.0	194
Sn (Etain)	mg/kg	0.1		49.8	31.3	40.5	85.3
Sr (Strontium)	mg/kg	0.1		40.6	29.8	20.9	36.5

le : 11-APR-2017 Page 5

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039782 Rapport d'essais : 17-8-002-B

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257700 13 ABNit60 <250µm ER	200257701 14 ABNit67 <250µm ER	200257702 15 ABNit78 <250µm ER	200257703 16 ABNit111 <250µm ER
Al (Aluminium)	mg/kg	0.1		47280	32560	20090	19010
As (Arsenic)	mg/kg	0.1		1142	262	110	116
B (Bore)	mg/kg	0.1		49.1	115	82.7	81.0
Ba (Baryum)	mg/kg	0.1		421	358	215	205
Be (Béryllium)	mg/kg	0.1		11.4	7.49	5.02	5.18
Co (Cobalt)	mg/kg	0.1		0.29	0.26	0.21	0.41
Cr (Chrome)	mg/kg	0.1		36.3	23.9	15.0	16.0
Fe (Fer)	mg/kg	0.1		7433.0	4698.0	3345.0	3555.0
Mn (Manganèse)	mg/kg	0.1		75.2	64.5	41.8	37.9
Ni (Nickel)	mg/kg	0.1		3.04	2.48	1.75	2.16
Rb (Rubidium)	mg/kg	0.1		187	139	92.9	82.5
Sn (Etain)	mg/kg	0.1		79.1	57.8	39.9	35.8
Sr (Strontium)	mg/kg	0.1		28.9	32.9	22.6	20.0

le : 11-APR-2017 Page 6

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039782 Rapport d'essais : 17-8-002-B

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257704 17 ABNit145 <250µm ER	200257705 18 ABNit154 <250µm ER	200257706 19 ABNit163 <250µm ER	200257707 20 ABNit168 <250µm ER
Al (Aluminium)	mg/kg	0.1		8429	38600	42770	44620
As (Arsenic)	mg/kg	0.1		637	515	440	197
B (Bore)	mg/kg	0.1		98.6	21.1	46.8	33.1
Ba (Baryum)	mg/kg	0.1		110	244	375	315
Be (Béryllium)	mg/kg	0.1		1.88	10.4	14.7	14.7
Co (Cobalt)	mg/kg	0.1		0.18	2.48	0.28	0.32
Cr (Chrome)	mg/kg	0.1		3.98	31.6	36.3	29.1
Fe (Fer)	mg/kg	0.1		3983.0	16858.0	5446.0	3691.0
Mn (Manganèse)	mg/kg	0.1		34.4	126	54.3	36.2
Ni (Nickel)	mg/kg	0.1		1.00	8.99	3.61	2.77
Rb (Rubidium)	mg/kg	0.1		51.1	81.7	145	111
Sn (Etain)	mg/kg	0.1		29.5	17.7	53.0	32.9
Sr (Strontium)	mg/kg	0.1		8.09	28.8	45.4	31.0

** LQ Limite de quantification

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

le : 11-APR-2017 Page 7

Géosciences pour une Terre durable

brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-C

Provenance : Abbaretz	**Demandeur :** GIRARDEAU Ingrid
Nature échantillon : LIQUIDES **Nombre:** 44	**Adresse:** DRP/DPSM/CENTRE OUEST 3 AVENUE CLAUDE GUILLEMIN BP 36009 45060 ORLEANS CEDEX 2 France
Echantillons réceptionnés le : 13/02/2017	
Analyses commencées le : 24-FEB-17	
Référence commande : AM17COE009|IEM/IPG	

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse inorganique des eaux et des solides	T.CONTE

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: Véronique JEANVPROST Coordonnatrice des Analyses Direction des Laboratoires — Coordonnateur des analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 07-APR-2017

Hervé GABORIAU Directeur Direction des Laboratoires

Nombre de pages: 13

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des eaux et des solides

Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**MO108**	Analyse d'éléments traces par ICP-MS suivant NF EN ISO 17294-2 d'avril 2005
Al (Aluminium)		As (Arsenic)
B (Bore)		Ba (Baryum)
Be (Béryllium)		Co (Cobalt)
Cr (Chrome)		Mn (Manganèse)
Ni (Nickel)		Rb (Rubidium)
Sn (Etain)		Sr (Strontium)
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**NF EN ISO 11885 NOV-09**	Analyse par ICP - spectrométrie d'émission.
Fe (Fer)		

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

Les échantillons reçus non conditionnés selon les recommandations en vigueur (normes d¿analyses ou norme NF EN ISO 5667-3) font l'objet d'un commentaire du laboratoire. Le mode et la durée de conservation avant réception au laboratoire sont de la responsabilité de l'organisme préleveur.
Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.
Pour les solides : résultats exprimés sur matière sèche.
RESULTATS: Les limites de quantification sont estimées sur des matrices naturelles ou représentatives de l¿échantillon. Elles peuvent être modifiées en fonction de la nature des échantillons.
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
UNITES : elles peuvent être différentes selon les éléments
g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)
% (pourcentage massique)
mg/kg (1mg/kg=0.0001%), µg/kg (1µg/kg=0.001mg/kg)
µg=microgramme, ng=nanogramme

le : 07-APR-2017 Page 2

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257714 1 ABNit7<250µm gastrique1	200257715 2 ABNit7<250µm gastrique2	200257716 3 ABNit7<250µm instestinal1	200257717 4 ABNit7<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		11920	12600	1607	4409
As (Arsenic)	µg/l	0.05		1532	1139	515	849
B (Bore)	µg/l	0.5		236	251	183	225
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		241	235	45.0	97.5
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		3.29	3.43	0.51	1.34
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		0.57	0.63	0.22	0.53
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		14.8	14.0	4.50	10.5
Fe (Fer)	mg/l	0.02		5.359	4.531	0.857	3.843
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		42.6	40.7	18.7	30.5
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		11.1	9.80	7.47	5.86
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		78.6	80.1	48.5	52.8
Sn (Etain)	µg/l	0.05		5.03	4.37	1.09	7.40
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		24.5	23.8	16.5	41.3

le : 07-APR-2017 Page 3

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257718 5 ABNit33<250µm gastrique1	200257719 6 ABNit33<250µm gastrique2	200257720 7 ABNit33<250µm instestinal1	200257721 8 ABNit33<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		15900	15060	1100	1637
As (Arsenic)	µg/l	0.05		1513	1263	444	479
B (Bore)	µg/l	0.5		67.6	69.7	100	92.7
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		376	196	34.3	43.4
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		7.48	7.34	0.57	0.92
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		0.34	0.34	0.13	0.10
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		17.4	16.2	4.25	5.31
Fe (Fer)	mg/l	0.02		4.509	3.563	0.437	0.504
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		30.1	30.0	13.4	14.2
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		8.16	8.15	21.5	3.59
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		107	111	60.5	59.3
Sn (Etain)	µg/l	0.05		4.95	3.98	0.80	1.36
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		20.9	21.6	13.7	14.0

le : 07-APR-2017 Page 4

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257722 9 ABNit60<250µm gastrique1	200257723 10 ABNit60<250µm gastrique2	200257724 11 ABNit60<250µm instestinal1	200257725 12 ABNit60<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		34790	33540	1184	1272
As (Arsenic)	µg/l	0.05		3121	3356	709	818
B (Bore)	µg/l	0.5		91.7	88.8	87.5	95.0
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		217	207	15.5	17.3
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		11.1	10.4	0.44	0.54
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		0.66	0.56	0.63	0.25
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		29.7	30.3	4.19	5.21
Fe (Fer)	mg/l	0.02		8.980	8.913	0.714	0.519
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		39.7	38.4	11.1	12.8
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		11.8	9.37	4.61	4.30
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		166	161	81.0	91.1
Sn (Etain)	µg/l	0.05		9.54	8.92	0.43	0.80
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		30.0	28.1	13.4	14.0

le : 07-APR-2017 Page 5

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257726 13 ABNit67<250µm gastrique1	200257727 14 ABNit67<250µm gastrique2	200257728 15 ABNit67<250µm instestinal1	200257729 16 ABNit67<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		22430	21270	1915	1653
As (Arsenic)	µg/l	0.05		641	745	217	183
B (Bore)	µg/l	0.5		219	214	144	153
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		323	323	40.3	34.3
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		5.41	5.03	0.52	0.39
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		0.51	0.52	0.19	0.21
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		22.1	22.4	5.44	5.26
Fe (Fer)	mg/l	0.02		3.935	4.388	0.599	0.460
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		40.7	42.3	19.0	14.9
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		11.5	10.6	8.71	6.29
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		104	102	54.8	58.0
Sn (Etain)	µg/l	0.05		6.20	6.52	0.75	0.63
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		30.0	29.7	16.5	16.0

le : 07-APR-2017 Page 6

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257730 17 ABNit78<250µm gastrique1	200257731 18 ABNit78<250µm gastrique2	200257732 19 ABNit78<250µm instestinal1	200257733 20 ABNit78<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		15080	15680	970	1648
As (Arsenic)	µg/l	0.05		359	472	91.1	106
B (Bore)	µg/l	0.5		17.6	193	135	126
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		61.1	213	22.1	38.0
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		0.32	3.83	0.22	0.45
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		0.09	1.10	0.31	0.35
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		16.3	17.2	4.58	5.64
Fe (Fer)	mg/l	0.02		3.702	4.062	0.343	0.574
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		5.19	55.5	12.0	19.1
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		0.92	9.60	3.51	3.56
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		8.09	85.4	42.7	41.1
Sn (Etain)	µg/l	0.05		0.49	5.24	0.48	0.74
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		2.33	24.0	13.2	13.6

le : 07-APR-2017 Page 7

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257734 21 ABNit111<250µm gastrique1	200257735 22 ABNit111<250µm gastrique2	200257736 23 ABNit111<250µm instestinal1	200257737 24 ABNit111<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		12300	15350	1333	1761
As (Arsenic)	µg/l	0.05		356	487	95.1	89.4
B (Bore)	µg/l	0.5		166	171	132	117
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		173	191	32.0	27.7
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		3.17	3.20	0.37	0.30
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		0.83	1.18	0.31	0.22
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		14.3	16.2	5.58	4.71
Fe (Fer)	mg/l	0.02		3.174	3.545	0.529	0.411
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		48.3	53.3	18.3	12.8
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		8.03	130	3.40	3.15
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		75.4	78.7	41.5	38.1
Sn (Etain)	µg/l	0.05		4.27	5.13	0.51	0.56
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		21.3	23.0	13.7	12.0

le : 07-APR-2017 Page 8

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257738 25 ABNit145<250µm gastrique1	200257739 26 ABNit145<250µm gastrique2	200257740 27 ABNit145<250µm instestinal1	200257741 28 ABNit145<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		7046	7978	1363	860
As (Arsenic)	µg/l	0.05		3483	3490	680	816
B (Bore)	µg/l	0.5		144	161	137	134
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		164	179	45.5	30.6
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		1.82	2.00	0.31	0.19
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		0.87	0.99	1.50	0.34
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		12.3	12.8	5.27	4.28
Fe (Fer)	mg/l	0.02		8.870	9.923	1.487	1.044
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		47.7	49.6	19.0	19.7
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		9.94	9.08	4.23	3.85
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		77.7	83.4	46.6	45.1
Sn (Etain)	µg/l	0.05		7.21	7.68	1.19	0.96
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		16.9	17.1	12.6	11.8

le : 07-APR-2017 Page 9

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257742 29 ABNit154<250µm gastrique1	200257743 30 ABNit154<250µm gastrique2	200257744 31 ABNit154<250µm instestinal1	200257745 32 ABNit154<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		16950	19820	1076	1068
As (Arsenic)	µg/l	0.05		6777	7452	2821	2510
B (Bore)	µg/l	0.5		25.3	24.0	10.2	8.97
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		76.2	84.9	6.00	5.63
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		4.55	4.68	0.34	0.29
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		4.80	5.32	1.64	1.64
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		19.1	22.0	4.56	4.16
Fe (Fer)	mg/l	0.02		14.625	17.509	0.996	0.875
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		86.1	94.1	29.2	29.9
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		17.5	19.5	7.78	7.77
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		66.8	66.4	41.5	41.4
Sn (Etain)	µg/l	0.05		1.89	2.18	0.37	0.31
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		15.6	15.0	10.6	9.90

le : 07-APR-2017 Page 10

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257746 33 ABNit163<250µm gastrique1	200257747 34 ABNit163<250µm gastrique2	200257748 35 ABNit163<250µm instestinal1	200257749 36 ABNit163<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		11850	12440	1361	802
As (Arsenic)	µg/l	0.05		2066	2375	857	865
B (Bore)	µg/l	0.5		40.3	42.6	21.6	14.9
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		118	124	28.8	12.5
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		4.74	4.55	0.47	0.31
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		0.41	0.46	0.30	0.13
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		16.1	17.6	6.61	4.10
Fe (Fer)	mg/l	0.02		3.666	4.101	0.591	0.343
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		20.1	20.8	19.6	11.2
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		10.2	11.7	6.71	3.90
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		71.0	75.1	44.7	43.5
Sn (Etain)	µg/l	0.05		2.49	2.77	0.81	0.42
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		15.6	16.7	80.8	10.8

le : 07-APR-2017 Page 11

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257750 37 ABNit168<250µm gastrique1	200257751 38 ABNit168<250µm gastrique2	200257752 39 ABNit168<250µm instestinal1	200257753 40 ABNit168<250µm intestinal2
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		15670	17000	1133	661
As (Arsenic)	µg/l	0.05		900	1019	405	345
B (Bore)	µg/l	0.5		28.5	31.6	10.5	9.38
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		133	144	17.1	11.3
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		6.42	7.52	0.56	0.33
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		0.58	0.60	0.27	0.19
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		15.5	16.5	4.27	3.74
Fe (Fer)	mg/l	0.02		3.035	2.992	0.309	0.166
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		19.6	21.2	9.91	10.5
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		11.0	13.6	5.00	5.75
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		70.1	73.7	42.9	40.4
Sn (Etain)	µg/l	0.05		1.43	1.38	0.33	0.16
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		18.6	20.1	12.0	11.1

le : 07-APR-2017 Page 12

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100039786 Rapport d'essais : 17-8-002-C

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200257754 41 blanc1	200257755 42 blanc2	200257756 43 blanc3	200257757 44 blanc4
Al (Aluminium)	µg/l	0.5		32.7	10.5	15.1	7.36
As (Arsenic)	µg/l	0.05		2.66	3.29	1.93	3.24
B (Bore)	µg/l	0.5		26.2	93.7	2.87	2.28
Ba (Baryum)	µg/l	0.05		22.0	4.60	4.13	3.18
Be (Béryllium)	µg/l	0.01		< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Co (Cobalt)	µg/l	0.05		< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.05
Cr (Chrome)	µg/l	0.1		4.13	3.95	3.76	3.92
Fe (Fer)	mg/l	0.02		0.639	0.243	0.392	0.134
Mn (Manganèse)	µg/l	0.1		13.2	1.76	11.3	11.8
Ni (Nickel)	µg/l	0.1		1.95	0.96	3.05	2.12
Rb (Rubidium)	µg/l	0.1		38.2	29.0	37.8	27.2
Sn (Etain)	µg/l	0.05		0.09	0.90	< 0.05	0.15
Sr (Strontium)	µg/l	0.1		7.09	9.39	6.66	8.59

** LQ Limite de quantification

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

le : 07-APR-2017 Page 13

RAPPORT D'ESSAIS N° 17-8-002-D

Origine des échantillons : Projet ABBARETZ

Identification des échantillons :

RES 1	RES 2	RES 3	STERILES

Nature des Essais et documents de référence :

- Analyse granulométrique par tamisage (séparation en voie humide à 50µm) - Suivant procédure de la norme NF P 94-056
- Analyse micro - granulométrique entre 50 et 0,5 µm sur appareil SEDIGRAPH 5100.

Observations :

RESULTATS DES ANALYSES

ANALYSES GRANULOMETRIQUES :

Pour la réalisation des analyses granulométriques, une prise de l'échantillon brut sec est effectuée.
Ce prélèvement est mis en suspension, puis lavé sur un tamis de 50 µm. La fraction supérieure à 50 µm est séchée et traitée par tamisage en voie sèche, la fraction inférieure à 50 µm est analysée par sédimentation avec l'appareil SEDIGRAPH 5100.

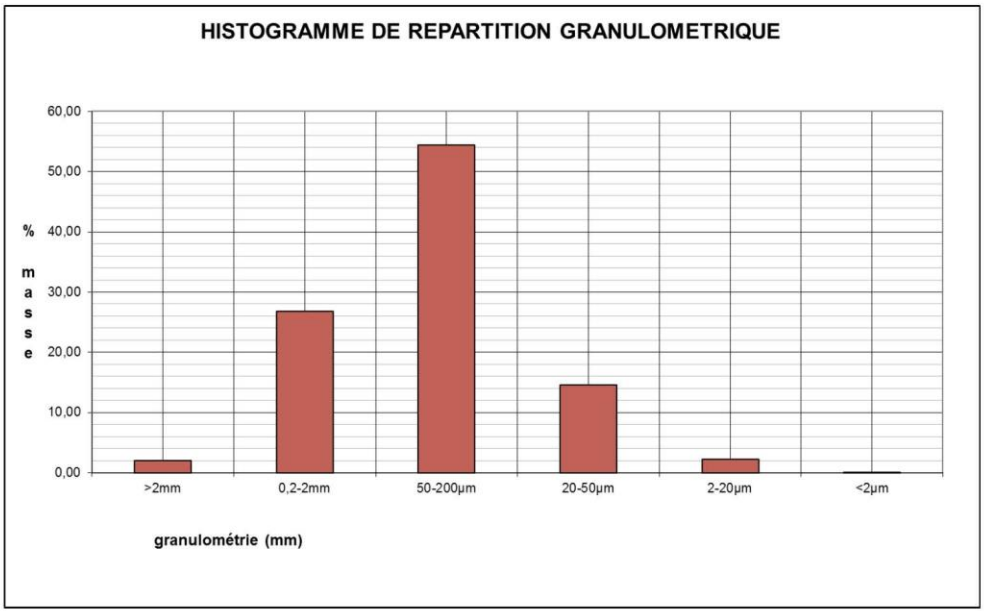
Les résultats des analyses complètes, sont présentés dans les pages suivantes incluant la fraction granulométrique supérieure à 50 µm.

IM 253 (MO PRM) – 25/07/2005 **2**

RAPPORT D'ESSAIS N° 17-8-002-D

Références échantillon : RES 1

Intervalle granulométrique	% dans l'intervalle	% cumulé
> 2 mm	2,00	100,00
0,2 – 2 mm	26,76	98,00
50 – 200 µm	54,38	71,24
20 – 50 µm	14,53	16,85
2 – 20 µm	2,28	2,33
< 2 µm	0,05	0,05

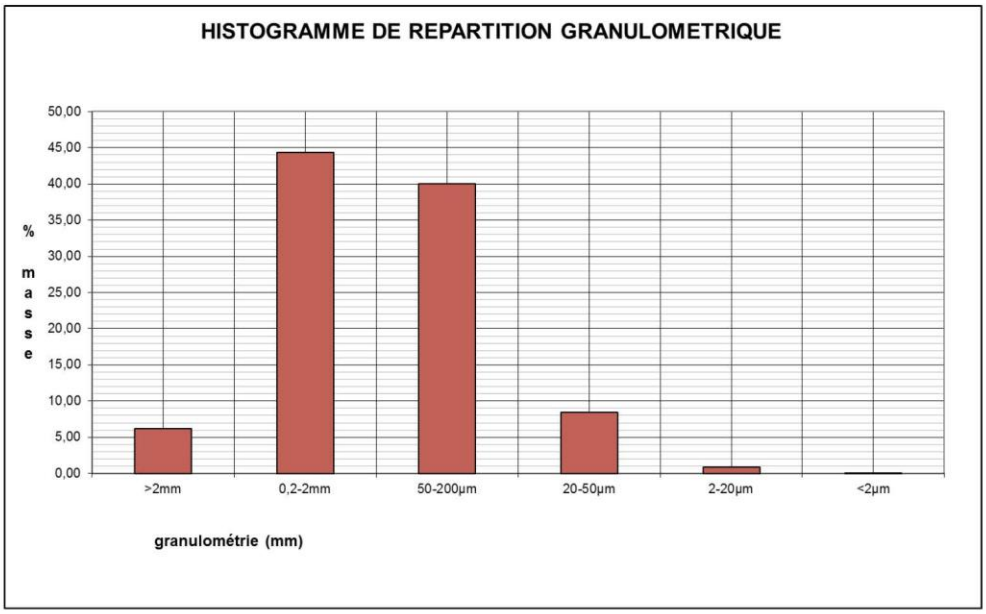


IM 253 (MO PRM) – 25/07/2005 3

RAPPORT D'ESSAIS N° 17-8-002-D

Références échantillon : RES 2

Intervalle granulométrique	% dans l'intervalle	% cumulé
> 2 mm	6,23	100,00
0,2 – 2 mm	44,39	93,77
50 – 200 µm	40,06	49,39
20 – 50 µm	8,43	9,33
2 – 20 µm	0,89	0,91
< 2 µm	0,02	0,02

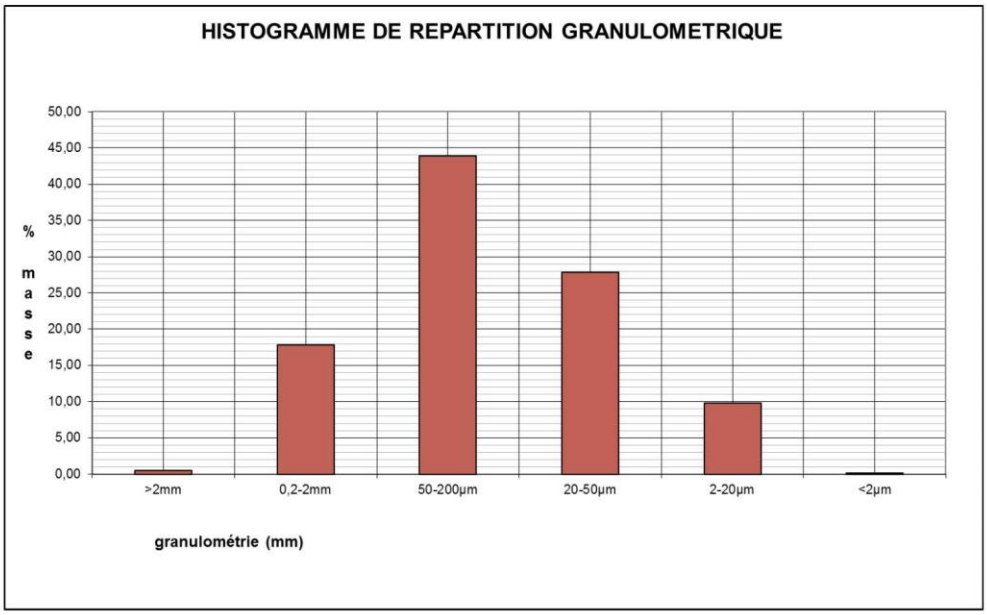


IM 253 (MO PRM) – 25/07/2005 *4*

RAPPORT D'ESSAIS N° 17-8-002-D

Références échantillon : RES 3

Intervalle granulométrique	% dans l'intervalle	% cumulé
> 2 mm	0,47	100,00
0,2 – 2 mm	17,82	99,53
50 – 200 µm	43,94	81,71
20 – 50 µm	27,84	37,78
2 – 20 µm	9,78	9,94
< 2 µm	0,15	0,15

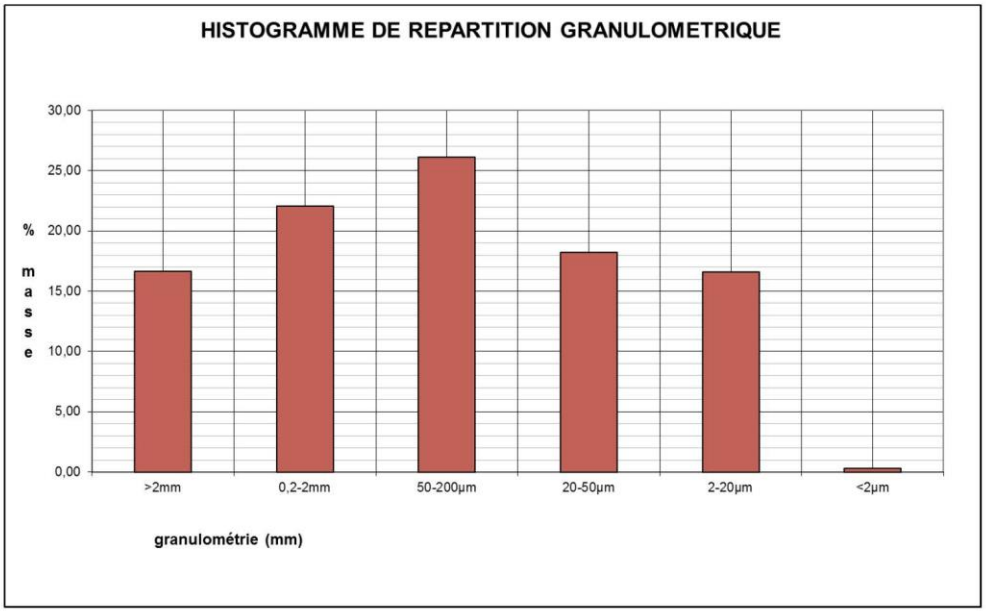


IM 253 (MO PRM) – 25/07/2005 **5**

RAPPORT D'ESSAIS N° 17-8-002-D

Références échantillon : STERILE

Intervalle granulométrique	% dans l'intervalle	% cumulé
> 2 mm	16,67	100,00
0,2 – 2 mm	22,05	83,33
50 – 200 µm	26,13	61,27
20 – 50 µm	18,24	35,15
2 – 20 µm	16,59	16,91
< 2 µm	0,32	0,32



IM 253 (MO PRM) – 25/07/2005 *6*

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E

Caractérisation minéralogique par diffractométrie des rayons X

V/Réf. : AM17COE009|IEM/IPG Abbaretz-IEM **Informations sur le(s) échantillon(s) :** - Date de réception : 20/02/2017 - Date début d'analyse : 20-FEB-17 - Nombre: 4 - Nature : solides - Auteur prélèvement: demandeur	**A l'attention de :** GIRARDEAU Ingrid DRP/DPSM/CENTRE OUEST 3 AVENUE CLAUDE GUILLEMIN BP 36009 45060 ORLEANS CEDEX 2 France **Télécopie n°** .

Résultats validés par Nicolas MAUBEC, Adrien LE CLECH qualifié(es) pour l'essai

Véronique JEAN-PROST
Coordonnatrice des Analyses
Direction des Laboratoires

Visé le 04-APR-2017 par Hervé GABORIAU
Directeur

Hervé GABORIAU
Directeur
Direction des Laboratoires

Nbr pages : 12

Note importante :
Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.
Sauf demande expresse du donneur d'ordre, les échantillons sont détruits 1 an après la date d'envoi de ce rapport.

BRGM - 3, avenue Claude Guillemin - BP 36009 - 45060 Orléans cedex 2, France
Direction des Laboratoires - Unité Caractérisation Minérale, Physico-chimique et texturale
Téléphone: (33) 02 38 64 36 78 - Télécopieur: (33) 02 38 64 37 11

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E

1. Nature de l'essai :

La fraction cristallisée de chaque échantillon est déterminée par diffractométrie des rayons X à partir de leur diffractogramme de poudre. Cette technique est surtout qualitative et ne peut donner qu'une indication semi-quantitative. Le seuil de détection est de l'ordre de quelques pourcents, mais peut largement varier en fonction de la nature des différentes phases.

Une phase dite « amorphe aux rayons X » peut être : une phase non cristallisée ou une phase cryptocristalline.

2. Appareillage et conditions expérimentales :

➢ Conditions expérimentales – Analyses des poudres

Appareillage : ☐ Diffractomètre SIEMENS D5000 automatisé
☒ Diffractomètre BRUKER D8 ADVANCE

- Balayage de 4 à 75°2θ
- Vitesse de balayage de 0,03°2θ/seconde
- Temps de comptage : 288 secondes par pas
- Echantillon tournant
- Tube au Cuivre (λ Kα1 ≈ 1.54 Å)

Traitement des diagrammes : Logiciel DIFFRAC Suite

3. Résultats d'analyse

Echantillon STERILE

- Quartz présent
- Illite et/ou micas présent
- Kaolinite présente
- Dravite présente

Echantillon RES 1

- Quartz présent
- Dravite présente
- Illite et/ou micas présent
- Kaolinite présente

Echantillon RES 2

- Quartz présent
- Dravite présente
- Illite et/ou micas présent
- Kaolinite présente en traces

IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015 2

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E

Echantillon RES 3

- Quartz présent
- Dravite présente
- Illite et/ou micas présent
- Kaolinite présente

4. Observations

IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015

3

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E

ANNEXE

Pour chaque échantillon :

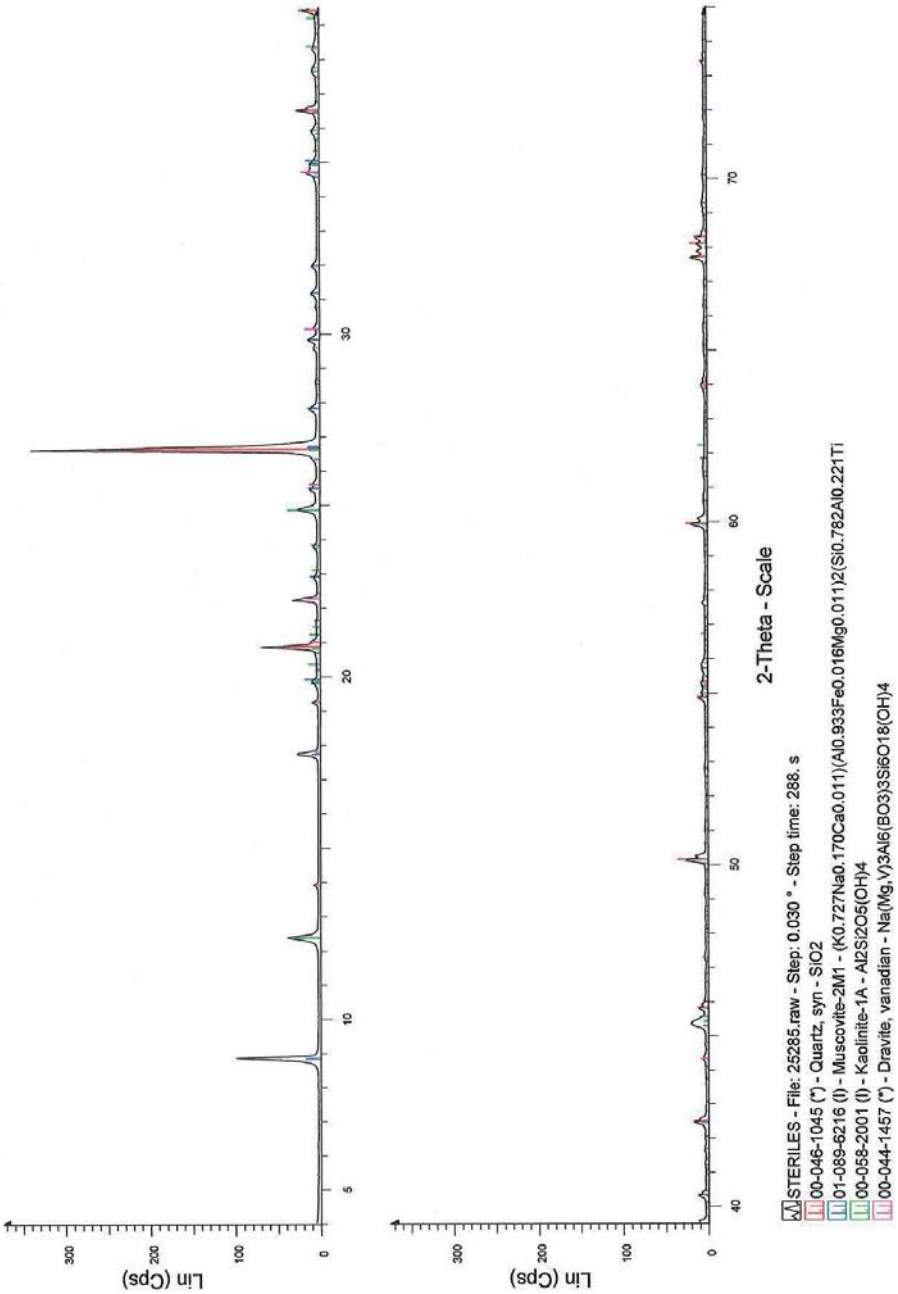
- Le diffractogramme interprété avec les références internationales J.C.P.D.S. (mise à jour de la base 2013)
- Le diffractogramme brut
- Le diffractogramme avec les valeurs (en Å) attribuées à chaque pic

IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015

4

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E

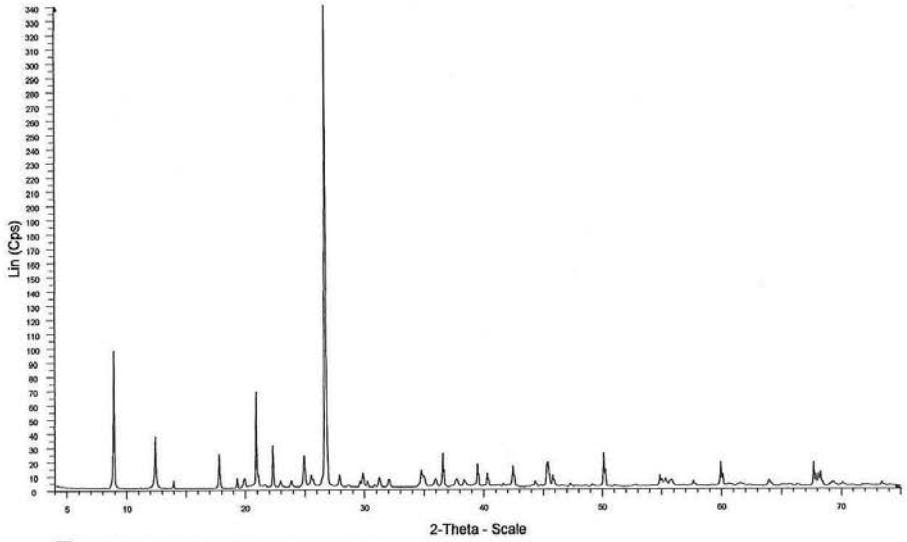


IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015

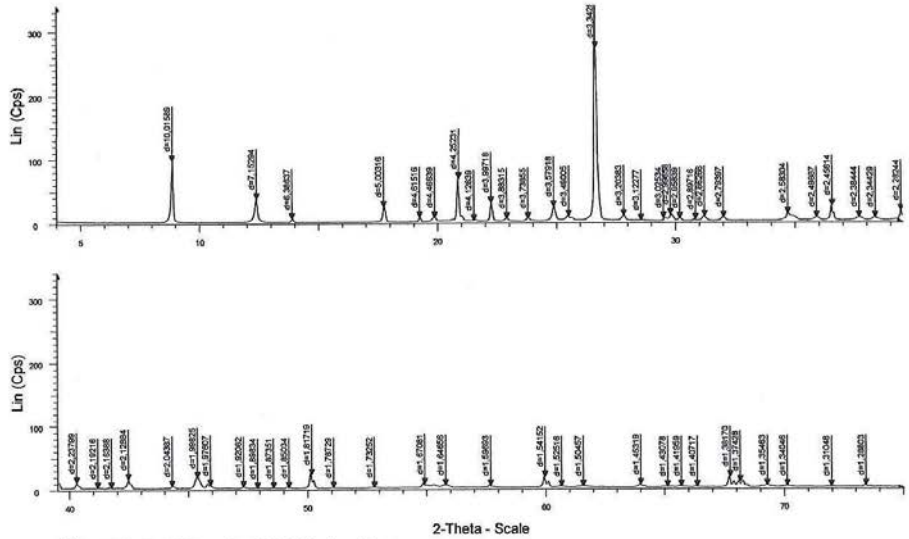
5

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E



STERILES - File: 25285.raw - Step: 0.030 ° - Step time: 288. s

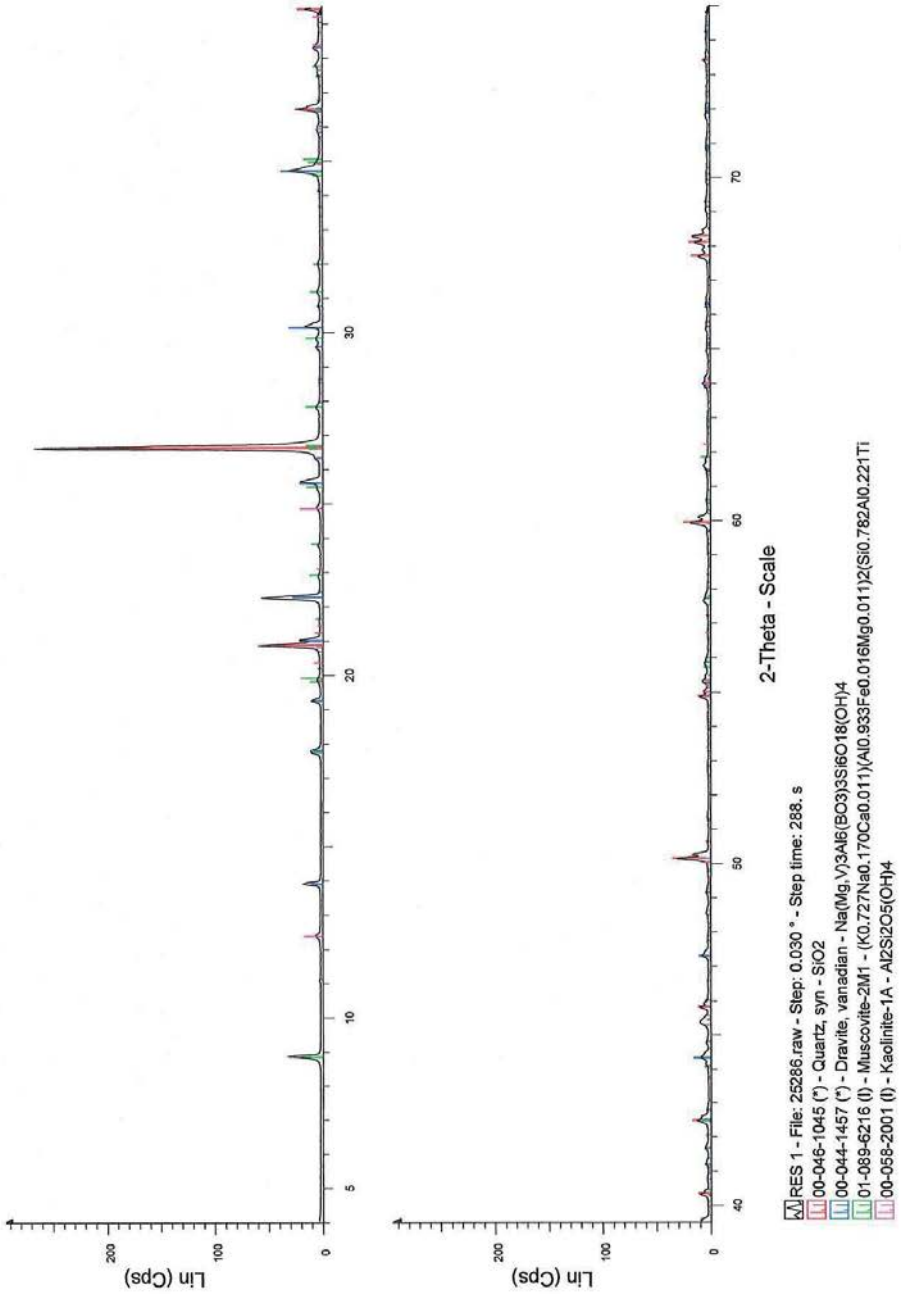


STERILES - File: 25285.raw - Step: 0.030 ° - Step time: 288. s

IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015 6

Géosciences pour une Terre durable
brgm

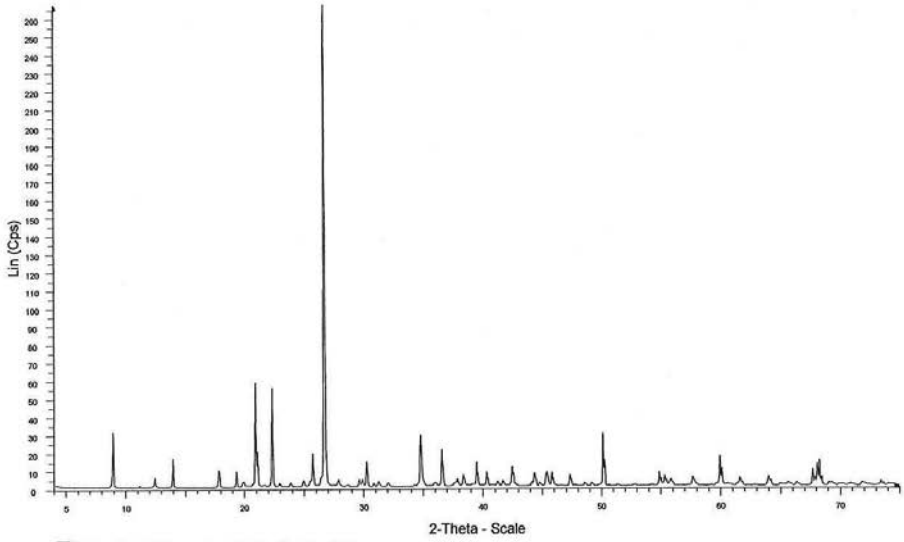
RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E

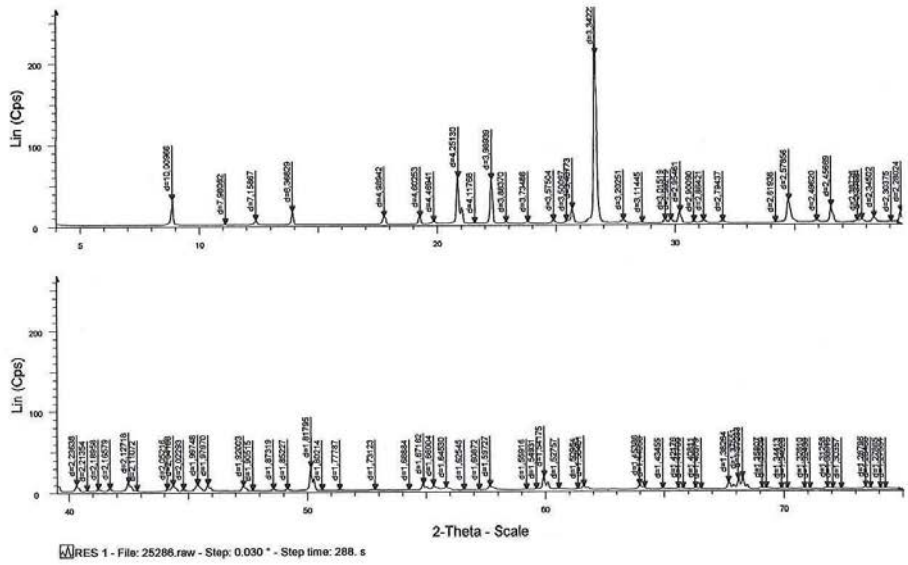


IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015 7

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E

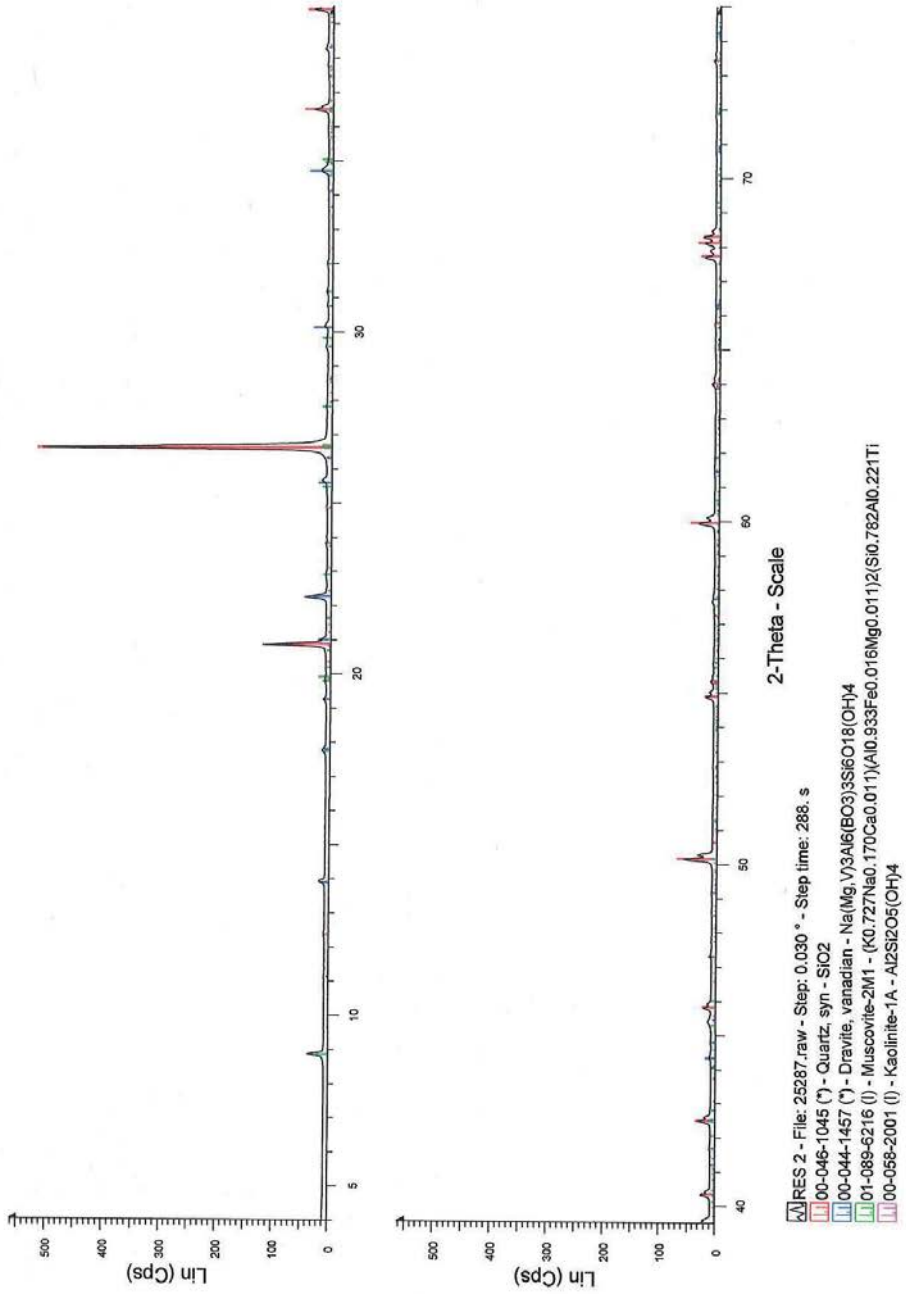




IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015 8

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E

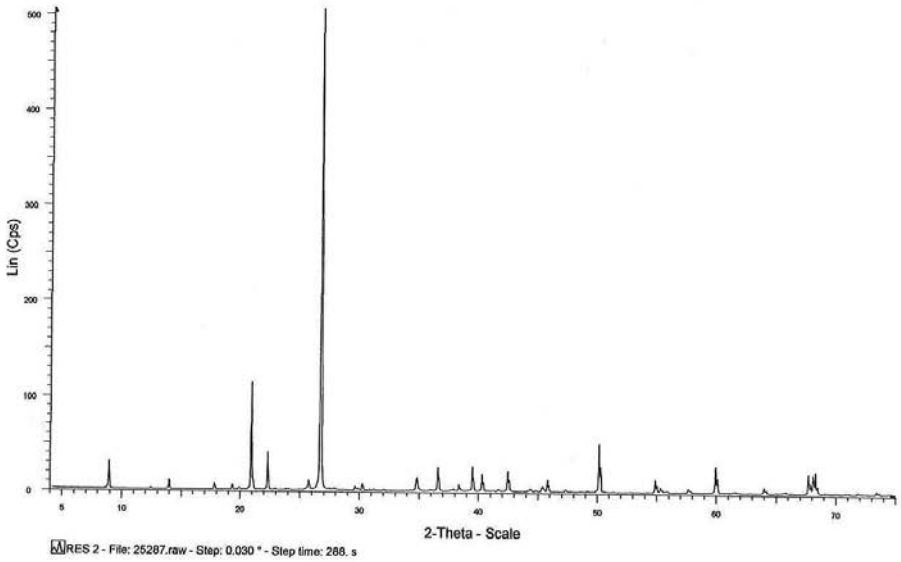


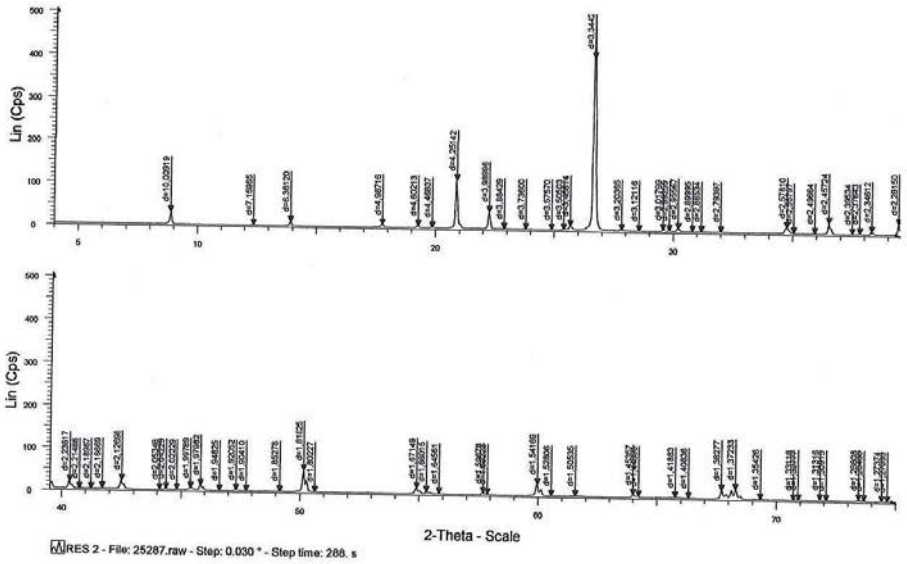
IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015

9

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E



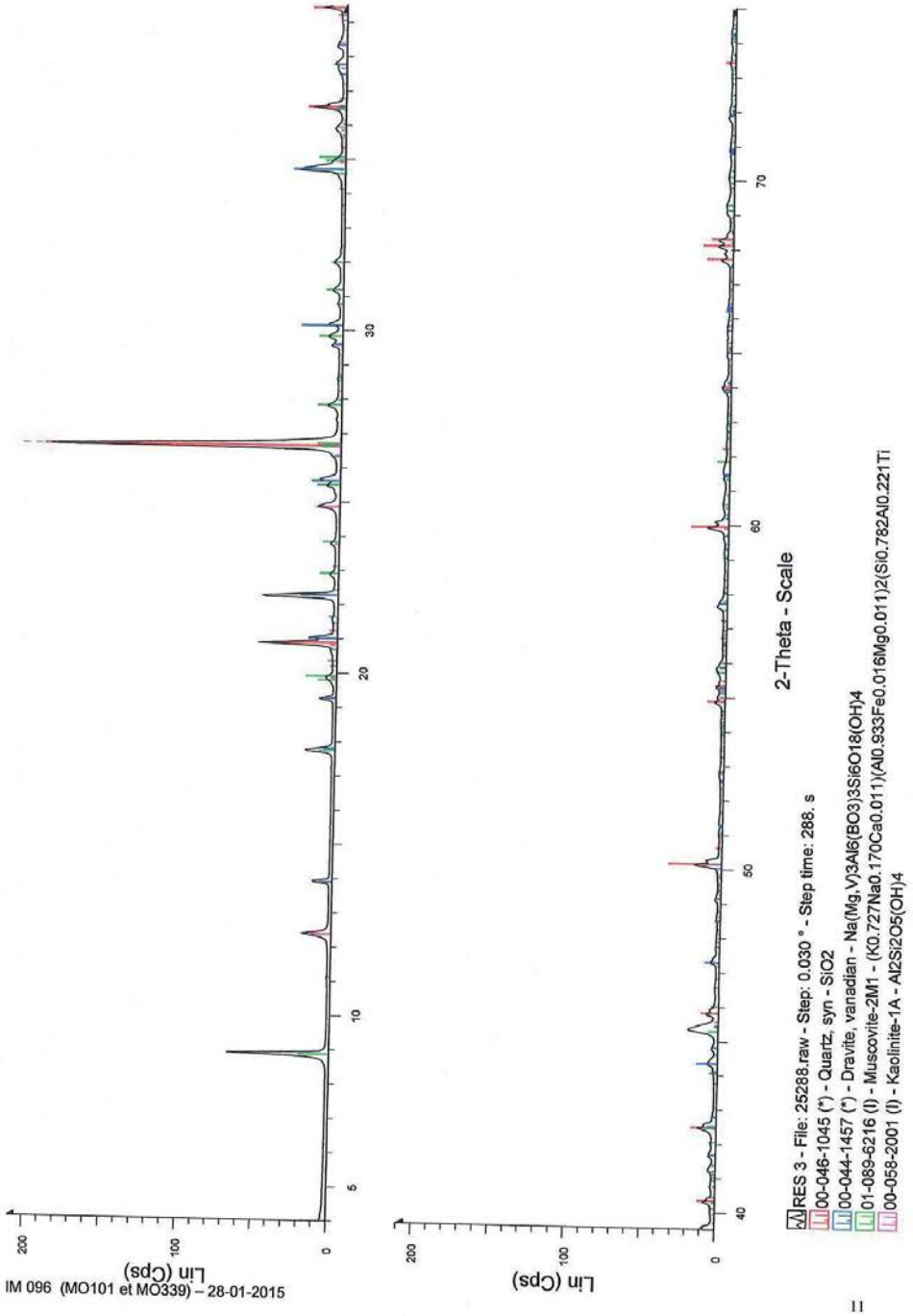


IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015

10

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E

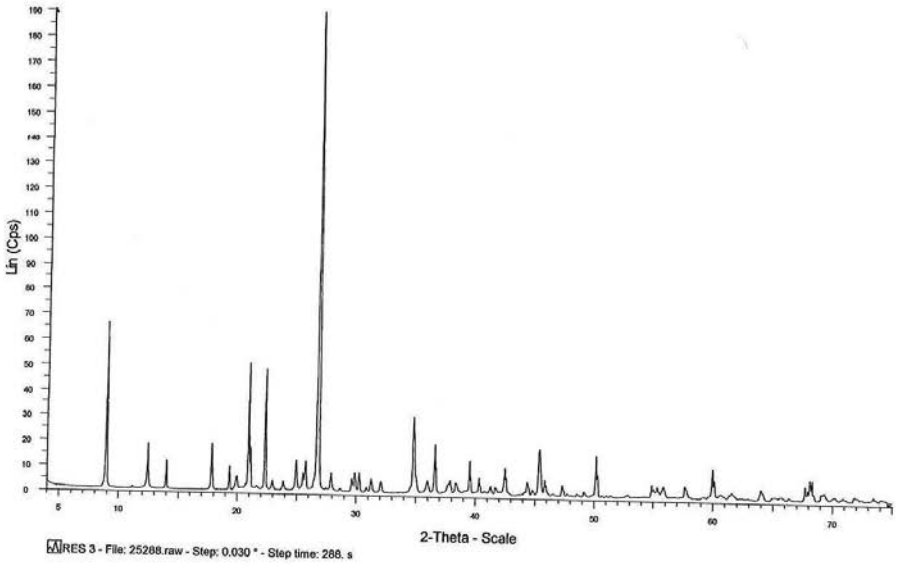


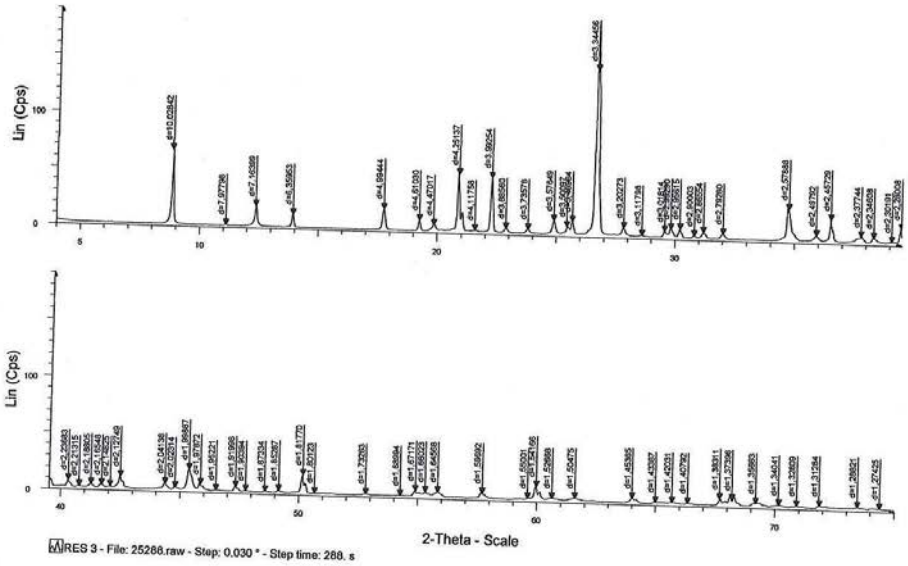
IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015

11

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 17-8-002-E





IM 096 (MO101 et MO339) – 28-01-2015

12

Annexe 6

Tableau de résultats des mesures à fluorescence X portable

Nom	lat	lon	Date	Unité	As	As Error	As corrigé	Mo	Mo Error	Pb	Pb Error	Zn	Zn Error	W	W Error	Cu	Cu Error	Ni	Ni Error	Co	Co Error	Fe	Fe Error	Mn	Mn Error	Analyse	Description
2	47,560134	-1,536644	23/08/2016	ppm	197,0	9,2	175,7	<LOD	6,0	9,2	4,5	67,3	9,7	<LOD	22,8	<LOD	15,3	<LOD	28,8	147,2	77,7	17783,1	242,8	148,7	37,7		residus
3	47,560596	-1,536513	23/08/2016	ppm	350,8	13,0	312,8	<LOD	6,5	11,9	5,1	56,1	10,2	<LOD	27,6	<LOD	17,2	<LOD	32,8	<LOD	135,8	21304,8	288,7	168,0	43,2		residus
4	47,561005	-1,536492	23/08/2016	ppm	587,1	16,8	523,5	<LOD	6,6	<LOD	7,6	72,6	11,4	<LOD	28,0	<LOD	17,4	<LOD	33,2	<LOD	153,9	26421,5	326,6	206,2	47,5		residus
5	47,561617	-1,536416	23/08/2016	ppm	312,8	12,8	278,8	<LOD	6,7	13,6	5,5	83,1	12,2	<LOD	30,2	<LOD	17,6	37,6	23,6	<LOD	165,4	30352,4	355,1	222,5	50,1		residus
6	47,561469	-1,535907	23/08/2016	ppm	248,2	11,2	221,3	<LOD	6,5	<LOD	6,8	91,8	12,3	<LOD	28,6	<LOD	17,1	39,4	23,2	<LOD	162,8	30197,7	347,9	206,0	48,5		residus
7	47,561993	-1,535953	23/08/2016	ppm	502,3	16,0	447,9	<LOD	6,8	10,7	5,3	91,7	12,7	<LOD	30,3	<LOD	18,2	48,2	24,6	<LOD	176,8	33848,7	377,2	241,3	52,2	O	residus
8	47,56246	-1,536048	23/08/2016	ppm	505,8	15,9	450,9	<LOD	6,8	14,3	5,5	84,9	12,2	<LOD	31,1	<LOD	18,1	42,3	23,6	<LOD	158,2	28059,3	340,1	235,5	50,2		residus
9	47,562893	-1,536172	23/08/2016	ppm	314,6	12,6	280,5	<LOD	6,5	<LOD	7,2	69,2	11,3	<LOD	28,1	<LOD	16,9	<LOD	34,4	<LOD	157,6	28200,0	339,0	170,7	46,4		residus
10	47,56337	-1,536196	23/08/2016	ppm	164,2	9,7	146,4	<LOD	6,7	8,3	5,1	103,4	13,4	<LOD	31,4	<LOD	16,4	50,2	25,0	<LOD	188,7	38235,7	402,1	281,6	55,6		res_humus
11	47,563266	-1,536691	23/08/2016	ppm	346,4	13,7	308,8	<LOD	6,8	14,9	5,7	110,8	13,8	<LOD	30,8	<LOD	17,5	<LOD	36,1	<LOD	189,4	37971,5	404,3	182,7	50,8		residus
12	47,563771	-1,536756	23/08/2016	ppm	103,0	7,8	91,9	<LOD	6,8	20,8	5,5	39,8	8,8	<LOD	26,1	<LOD	16,3	<LOD	30,1	<LOD	100,4	12593,7	214,6	192,3	40,9		res_humus
13	47,564314	-1,53686	23/08/2016	ppm	47,1	6,4	42,0	<LOD	6,6	26,3	6,0	41,9	9,1	<LOD	28,1	<LOD	16,9	<LOD	31,2	<LOD	106,5	13690,9	226,3	144,7	39,5		sol
14	47,565068	-1,537622	23/08/2016	ppm	1529,4	26,3	1363,6	14,45	4,6	27,9	6,3	37,3	9,7	<LOD	26,5	18,7	12,4	<LOD	33,5	<LOD	175,4	36077,1	372,9	184,0	47,5		res_humus
15	47,564662	-1,537763	23/08/2016	ppm	433,2	13,7	386,2	<LOD	6,1	9,1	4,5	<LOD	9,6	<LOD	24,3	39,4	12,5	<LOD	32,3	<LOD	228,4	69472,4	495,7	88,0	47,3		res_humus
17	47,564225	-1,537783	23/08/2016	ppm	366,9	12,0	327,2	12,66	4,0	18,3	4,8	17,3	7,6	27,5	16,1	53,1	12,1	<LOD	27,4	<LOD	145,9	31343,1	313,4	76,0	35,6		res_humus
18	47,563653	-1,537562	23/08/2016	ppm	601,8	17,5	536,5	<LOD	6,8	14,2	5,5	109,7	13,6	<LOD	29,7	<LOD	17,2	43,1	24,4	<LOD	188,3	39114,6	406,4	250,0	54,4		residus
19	47,563256	-1,537504	23/08/2016	ppm	378,0	14,2	337,0	<LOD	6,7	16,3	5,7	101,7	13,3	<LOD	30,8	<LOD	15,7	<LOD	35,6	<LOD	185,6	37487,4	399,7	223,3	52,3		residus
20	47,562885	-1,536711	23/08/2016	ppm	430,1	14,8	383,4	<LOD	6,7	<LOD	7,8	97,2	12,9	<LOD	28,5	<LOD	16,9	55,9	24,7	<LOD	176,0	33959,6	378,1	233,8	52,3		residus
21	47,562851	-1,53735	23/08/2016	ppm	434,5	15,3	387,4	<LOD	7,0	16,0	5,8	110,8	13,9	<LOD	30,8	<LOD	17,4	<LOD	36,6	<LOD	189,7	37114,3	402,7	229,6	53,6		residus
22	47,562485	-1,537352	23/08/2016	ppm	754,5	19,5	672,7	<LOD	7,1	18,7	6,1	58,4	11,0	<LOD	30,8	<LOD	17,4	36,1	23,9	<LOD	154,4	25391,8	327,0	212,1	48,8		residus
23	47,562514	-1,53676	23/08/2016	ppm	719,6	19,1	641,6	<LOD	6,8	9,2	5,3	87,4	12,7	36,3	21,9	<LOD	16,8	43,3	24,3	<LOD	171,3	31741,3	369,5	209,8	50,9		residus
24	47,562135	-1,536836	23/08/2016	ppm	385,7	14,0	343,9	<LOD	6,8	20,0	5,9	50,9	10,2	<LOD	28,7	<LOD	16,2	38,3	22,8	<LOD	134,7	20286,3	285,7	133,1	42,5		residus
25	47,562134	-1,537336	23/08/2016	ppm	775,8	20,0	691,7	<LOD	7,2	23,8	6,5	71,5	11,8	<LOD	31,0	<LOD	17,6	<LOD	35,5	<LOD	160,6	27274,7	342,4	229,6	51,2		residus
26	47,561731	-1,537322	23/08/2016	ppm	645,4	18,2	575,5	<LOD	7,2	15,6	6,0	66,6	11,5	<LOD	30,0	<LOD	17,7	<LOD	35,6	<LOD	160,4	27900,2	344,3	158,3	47,1		residus
27	47,561242	-1,537293	23/08/2016	ppm	1042,9	23,2	929,8	<LOD	7,0	12,8	5,8	91,1	13,1	<LOD	31,0	<LOD	17,4	<LOD	36,8	<LOD	192,0	38052,3	410,0	258,7	55,9		residus
28	47,560722	-1,537289	23/08/2016	ppm	392,6	14,6	350,0	<LOD	7,0	14,9	5,9	104,8	13,5	<LOD	31,6	<LOD	18,0	38,0	24,8	<LOD	176,1	32087,3	373,3	233,3	52,9		residus
29	47,560314	-1,537304	23/08/2016	ppm	479,5	15,9	427,5	<LOD	6,8	13,6	5,6	95,9	13,0	<LOD	32,3	<LOD	17,7	50,6	25,3	192,7	112,5	29208,5	354,8	192,4	49,8		residus
30	47,559756	-1,537267	23/08/2016	ppm	348,2	13,6	310,4	<LOD	6,8	12,0	5,5	95,7	13,0	<LOD	29,9	<LOD	16,6	53,4	24,6	<LOD	179,0	35464,3	388,0	183,1	50,1		residus
31	47,559646	-1,537768	23/08/2016	ppm	297,3	12,7	265,0	<LOD	6,8	14,2	5,5	91,1	12,8	<LOD	30,7	<LOD	17,7	62,5	25,0	<LOD	180,2	35842,1	389,1	212,3	51,4		residus
32	47,560181	-1,537811	23/08/2016	ppm	702,2	18,9	626,1	<LOD	6,9	15,7	5,8	81,1	12,3	<LOD	31,1	<LOD	17,2	55,3	24,9	<LOD	169,7	30947,9	362,5	251,6	52,8		residus
33	47,560663	-1,537847	23/08/2016	ppm	894,2	21,3	797,3	<LOD	7,3	26,9	6,8	63,7	11,4	<LOD	31,5	<LOD	16,8	<LOD	35,3	<LOD	150,7	24070,1	320,4	224,4	50,4	O	residus
34	47,561092	-1,537811	23/08/2016	ppm	810,5	20,6	722,7	<LOD	7,5	23,1	6,8	46,6	10,6	<LOD	31,9	<LOD	18,3	<LOD	35,3	<LOD	147,7	22370,0	312,2	212,5	49,8		residus
35	47,561578	-1,537826	23/08/2016	ppm	931,7	21,6	830,7	<LOD	7,3	25,3	6,6	50,2	10,5	<LOD	31,9	<LOD	18,5	39,4	23,7	<LOD	136,0	19816,6	289,5	214,1	48,3		residus
36	47,561979	-1,53781	23/08/2016	ppm	225,7	11,5	201,2	10,11	4,8	27,0	6,6	25,3	8,8	<LOD	30,8	<LOD	18,7	<LOD	33,4	<LOD	104,9	11802,2	223,4	110,4	39,1		residus
37	47,562402	-1,537764	23/08/2016	ppm	596,7	17,4	532,0	<LOD	7,0	22,1	6,3	72,7	11,7	<LOD	31,6	<LOD	16,6	43,0	23,9	<LOD	151,8	25096,5	323,9	171,0	46,9		residus
38	47,559663	-1,538323	24/08/2016	ppm	355,5	13,6	317,0	<LOD	6,7	15,9	5,6	83,9	12,3	<LOD	30,6	<LOD	16,9	<LOD	35,7	<LOD	171,3	31968,5	363,5	230,7	50,9		residus
39	47,560135	-1,538389	24/08/2016	ppm	329,1	13,2	293,4	<LOD	6,8	18,2	5,8	91,3	12,5	<LOD	29,9	<LOD	16,2	48,6	23,9	<LOD	170,7	32806,6	367,6	270,8	53,2		residus
40	47,560629	-1,538458	24/08/2016	ppm	99,6	7,7	88,8	<LOD	6,3	11,1	5,0	56,1	10,3	34,6	19,5	<LOD	14,5	<LOD	31,5	<LOD	138,6	22630,7	295,9	150,7	42,7		residus
41	47,56105	-1,538428	24/08/2016	ppm	108,5	8,4	96,7	<LOD	6,9	12,0	5,4	99,4	13,3	<LOD	30,7	<LOD	18,1	<LOD	36,1	<LOD	188,5	37599,2	401,1	253,3	54,6		residus
42	47,561553	-1,538515	24/08/2016	ppm	225,0	11,2	200,6	<LOD	6,7	16,9	5,8	85,4	12,2	<LOD	29,2	<LOD	16,3	<LOD	35,3	<LOD	165,4	29617,4	350,9	186,6	48,3		residus
43	47,561994	-1,538692	24/08/2016	ppm	195,9	10,5	174,6	<LOD	7,1	13,1	5,8	71,3	11,4	<LOD	28,9	<LOD	16,2	<LOD	34,7	<LOD	147,5	23550,4	312,7	222,3	49,3		residus
44	47,562381	-1,538649	24/08/2016	ppm	204,5	11,0	182,3	<LOD	7,0	17,7	6,0	102,0	13,5	<LOD	31,7	<LOD	16,5	39,2	25,2	<LOD	191,0	38163,7	406,0	277,0	56,0		residus
45	47,562813	-1,537983	24/08/2016	ppm	422,8	15,0	377,0	<LOD	7,1	16,6	5,9	83,0	12,4	<LOD	30,7	<LOD	16,9	40,0	24,5	<LOD	174,9	32662,4	373,6	257,4	53,0		residus
46	47,563158	-1,53813	24/08/2016	ppm	249,3	11,6	222,3	<LOD	6,7	16,9	5,6	90,0	12,4	<LOD	29,1	<LOD	15,9	<LOD	35,1	<LOD	172,6	32848,2	367,1	185,6	48,8		res_humus
47	47,563539	-1,538222	24/08/2016	ppm	63,1	5,1	56,3	17,35	3,6	<LOD	5,0	18,7	5,9	<LOD	17,6	<LOD	12,0	<LOD	21,2	<LOD	48,9	3504,9	99,3	77,4	25,6		res_humus
48	47,564344	-1,538174	24/08/2016	ppm	47,7	6,6	42,5	<LOD	6,6	26,9	6,1	46,8	9,6	<LOD	27,1	<LOD	18,1	<LOD	31,4	<LOD	117,2	15669,7	247,7	163,8	41,7		res_humus
50	47,565038	-1,538401	24/08/2016	ppm	624,8	18,3	557,1	13,81	5,0	33,1	7,2	60,8	11,2	<LOD	32,0	<LOD	19,5	<LOD	35,6	<LOD	130,2	17670,6	278,5	620,8	67,3		res_humus
52	47,56512	-1,538833	24/08/2016	ppm	25,9	5,2	23,0	<LOD	6,8	16,1	5,1	22,1	7,7	<LOD	26,3	<LOD	15,3	<LOD	30,2	<LOD	99,2	11666,5	206,2	276,2	45,1		sols
53	47,56504	-1,539563	24/08/2016	ppm	62,4	6,6	55,6	<LOD	6,0	36,2	5,8	31,1	7,8	<LOD	23,9	<LOD	14,6	<LOD	26,8	<LOD	102,8	14684,1	217,5	497,9	52,2		sols
54	47,564598	-1,538687	24/08/2016	ppm	84,5	7,4	75,3	<LOD	6,7	21,0	5,6	49,4	9,7	<LOD	26,6	<LOD	16,5	38,2	22,1	<LOD	136,9	22190,0	289,5	386,2	53,7		sols
55	47,564715	-1,539518	24/08/2016	ppm	61,0	6,5	54,4	<LOD	6,9	13,9	5,2	43,5	9,4	<LOD	27,4	<LOD	16,7	<LOD	31,6	<LOD	131,0	20292,7	277,0	203,0	44,5		sols
56	47,563856	-1,539651	24/08/2016	ppm	479,0	15,4	427,1	<LOD	6,9	9,9	5,2	93,8	12,5	<LOD	30,0	<LOD	17,5	<LOD	35,0	<LOD	161,6	28537,0	341,6	343,0	55,4		residus
57	47,564055	-1,538853	24/08/2016	ppm	120,4	7,1	107,4	18,42	3,9	9,7	4,2	53,0	8,5	<LOD	21,3	168,7	15,9	<LOD	24,7	124,8	56,9	10303,3	174,7	155,1	33,7		residus
58	47,563701	-1,538727	24/08/2016	ppm	1213,5	24,6	1082,0	<LOD	6,9	16,9	5,9	95,8	12,9	<LOD	29,7	<LOD	15,6	<LOD	35,3	<LOD	172,3	31343,0	365,4	256,5	53,3		residus
59	47,563645	-1,539453	24/08/2016	ppm	706,7	19,4	630,1	<LOD	7,2	10,6	5,7	90,1	13,1	<LOD	31,7	<LOD	19,6	<LOD	38,3	214,1	127,3	36428,5	402,7	196,0	52,3		residus
60	47,563211	-1,539567	24/08/2016	ppm	1263,0	24,8	1126,1	<LOD	7,1	24,6	6,5	48,8	10,4	<LOD	30,6	<LOD	17,2	<LOD	33,5	212,3	97,6	22104,6	303,9	196,3	47,3	O	residus
61	47,563266	-1,538834	24/08/2016	ppm	1275,9	25,2	1137,6	<LOD	7,3	27,2	6,8	59,1	11,1	<LOD	31,0	<LOD	17,5	40,0	23,8	<LOD	147,3	23373,1	315,6	207,0	48,7		residus
62	47,562836	-1,538842	24/08/2016	ppm	400,3	14,5	356,9	<LOD	7,2	19,7	6,2	65,9	11,4	37,3	21,3	<LOD	17,4	<LOD	34,8	<LOD	149,4	24477,4	320,4	215,8	49,3		residus
63	47,56282	-1,539492	24/08/2016	ppm	524,5	16,1	467,6	<LOD	7,0	24,4	6,3	47,6	10,0	<LOD	29,2	<LOD	16,2	<LOD	32,7	<LOD	136,1	20544,8	287,3	183,6	45,2		residus
64	47,562312	-1,539477	24/08/2016	ppm	134,1	9,1	119,6	<LOD	7,0	13,1	5,5	89,9	12,6	<LOD	30,3	<LOD	17,2	45,2	24,3	<LOD	169,0	30890,1	360,7	211,6	50,3		residus

Nom	lat	lon	Date	Unité	As	As Error	As corrigé	Mo	Mo Error	Pb	Pb Error	Zn	Zn Error	W	W Error	Cu	Cu Error	Ni	Ni Error	Co	Co Error	Fe	Fe Error	Mn	Mn Error	Analyse	Description
65	47,561931	-1,539269	24/08/2016	ppm	892,5	21,3	795,7	<LOD	7,4	37,7	7,6	43,1	10,2	<LOD	31,7	<LOD	17,9	47,0	24,2	<LOD	143,2	21862,1	303,8	212,9	48,6		residus
66	47,561486	-1,53937	24/08/2016	ppm	329,2	13,1	293,5	<LOD	7,0	15,3	5,7	65,0	11,2	<LOD	30,5	<LOD	17,8	<LOD	33,9	<LOD	151,5	25392,7	323,7	185,2	46,8		residus
67	47,560969	-1,539284	24/08/2016	ppm	256,4	12,1	228,6	<LOD	6,9	19,8	6,1	93,8	12,9	<LOD	30,7	<LOD	17,3	<LOD	36,2	<LOD	173,7	31541,6	367,4	213,1	50,8	O	residus
68	47,560461	-1,539202	24/08/2016	ppm	133,9	8,8	119,4	<LOD	6,6	<LOD	7,6	90,8	12,4	<LOD	29,1	<LOD	16,5	<LOD	35,5	<LOD	164,3	29057,1	346,5	165,7	46,8		residus
69	47,560153	-1,539156	24/08/2016	ppm	132,7	8,6	118,3	<LOD	6,4	9,7	4,8	73,8	11,2	<LOD	26,7	<LOD	15,7	35,6	22,1	<LOD	151,3	27216,8	326,6	170,3	45,3		residus
70	47,559751	-1,539169	24/08/2016	ppm	104,4	7,8	93,1	<LOD	6,3	<LOD	6,8	71,8	11,3	<LOD	28,3	<LOD	15,9	46,7	22,6	<LOD	147,9	25818,5	324,1	153,3	44,5		residus
71	47,559651	-1,539813	24/08/2016	ppm	287,5	12,3	256,4	<LOD	6,8	10,5	5,3	74,8	11,7	<LOD	29,5	<LOD	17,7	54,6	23,9	<LOD	158,8	28427,1	342,6	215,3	49,4		residus
72	47,560021	-1,539739	24/08/2016	ppm	176,0	10,0	156,9	<LOD	6,7	13,2	5,5	71,7	11,4	<LOD	30,2	<LOD	17,2	<LOD	34,0	<LOD	147,2	23469,4	309,6	212,4	47,9		residus
73	47,560046	-1,54045	24/08/2016	ppm	132,5	8,4	118,1	<LOD	6,2	7,5	4,7	53,9	10,0	<LOD	26,5	<LOD	16,0	34,4	21,4	<LOD	129,2	20300,2	279,1	176,1	43,3		residus
74	47,559663	-1,540461	24/08/2016	ppm	51,9	6,1	46,2	<LOD	6,4	8,4	4,9	41,1	9,4	<LOD	28,1	<LOD	14,9	<LOD	32,2	<LOD	128,7	18917,6	273,0	149,6	42,2		residus
75	47,559587	-1,541092	24/08/2016	ppm	38,6	5,7	34,4	<LOD	6,5	8,2	4,9	72,5	11,3	<LOD	29,1	<LOD	16,3	47,1	22,7	<LOD	143,5	24363,1	311,6	151,3	43,8		sols
76	47,560019	-1,541107	24/08/2016	ppm	202,4	10,4	180,5	<LOD	6,7	<LOD	7,3	82,9	11,9	<LOD	27,6	<LOD	16,1	57,3	23,8	<LOD	153,1	26515,8	330,3	200,2	48,1		residus
77	47,560474	-1,541098	24/08/2016	ppm	135,1	9,1	120,5	<LOD	6,8	20,0	5,8	74,8	11,5	<LOD	29,1	<LOD	16,9	37,6	23,1	<LOD	149,3	24858,3	317,2	176,5	46,2		residus
78	47,560886	-1,541131	24/08/2016	ppm	116,8	8,5	104,1	<LOD	6,7	12,3	5,3	94,5	12,5	<LOD	29,7	<LOD	16,0	35,9	23,5	<LOD	159,9	28105,5	339,5	228,8	49,7	O	residus
79	47,561262	-1,541243	24/08/2016	ppm	199,6	10,2	177,9	<LOD	6,6	9,6	5,2	60,7	10,5	<LOD	27,7	<LOD	16,1	42,1	22,3	<LOD	130,5	19964,6	281,3	175,0	44,4		residus
80	47,561783	-1,541488	24/08/2016	ppm	93,9	7,7	83,8	<LOD	6,7	17,3	5,4	33,9	9,2	29,8	19,4	<LOD	16,4	<LOD	32,9	<LOD	141,1	23443,6	303,4	208,2	46,8		residus
81	47,561318	-1,540599	24/08/2016	ppm	214,5	11,1	191,3	<LOD	7,0	21,4	6,2	71,9	11,5	<LOD	28,4	<LOD	16,7	<LOD	34,3	<LOD	146,8	23071,8	310,9	190,2	47,4		residus
82	47,560915	-1,540647	24/08/2016	ppm	239,7	11,5	213,7	<LOD	6,9	13,9	5,7	80,0	12,1	<LOD	30,8	<LOD	15,9	<LOD	35,8	<LOD	164,2	28634,1	347,1	224,1	50,7		residus
83	47,560508	-1,540581	24/08/2016	ppm	362,9	13,9	323,5	<LOD	7,1	21,8	6,2	65,3	11,3	<LOD	29,2	<LOD	17,4	<LOD	34,9	<LOD	153,7	25677,6	327,8	198,5	48,9		residus
84	47,56053	-1,539947	24/08/2016	ppm	391,9	14,3	349,4	<LOD	7,0	22,7	6,2	68,0	11,3	<LOD	29,4	<LOD	16,2	41,0	23,4	<LOD	155,6	27120,9	333,6	196,2	48,1		residus
85	47,56095	-1,539981	24/08/2016	ppm	152,3	9,4	135,8	<LOD	6,5	16,5	5,6	84,2	11,9	<LOD	28,8	<LOD	16,3	<LOD	33,3	<LOD	154,7	26823,0	329,1	187,0	46,2		residus
86	47,561414	-1,540052	24/08/2016	ppm	142,3	9,3	126,8	<LOD	7,1	18,5	6,0	51,1	10,3	<LOD	30,2	<LOD	17,5	58,5	23,9	<LOD	131,5	18939,4	279,3	160,8	44,1		residus
87	47,561806	-1,540135	24/08/2016	ppm	93,8	7,7	83,6	<LOD	6,6	13,6	5,4	56,6	10,4	<LOD	27,8	<LOD	15,7	<LOD	33,3	<LOD	140,8	22765,4	301,9	169,7	44,7		residus
88	47,561758	-1,540694	24/08/2016	ppm	172,1	9,8	153,4	<LOD	6,6	12,0	5,3	81,0	12,0	<LOD	29,0	<LOD	17,4	<LOD	33,9	<LOD	165,8	30430,4	352,2	197,3	48,8		residus
89	47,562186	-1,540165	24/08/2016	ppm	96,6	7,7	86,1	<LOD	6,3	10,1	5,0	73,5	11,3	<LOD	28,2	<LOD	15,2	52,2	23,2	<LOD	146,7	24798,9	314,5	157,9	44,3		residus
90	47,562183	-1,540762	24/08/2016	ppm	301,0	12,6	268,4	<LOD	6,8	11,8	5,8	73,5	11,5	<LOD	29,1	<LOD	17,0	<LOD	34,5	<LOD	155,7	26674,5	330,6	197,8	47,6		residus
91	47,562219	-1,541302	24/08/2016	ppm	287,0	12,4	255,9	<LOD	6,9	<LOD	7,8	87,0	12,4	<LOD	27,8	<LOD	17,6	<LOD	36,2	<LOD	171,0	31247,0	363,1	214,2	50,6		residus
92	47,562686	-1,541395	24/08/2016	ppm	279,5	12,1	249,2	<LOD	7,0	12,9	5,5	51,8	10,3	<LOD	28,9	<LOD	16,0	45,0	23,0	<LOD	141,0	22754,8	304,2	117,5	42,2		residus
93	47,562723	-1,540735	24/08/2016	ppm	350,5	13,7	312,5	<LOD	7,0	20,3	6,0	71,4	11,7	<LOD	31,1	<LOD	17,4	<LOD	34,9	<LOD	159,9	27518,6	339,3	182,8	48,0		residus
94	47,562718	-1,540145	24/08/2016	ppm	365,9	14,2	326,2	25	5,0	23,5	6,2	96,1	13,1	<LOD	31,7	<LOD	18,2	<LOD	35,7	<LOD	177,7	33334,3	378,3	155,4	48,3		residus
95	47,563096	-1,540172	24/08/2016	ppm	702,2	18,9	626,1	22,61	5,0	14,1	5,8	75,3	11,9	<LOD	30,2	<LOD	16,6	<LOD	36,2	<LOD	162,2	27365,8	341,7	214,6	50,1		residus
96	47,563126	-1,54079	24/08/2016	ppm	531,5	16,6	473,9	<LOD	7,1	23,2	6,4	70,6	11,7	<LOD	31,1	<LOD	16,3	47,6	24,4	<LOD	161,6	27952,6	343,7	247,4	52,0		residus
97	47,563671	-1,540119	24/08/2016	ppm	256,8	12,0	229,0	<LOD	6,8	17,3	5,8	95,7	12,9	<LOD	29,9	<LOD	16,3	36,3	24,0	<LOD	176,0	33717,2	377,3	235,7	52,3		residus
98	47,563646	-1,540802	24/08/2016	ppm	538,5	16,9	480,2	<LOD	7,1	11,8	5,6	101,5	13,5	<LOD	32,5	<LOD	17,8	54,1	25,5	<LOD	185,7	36110,8	397,2	261,2	55,3		residus
99	47,563607	-1,541368	24/08/2016	ppm	509,9	16,4	454,6	<LOD	7,0	12,9	5,7	95,2	13,1	<LOD	30,5	<LOD	17,5	<LOD	35,8	<LOD	185,3	35946,6	394,3	257,6	54,8		residus
100	47,563092	-1,541496	24/08/2016	ppm	411,8	14,8	367,1	<LOD	7,0	15,3	5,9	78,2	12,0	<LOD	30,9	<LOD	16,6	<LOD	35,6	<LOD	158,6	26565,9	336,3	239,3	51,1		residus
101	47,559558	-1,541675	24/08/2016	ppm	270,8	11,9	241,4	<LOD	6,6	11,7	5,3	64,3	11,0	<LOD	29,1	<LOD	16,4	46,2	23,4	<LOD	148,1	24311,0	314,9	162,1	45,2		sols
102	47,56011	-1,541825	24/08/2016	ppm	201,7	10,2	179,8	<LOD	6,3	10,1	5,0	61,4	10,5	<LOD	28,6	<LOD	15,2	39,4	22,2	<LOD	132,6	20480,1	284,2	182,1	44,1		steriles
103	47,560519	-1,541754	24/08/2016	ppm	209,3	10,5	186,6	<LOD	6,6	12,7	5,4	66,8	11,0	<LOD	28,4	<LOD	16,1	34,4	22,5	<LOD	144,7	23835,4	308,3	163,3	44,3		steriles
104	47,56089	-1,541775	24/08/2016	ppm	59,0	6,9	52,6	<LOD	6,8	15,6	5,6	106,2	13,4	<LOD	31,1	<LOD	16,9	<LOD	34,9	<LOD	176,6	33458,4	374,7	251,6	53,0		steriles
105	47,561249	-1,542023	24/08/2016	ppm	57,3	6,4	51,1	<LOD	6,5	19,8	5,4	<LOD	10,1	34,0	18,1	<LOD	14,1	<LOD	29,2	<LOD	79,7	7420,8	164,3	<LOD	40,1		steriles
106	47,561769	-1,541894	24/08/2016	ppm	174,9	10,3	156,0	<LOD	6,8	32,8	6,7	50,5	10,2	32,3	20,1	<LOD	14,9	<LOD	33,0	<LOD	135,3	20201,5	285,9	197,0	46,4		steriles
107	47,562267	-1,541818	24/08/2016	ppm	185,3	9,6	165,2	<LOD	6,1	7,1	4,7	31,3	8,6	<LOD	26,2	<LOD	15,4	<LOD	30,8	<LOD	121,8	17805,6	260,2	127,9	40,3		residus
108	47,562654	-1,542033	24/08/2016	ppm	434,9	14,3	387,7	<LOD	6,3	<LOD	6,6	47,8	10,0	<LOD	28,4	<LOD	17,9	<LOD	32,7	<LOD	144,6	24551,8	311,2	160,8	43,8		residus
109	47,563151	-1,542023	24/08/2016	ppm	29,3	5,1	26,1	<LOD	6,0	9,2	4,6	52,2	9,7	<LOD	27,4	<LOD	16,1	<LOD	31,5	<LOD	121,3	17760,5	256,8	95,6	36,9		residus
110	47,563602	-1,542227	24/08/2016	ppm	45,0	6,2	40,1	<LOD	6,7	15,0	5,5	63,1	11,0	<LOD	29,9	<LOD	15,7	<LOD	34,0	<LOD	148,3	24256,4	313,6	170,1	45,4		residus
111	47,562667	-1,54237	25/08/2016	ppm	72,5	6,8	64,6	<LOD	6,4	8,2	4,8	61,8	10,6	<LOD	27,7	<LOD	15,9	43,5	22,2	<LOD	139,5	23452,2	302,2	149,8	43,4	O	residus
112	47,562672	-1,542769	25/08/2016	ppm	101,3	8,0	90,3	<LOD	6,5	26,8	6,0	29,5	8,5	<LOD	27,7	<LOD	14,8	32,3	20,8	<LOD	109,8	14906,3	236,0	101,2	37,6		steriles
113	47,563174	-1,542744	25/08/2016	ppm	324,8	12,7	289,6	<LOD	6,7	16,0	5,5	67,9	10,8	<LOD	27,3	<LOD	15,2	<LOD	32,9	<LOD	141,9	22806,3	298,4	151,9	43,2		residus
114	47,563605	-1,542767	25/08/2016	ppm	40,7	6,7	36,2	<LOD	6,4	46,7	6,9	<LOD	9,4	<LOD	24,5	<LOD	15,0	<LOD	29,0	<LOD	74,4	6690,6	155,8	83,9	32,7		residus
115	47,564013	-1,542805	25/08/2016	ppm	198,3	10,5	176,8	<LOD	6,8	15,4	5,7	73,3	11,5	<LOD	30,2	<LOD	15,3	<LOD	34,1	<LOD	145,8	23853,2	312,2	152,0	44,9		residus
116	47,564024	-1,54206	25/08/2016	ppm	41,6	6,0	37,1	<LOD	6,5	11,2	5,3	71,5	11,4	<LOD	28,7	<LOD	15,8	<LOD	33,8	<LOD	151,5	25412,0	323,1	186,3	46,8		residus
117	47,564128	-1,541467	25/08/2016	ppm	432,9	14,8	386,0	<LOD	6,5	8,0	4,9	55,4	11,1	<LOD	29,3	<LOD	15,9	<LOD	35,3	<LOD	189,5	39697,0	405,6	114,3	46,2		residus
118	47,564109	-1,540659	25/08/2016	ppm	338,8	13,1	302,1	<LOD	6,6	11,3	5,2	85,6	12,2	<LOD	30,1	<LOD	15,8	35,7	23,3	<LOD	165,0	30451,3	352,6	200,6	48,8		residus
119	47,563898	-1,540068	25/08/2016	ppm	217,3	10,7	193,8	<LOD	6,6	8,6	5,1	69,8	11,3	<LOD	28,9	<LOD	15,6	43,2	22,9	<LOD	155,5	28371,9	337,2	207,5	48,0		residus
120	47,564554	-1,540096	25/08/2016	ppm	69,8	6,6	62,2	<LOD	6,2	19,6	5,1	33,9	8,1	<LOD	23,2	<LOD	14,6	<LOD	28,7	<LOD	109,6	16025,4	233,3	143,5	37,4		res_humus
121	47,564501	-1,541371	25/08/2016	ppm	178,6	9,9	159,2	<LOD	6,6	11,4	5,2	66,9	11,1	<LOD	27,8	<LOD	17,2	<LOD	33,6	<LOD	152,9	26289,6	326,6	149,0	44,6		residus
122	47,564529	-1,540898	25/08/2016	ppm	149,4	8,8	133,2	<LOD	6,4	11,0	4,9	58,8	10,2	<LOD	26,9	<LOD	16,3	36,4	21,7	<LOD	138,4	23083,5	294,6	175,6	43,5		residus
123	47,56501	-1,540692	25/08/2016	ppm	286,6	12,0	255,5	<LOD	6,4	14,8	5,3	39,5	9,5	<LOD	27,3	<LOD	16,9	<LOD	33,2	<LOD	151,2	26499,3	322,4	104,4	40,9		residus
124	47,565038	-1,541413	25/08/2016	ppm	147,5	9,0	131,5	<LOD	6,5	17,0	5,3	57,0	10,2	<LOD	27,5	<LOD	15,3	<LOD	32,9	204,3	97,1	24482,8	304,1	173,8	44,0		sols

Nom	lat	lon	Date	Unité	As	As Error	As corrigé	Mo	Mo Error	Pb	Pb Error	Zn	Zn Error	W	W Error	Cu	Cu Error	Ni	Ni Error	Co	Co Error	Fe	Fe Error	Mn	Mn Error	Analyse	Description
125	47,565459	-1,540941	25/08/2016	ppm	28,9	6,1	25,8	<LOD	6,6	24,3	6,2	55,1	11,0	<LOD	28,4	<LOD	18,0	39,6	24,6	<LOD	186,9	37338,6	395,8	180,0	49,9		sols
126	47,565217	-1,539919	25/08/2016	ppm	39,2	5,6	34,9	<LOD	6,4	13,8	5,0	32,1	8,3	<LOD	24,8	<LOD	15,5	<LOD	30,3	<LOD	112,8	15229,9	236,3	175,3	40,6		sols
127	47,565957	-1,540778	25/08/2016	ppm	37,5	5,5	33,4	<LOD	6,4	11,9	5,0	50,6	9,5	<LOD	25,7	<LOD	15,6	<LOD	29,9	<LOD	117,9	17549,7	252,3	142,6	39,8		res_humus
128	47,565891	-1,541402	25/08/2016	ppm	35,0	5,5	31,2	<LOD	6,6	8,5	4,9	68,8	10,9	<LOD	26,3	<LOD	17,2	38,7	22,8	<LOD	147,2	24676,8	311,9	197,1	45,9		res_humus
129	47,565911	-1,542142	25/08/2016	ppm	595,7	22,3	531,2	<LOD	8,4	18,6	7,1	<LOD	17,8	<LOD	43,7	<LOD	27,4	<LOD	67,0	<LOD	625,0	265157,0	1344,1	<LOD	165,8		res_humus
130	47,56542	-1,54217	25/08/2016	ppm	493,8	18,6	440,3	<LOD	7,7	<LOD	8,6	<LOD	17,0	<LOD	35,9	<LOD	21,8	<LOD	52,7	<LOD	458,6	169437,4	988,1	200,5	87,7		res_humus
131	47,564937	-1,542143	25/08/2016	ppm	512,2	19,2	456,7	<LOD	7,9	<LOD	8,8	<LOD	16,5	<LOD	34,3	<LOD	23,5	<LOD	55,0	<LOD	468,8	172053,8	1008,7	165,0	87,2		residus
134	47,564476	-1,542159	25/08/2016	ppm	43,8	6,0	39,0	<LOD	6,8	<LOD	7,2	68,6	11,5	<LOD	27,7	<LOD	17,7	<LOD	35,3	<LOD	154,9	24866,1	329,7	189,6	48,0		residus
135	47,564403	-1,542957	25/08/2016	ppm	95,6	8,3	85,2	<LOD	7,2	12,6	5,7	68,5	11,9	<LOD	31,6	<LOD	18,3	<LOD	36,6	<LOD	156,2	23776,9	329,4	174,9	48,5		residus
136	47,563985	-1,543372	25/08/2016	ppm	468,1	15,9	417,3	<LOD	6,9	11,3	5,4	54,8	10,8	<LOD	29,1	<LOD	16,3	<LOD	35,6	<LOD	143,1	21270,5	307,8	230,1	50,1		residus
137	47,563612	-1,543828	25/08/2016	ppm	137,5	9,1	122,6	<LOD	6,7	9,4	5,2	59,3	10,8	<LOD	28,7	<LOD	18,0	<LOD	35,1	<LOD	140,1	21099,3	298,8	123,1	42,4		residus
138	47,563602	-1,54321	25/08/2016	ppm	83,4	8,2	74,4	<LOD	7,1	31,7	6,8	36,1	9,4	<LOD	28,8	<LOD	17,9	<LOD	33,9	<LOD	120,7	15049,1	252,4	131,9	41,4		residus
139	47,563046	-1,543231	25/08/2016	ppm	242,8	11,9	216,5	8,61	4,9	16,9	5,9	69,7	11,7	<LOD	29,0	<LOD	18,1	<LOD	34,9	<LOD	154,8	24743,0	330,0	171,3	47,5		residus
140	47,562994	-1,543923	25/08/2016	ppm	115,2	8,5	102,7	<LOD	6,9	10,3	5,3	54,1	10,6	<LOD	29,8	<LOD	16,7	<LOD	33,6	<LOD	135,2	20093,2	293,5	109,8	41,8		residus
141	47,563012	-1,544621	25/08/2016	ppm	67,1	8,1	59,8	<LOD	7,4	34,8	7,1	26,3	9,2	<LOD	31,2	<LOD	19,2	<LOD	35,0	<LOD	121,2	14914,9	259,3	113,7	41,8		residus
142	47,559441	-1,543013	25/08/2016	ppm	265,6	11,3	236,8	<LOD	6,2	9,0	4,8	52,1	9,8	<LOD	25,9	<LOD	15,6	<LOD	31,7	<LOD	126,3	19341,5	271,6	162,5	42,1		residus
143	47,559529	-1,543649	25/08/2016	ppm	160,4	8,3	143,0	<LOD	5,6	<LOD	5,1	11,1	6,5	<LOD	24,3	<LOD	13,6	<LOD	28,0	<LOD	70,3	6338,6	148,8	<LOD	40,6		residus
144	47,55949	-1,544286	25/08/2016	ppm	174,8	9,0	155,9	<LOD	5,8	<LOD	6,1	19,8	7,4	<LOD	25,9	<LOD	13,7	<LOD	28,6	<LOD	84,0	8614,0	176,7	74,4	32,1		residus
145	47,559448	-1,544954	25/08/2016	ppm	706,0	17,6	629,5	<LOD	6,0	<LOD	6,1	35,5	8,7	<LOD	25,8	<LOD	16,5	33,7	21,0	<LOD	106,5	13413,1	225,6	91,6	35,7	O	residus
146	47,559535	-1,545532	25/08/2016	ppm	1156,6	22,5	1031,2	<LOD	6,1	<LOD	6,5	30,6	8,6	<LOD	27,9	<LOD	16,2	39,2	21,4	<LOD	109,4	14177,5	232,7	101,3	36,5		residus
147	47,559966	-1,545558	25/08/2016	ppm	147,3	8,4	131,3	<LOD	6,0	<LOD	5,9	16,9	7,3	<LOD	27,1	<LOD	14,1	32,6	20,2	<LOD	83,6	8319,5	175,7	65,5	31,2		residus
148	47,559929	-1,544998	25/08/2016	ppm	397,6	13,5	354,5	<LOD	6,0	<LOD	6,5	36,6	8,8	<LOD	26,0	<LOD	15,7	<LOD	31,2	<LOD	108,7	14110,6	232,2	120,5	37,8		residus
149	47,559888	-1,544322	25/08/2016	ppm	204,7	10,6	182,5	<LOD	6,7	18,9	5,8	54,3	10,3	<LOD	29,3	<LOD	15,8	41,1	23,1	<LOD	134,4	19751,7	282,5	129,1	41,8		residus
150	47,559956	-1,543839	25/08/2016	ppm	152,5	8,3	136,0	<LOD	5,9	14,7	4,8	46,6	8,6	33,1	17,0	<LOD	15,4	<LOD	27,7	<LOD	92,3	12029,6	197,5	202,8	39,0		residus
151	47,560037	-1,543015	25/08/2016	ppm	83,5	7,6	74,4	<LOD	6,5	28,6	6,2	59,3	10,2	29,9	19,0	<LOD	15,9	<LOD	30,9	<LOD	123,3	18762,8	265,7	174,5	42,6		steriles
152	47,560427	-1,543654	25/08/2016	ppm	229,0	11,6	204,2	<LOD	6,9	18,2	6,2	78,3	12,4	35,3	21,8	<LOD	18,6	<LOD	36,3	<LOD	168,9	30053,4	361,6	221,4	52,1		steriles
153	47,560496	-1,543125	25/08/2016	ppm	171,0	9,3	152,4	<LOD	6,3	18,3	5,4	92,5	11,3	<LOD	25,6	<LOD	15,5	<LOD	30,4	<LOD	121,7	19198,8	262,7	265,9	46,5		steriles
154	47,560948	-1,543298	25/08/2016	ppm	602,3	17,2	537,0	<LOD	6,6	14,2	5,5	38,6	9,6	<LOD	28,8	<LOD	15,6	51,0	23,4	<LOD	138,9	21424,6	297,2	153,6	44,2	O	steriles
155	47,561686	-1,543838	25/08/2016	ppm	298,2	12,7	265,9	<LOD	6,8	13,6	5,7	81,5	12,2	<LOD	30,4	<LOD	17,0	37,6	24,0	<LOD	163,8	28854,4	349,5	192,6	49,1		steriles
156	47,561562	-1,543438	25/08/2016	ppm	430,9	14,9	384,2	<LOD	6,8	24,9	6,2	46,3	10,0	<LOD	29,4	<LOD	16,3	<LOD	34,2	<LOD	128,5	17883,9	270,5	97,2	39,9		steriles
157	47,561322	-1,543825	25/08/2016	ppm	149,5	10,0	133,3	<LOD	6,8	31,5	6,8	30,1	9,1	<LOD	30,7	<LOD	16,4	<LOD	34,8	<LOD	110,2	12464,1	232,2	102,9	39,3		steriles
158	47,560971	-1,543733	25/08/2016	ppm	149,4	10,0	133,2	<LOD	6,9	22,6	6,3	48,8	10,6	<LOD	32,9	<LOD	16,0	40,3	24,9	191,7	90,4	17512,9	280,0	143,2	44,3		steriles
159	47,560271	-1,54438	25/08/2016	ppm	175,9	10,2	156,8	<LOD	6,7	12,0	5,5	49,9	10,5	<LOD	31,3	<LOD	16,5	<LOD	35,2	<LOD	132,5	18278,7	281,4	149,8	44,3		steriles
160	47,559466	-1,542405	25/08/2016	ppm	154,3	9,7	137,6	<LOD	6,7	26,6	6,1	34,8	9,2	<LOD	28,6	<LOD	16,5	36,3	22,6	<LOD	123,5	16734,6	260,2	152,4	42,4		steriles
161	47,560028	-1,542585	25/08/2016	ppm	239,8	11,6	213,8	<LOD	6,9	23,5	6,3	31,4	8,9	<LOD	29,0	<LOD	15,4	37,9	22,4	<LOD	108,3	13143,9	233,4	98,5	38,5		steriles
162	47,560849	-1,545143	25/08/2016	ppm	157,3	9,6	140,2	<LOD	6,6	23,2	6,0	19,2	8,0	<LOD	28,4	<LOD	15,2	<LOD	31,6	<LOD	107,3	13071,2	228,8	107,4	38,9		steriles
163	47,561418	-1,545146	25/08/2016	ppm	301,9	13,2	269,2	<LOD	6,9	28,1	6,8	45,4	10,3	<LOD	31,5	<LOD	16,8	<LOD	35,3	146,8	91,3	18948,6	286,0	145,9	44,1	O	steriles
164	47,561888	-1,545065	25/08/2016	ppm	222,2	11,3	198,1	<LOD	6,8	20,1	6,0	55,9	10,8	<LOD	30,4	<LOD	16,5	<LOD	35,2	151,1	98,4	22583,0	309,9	128,8	44,0		steriles
165	47,562375	-1,544506	25/08/2016	ppm	275,9	12,2	246,0	<LOD	7,0	12,9	5,7	68,1	11,3	<LOD	28,3	<LOD	15,8	<LOD	34,1	<LOD	150,0	24373,1	318,8	222,2	49,1		steriles
166	47,562343	-1,54376	25/08/2016	ppm	63,4	7,0	56,5	<LOD	7,0	13,0	5,6	77,4	11,8	<LOD	28,8	<LOD	17,1	46,6	24,0	<LOD	151,4	24772,5	323,1	187,2	47,8		steriles
167	47,562234	-1,54312	25/08/2016	ppm	87,4	8,1	78,0	<LOD	7,0	28,8	6,5	41,8	9,9	<LOD	30,4	<LOD	15,6	35,6	23,0	<LOD	143,1	22652,4	303,7	179,4	46,2		steriles
168	47,562691	-1,543233	25/08/2016	ppm	93,4	7,9	83,3	<LOD	6,7	25,1	6,0	44,5	9,3	<LOD	26,1	<LOD	15,4	<LOD	31,0	<LOD	108,5	13520,7	228,2	92,6	36,8	O	steriles
169	47,562706	-1,543862	25/08/2016	ppm	86,2	7,8	76,9	<LOD	6,7	22,9	6,0	26,2	8,5	34,9	19,9	<LOD	16,4	<LOD	32,3	<LOD	104,0	11826,3	217,6	100,2	37,6		steriles
170	47,562781	-1,54439	25/08/2016	ppm	422,4	14,9	376,6	<LOD	6,7	14,2	5,7	50,9	10,5	<LOD	29,2	<LOD	17,0	40,1	23,9	<LOD	139,9	20393,4	295,8	143,8	44,3		steriles
171	47,562705	-1,545058	25/08/2016	ppm	184,9	10,3	164,9	<LOD	6,9	11,0	5,5	51,8	10,5	<LOD	30,2	<LOD	16,0	<LOD	34,9	<LOD	135,1	19262,5	286,1	111,4	41,4		residus
172	47,562284	-1,545431	25/08/2016	ppm	232,5	11,8	207,3	<LOD	7,2	12,4	5,8	69,2	12,0	<LOD	31,4	<LOD	17,8	<LOD	36,9	<LOD	162,9	26245,3	346,0	204,4	51,4		steriles
173	47,562037	-1,545791	25/08/2016	ppm	221,9	11,1	197,8	<LOD	6,5	17,9	5,8	56,8	10,6	<LOD	28,7	<LOD	16,2	<LOD	33,3	<LOD	137,4	21093,1	294,7	132,5	43,1		residus
174	47,559574	-1,546174	26/08/2016	ppm	72,2	6,6	64,4	<LOD	5,9	7,1	4,5	23,4	8,0	<LOD	27,5	<LOD	14,2	<LOD	30,6	<LOD	99,4	11927,1	213,0	130,8	37,3		res_humus
176	47,560035	-1,546021	26/08/2016	ppm	277,9	11,9	247,8	<LOD	6,4	7,7	4,9	41,5	9,7	<LOD	28,3	<LOD	17,0	<LOD	33,6	<LOD	132,5	19657,9	283,8	142,0	42,6		res_humus
177	47,560411	-1,546077	26/08/2016	ppm	428,0	14,0	381,6	<LOD	6,3	<LOD	6,9	40,2	9,2	<LOD	27,2	<LOD	15,9	<LOD	32,0	<LOD	117,4	16061,9	248,7	104,4	37,5		residus
178	47,560423	-1,545577	26/08/2016	ppm	217,9	10,8	194,3	<LOD	6,3	<LOD	7,3	36,2	9,4	<LOD	29,6	<LOD	15,8	42,5	23,1	<LOD	124,9	16638,4	263,5	143,6	42,5		residus
179	47,560468	-1,545015	26/08/2016	ppm	551,2	16,5	491,5	<LOD	6,6	8,3	5,0	41,0	9,8	<LOD	28,8	<LOD	15,9	<LOD	34,1	<LOD	142,1	22269,8	303,8	181,5	46,2		residus
181	47,560904	-1,545833	26/08/2016	ppm	129,0	8,2	115,0	<LOD	5,9	7,1	4,5	22,5	7,8	<LOD	25,6	<LOD	15,0	<LOD	30,1	<LOD	96,9	10910,7	203,5	74,0	33,5		steriles
182	47,561402	-1,545811	26/08/2016	ppm	423,7	14,9	377,8	<LOD	6,7	19,3	5,9	62,1	11,0	<LOD	29,0	<LOD	15,9	<LOD	35,0	<LOD	149,5	23430,1	314,9	173,5	46,5		residus
183	47,561483	-1,546303	26/08/2016	ppm	78,2	6,7	69,7	<LOD	6,1	15,4	5,0	29,8	7,9	<LOD	24,3	<LOD	14,3	<LOD	29,3	96,3	64,0	11431,0	199,1	86,1	33,2		sols
184	47,560871	-1,546574	26/08/2016	ppm	53,5	6,3	47,7	<LOD	6,5	13,9	5,1	16,6	7,6	<LOD	27,0	<LOD	16,3	32,9	21,5	<LOD	96,3	10091,5	198,8	66,6	33,7		sols
185	47,559294	-1,544483	26/08/2016	ppm	396,6	13,7	353,6	<LOD	6,5	7,4	4,8	63,9	10,5	<LOD	26,7	<LOD	17,6	<LOD	31,6	<LOD	119,2	16383,1	253,6	308,2	49,6		residus

Annexe 7

Tableaux des valeurs à fluorescence X portable retenues pour chaque zone d'usage identifiée

ZONE 1 :

Nom	lat	lon	Date	Unité	As	As Error	As corrigé	Labo	Description
2	47,560134	-1,536644	23/08/2016 12:16	ppm	197,01	9,24	175,7	N	residus
6	47,561469	-1,535907	23/08/2016 12:48	ppm	248,21	11,17	221,3	N	residus
10	47,56337	-1,536196	23/08/2016 13:15	ppm	164,19	9,72	146,4	N	res_humus
13	47,564314	-1,53686	23/08/2016 13:36	ppm	47,12	6,41	42,0	O	sol
30	47,559756	-1,537267	23/08/2016 15:37	ppm	348,18	13,6	310,4	O	residus
31	47,559646	-1,537768	23/08/2016 16:38	ppm	297,25	12,67	265,0	N	residus
38	47,559663	-1,538323	24/08/2016 08:23	ppm	355,49	13,6	317,0	N	residus
70	47,559751	-1,539169	24/08/2016 12:03	ppm	104,39	7,78	93,1	N	residus
71	47,559651	-1,539813	24/08/2016 14:51	ppm	287,52	12,28	256,4	N	residus
74	47,559663	-1,540461	24/08/2016 15:06	ppm	51,86	6,11	46,2	N	residus
75	47,559587	-1,541092	24/08/2016 15:14	ppm	38,59	5,65	34,4	O	sols
76	47,560019	-1,541107	24/08/2016 15:20	ppm	202,4	10,41	180,5	N	residus
77	47,560474	-1,541098	24/08/2016 15:26	ppm	135,12	9,06	120,5	N	residus
78	47,560886	-1,541131	24/08/2016 15:30	ppm	116,77	8,45	104,1	O	residus
79	47,561262	-1,541243	24/08/2016 15:35	ppm	199,58	10,23	177,9	N	residus
80	47,561783	-1,541488	24/08/2016 15:43	ppm	93,94	7,74	83,8	N	residus
101	47,559558	-1,541675	24/08/2016 18:26	ppm	270,8	11,88	241,4	N	sols
107	47,562267	-1,541818	24/08/2016 19:04	ppm	185,25	9,61	165,2	N	residus
110	47,563602	-1,542227	24/08/2016 19:25	ppm	44,95	6,24	40,1	N	residus
111	47,562667	-1,54237	25/08/2016 08:26	ppm	72,45	6,79	64,6	O	residus
113	47,563174	-1,542744	25/08/2016 08:42	ppm	324,82	12,67	289,6	N	residus
116	47,564024	-1,54206	25/08/2016 09:01	ppm	41,61	6,03	37,1	N	residus
124	47,565038	-1,541413	25/08/2016 10:17	ppm	147,47	8,95	131,5	N	sols
125	47,565459	-1,540941	25/08/2016 10:27	ppm	28,91	6,11	25,8	N	sols
134	47,564476	-1,542159	25/08/2016 11:35	ppm	43,75	6,01	39,0	N	residus
135	47,564403	-1,542957	25/08/2016 11:41	ppm	95,6	8,31	85,2	N	residus
136	47,563985	-1,543372	25/08/2016 11:47	ppm	468,08	15,87	417,3	O	residus
137	47,563612	-1,543828	25/08/2016 11:55	ppm	137,52	9,06	122,6	N	residus
139	47,563046	-1,543231	25/08/2016 12:08	ppm	242,83	11,9	216,5	N	residus
140	47,562994	-1,543923	25/08/2016 12:15	ppm	115,17	8,52	102,7	N	residus
141	47,563012	-1,544621	25/08/2016 12:21	ppm	67,11	8,05	59,8	N	residus
142	47,559441	-1,543013	25/08/2016 14:22	ppm	265,59	11,31	236,8	N	residus
143	47,559529	-1,543649	25/08/2016 14:27	ppm	160,36	8,28	143,0	N	residus
144	47,55949	-1,544286	25/08/2016 14:32	ppm	174,84	8,95	155,9	N	residus
145	47,559448	-1,544954	25/08/2016 14:36	ppm	706,04	17,58	629,5	O	residus
146	47,559535	-1,545532	25/08/2016 14:44	ppm	1156,55	22,46	1031,2	N	residus
153	47,560496	-1,543125	25/08/2016 15:41	ppm	170,95	9,3	152,4	N	steriles
154	47,560948	-1,543298	25/08/2016 15:47	ppm	602,26	17,24	537,0	O	steriles
157	47,561322	-1,543825	25/08/2016 16:19	ppm	149,46	9,98	133,3	N	steriles
160	47,559466	-1,542405	25/08/2016 17:25	ppm	154,31	9,65	137,6	N	steriles
161	47,560028	-1,542585	25/08/2016 17:34	ppm	239,78	11,58	213,8	N	steriles
171	47,562705	-1,545058	25/08/2016 19:06	ppm	184,91	10,3	164,9	N	residus
172	47,562284	-1,545431	25/08/2016 19:12	ppm	232,48	11,82	207,3	N	steriles
173	47,562037	-1,545791	25/08/2016 19:18	ppm	221,87	11,08	197,8	N	residus
176	47,560035	-1,546021	26/08/2016 09:11	ppm	277,88	11,94	247,8	N	res_humus
177	47,560411	-1,546077	26/08/2016 09:17	ppm	427,99	14,04	381,6	N	residus
181	47,560904	-1,545833	26/08/2016 09:36	ppm	129,03	8,19	115,0	N	steriles
182	47,561402	-1,545811	26/08/2016 09:43	ppm	423,74	14,92	377,8	N	residus
183	47,561483	-1,546303	26/08/2016 09:51	ppm	78,21	6,73	69,7	N	sols
184	47,560871	-1,546574	26/08/2016 09:58	ppm	53,52	6,3	47,7	N	sols

AIRE PIQUE-NIQUE :

Nom	lat	lon	Date	Unité	As	As Error	As corrigé	Labo	Description
185	47,559294	-1,544483	26/08/2016 10:11	ppm	396,62	13,7	353,6	N	residus

ZONE 2 :

Nom	lat	lon	Date	Unité	As	As Error	As corrigé	Labo	Description
2	47,560134	-1,536644	23/08/2016 12:16	ppm	197,01	9,24	175,7	N	residus
3	47,560596	-1,536513	23/08/2016 12:22	ppm	350,81	13,04	312,8	N	residus
4	47,561005	-1,536492	23/08/2016 12:29	ppm	587,11	16,79	523,5	N	residus
5	47,561617	-1,536416	23/08/2016 12:40	ppm	312,75	12,84	278,8	N	residus
7	47,561993	-1,535953	23/08/2016 12:55	ppm	502,33	15,98	447,9	O	residus
8	47,56246	-1,536048	23/08/2016 13:03	ppm	505,76	15,92	450,9	N	residus
11	47,563266	-1,536691	23/08/2016 13:21	ppm	346,38	13,72	308,8	N	residus
19	47,563256	-1,537504	23/08/2016 14:28	ppm	377,97	14,21	337,0	N	residus
20	47,562885	-1,536711	23/08/2016 14:36	ppm	430,05	14,84	383,4	N	residus
21	47,562851	-1,53735	23/08/2016 14:41	ppm	434,46	15,33	387,4	N	residus
22	47,562485	-1,537352	23/08/2016 14:48	ppm	754,54	19,47	672,7	N	residus
23	47,562514	-1,53676	23/08/2016 14:55	ppm	719,64	19,13	641,6	O	residus
24	47,562135	-1,536836	23/08/2016 15:01	ppm	385,67	13,96	343,9	N	residus
25	47,562134	-1,537336	23/08/2016 15:07	ppm	775,81	20	691,7	N	residus
26	47,561731	-1,537322	23/08/2016 15:13	ppm	645,44	18,16	575,5	N	residus
27	47,561242	-1,537293	23/08/2016 15:19	ppm	1042,9	23,24	929,8	O	residus
28	47,560722	-1,537289	23/08/2016 15:28	ppm	392,58	14,59	350,0	N	residus
29	47,560314	-1,537304	23/08/2016 15:32	ppm	479,47	15,88	427,5	N	residus
30	47,559756	-1,537267	23/08/2016 15:37	ppm	348,18	13,6	310,4	O	residus
31	47,559646	-1,537768	23/08/2016 16:38	ppm	297,25	12,67	265,0	N	residus
32	47,560181	-1,537811	23/08/2016 16:44	ppm	702,19	18,87	626,1	N	residus
33	47,560663	-1,537847	23/08/2016 16:50	ppm	894,24	21,34	797,3	O	residus
34	47,561092	-1,537811	23/08/2016 16:58	ppm	810,53	20,56	722,7	N	residus
35	47,561578	-1,537826	23/08/2016 17:04	ppm	931,72	21,6	830,7	N	residus
36	47,561979	-1,53781	23/08/2016 17:09	ppm	225,66	11,48	201,2	N	residus
37	47,562402	-1,537764	23/08/2016 17:18	ppm	596,72	17,43	532,0	N	residus
38	47,559663	-1,538323	24/08/2016 08:23	ppm	355,49	13,6	317,0	N	residus
39	47,560135	-1,538389	24/08/2016 08:28	ppm	329,05	13,16	293,4	N	residus
40	47,560629	-1,538458	24/08/2016 08:34	ppm	99,61	7,67	88,8	O	residus
41	47,56105	-1,538428	24/08/2016 08:43	ppm	108,49	8,4	96,7	N	residus
42	47,561553	-1,538515	24/08/2016 08:49	ppm	225	11,2	200,6	N	residus
43	47,561994	-1,538692	24/08/2016 08:56	ppm	195,88	10,53	174,6	N	residus
44	47,562381	-1,538649	24/08/2016 09:04	ppm	204,48	11,02	182,3	N	residus
45	47,562813	-1,537983	24/08/2016 09:12	ppm	422,8	14,99	377,0	N	residus
46	47,563158	-1,53813	24/08/2016 09:18	ppm	249,32	11,61	222,3	N	res_humus
56	47,563856	-1,539651	24/08/2016 10:22	ppm	478,99	15,39	427,1	N	residus
58	47,563701	-1,538727	24/08/2016 10:35	ppm	1213,5	24,56	1082,0	O	residus
59	47,563645	-1,539453	24/08/2016 10:46	ppm	706,72	19,35	630,1	N	residus
60	47,563211	-1,539567	24/08/2016 10:51	ppm	1263,01	24,84	1126,1	O	residus
61	47,563266	-1,538834	24/08/2016 10:57	ppm	1275,92	25,24	1137,6	N	residus
62	47,562836	-1,538842	24/08/2016 11:03	ppm	400,32	14,53	356,9	N	residus
63	47,56282	-1,539492	24/08/2016 11:09	ppm	524,45	16,12	467,6	N	residus
64	47,562312	-1,539477	24/08/2016 11:15	ppm	134,1	9,07	119,6	O	residus
65	47,561931	-1,539269	24/08/2016 11:25	ppm	892,45	21,34	795,7	N	residus
66	47,561486	-1,53937	24/08/2016 11:30	ppm	329,16	13,13	293,5	N	residus
67	47,560969	-1,539284	24/08/2016 11:35	ppm	256,42	12,09	228,6	O	residus
68	47,560461	-1,539202	24/08/2016 11:52	ppm	133,91	8,81	119,4	N	residus
69	47,560153	-1,539156	24/08/2016 11:59	ppm	132,68	8,56	118,3	N	residus
70	47,559751	-1,539169	24/08/2016 12:03	ppm	104,39	7,78	93,1	N	residus
71	47,559651	-1,539813	24/08/2016 14:51	ppm	287,52	12,28	256,4	N	residus
72	47,560021	-1,539739	24/08/2016 14:57	ppm	176,01	9,95	156,9	N	residus
73	47,560046	-1,54045	24/08/2016 15:01	ppm	132,48	8,4	118,1	N	residus
74	47,559663	-1,540461	24/08/2016 15:06	ppm	51,86	6,11	46,2	N	residus
77	47,560474	-1,541098	24/08/2016 15:26	ppm	135,12	9,06	120,5	N	residus
78	47,560886	-1,541131	24/08/2016 15:30	ppm	116,77	8,45	104,1	O	residus
79	47,561262	-1,541243	24/08/2016 15:35	ppm	199,58	10,23	177,9	N	residus
81	47,561318	-1,540599	24/08/2016 15:50	ppm	214,52	11,13	191,3	N	residus
82	47,560915	-1,540647	24/08/2016 15:54	ppm	239,69	11,53	213,7	N	residus
83	47,560508	-1,540581	24/08/2016 16:00	ppm	362,88	13,92	323,5	N	residus
84	47,56053	-1,539947	24/08/2016 16:05	ppm	391,89	14,29	349,4	N	residus
85	47,56095	-1,539981	24/08/2016 16:10	ppm	152,31	9,39	135,8	N	residus
86	47,561414	-1,540052	24/08/2016 16:16	ppm	142,26	9,32	126,8	N	residus
87	47,561806	-1,540135	24/08/2016 16:21	ppm	93,82	7,74	83,6	N	residus
88	47,561758	-1,540694	24/08/2016 16:26	ppm	172,05	9,81	153,4	N	residus
89	47,562186	-1,540165	24/08/2016 16:33	ppm	96,56	7,67	86,1	N	residus
90	47,562183	-1,540762	24/08/2016 16:39	ppm	300,99	12,55	268,4	N	residus
91	47,562219	-1,541302	24/08/2016 16:47	ppm	286,98	12,36	255,9	O	residus
92	47,562686	-1,541395	24/08/2016 16:57	ppm	279,48	12,07	249,2	N	residus
93	47,562723	-1,540735	24/08/2016 17:01	ppm	350,51	13,68	312,5	N	residus
94	47,562718	-1,540145	24/08/2016 17:06	ppm	365,91	14,18	326,2	N	residus
95	47,563096	-1,540172	24/08/2016 17:11	ppm	702,17	18,9	626,1	N	residus
96	47,563126	-1,54079	24/08/2016 17:16	ppm	531,51	16,64	473,9	N	residus
97	47,563671	-1,540119	24/08/2016 17:21	ppm	256,8	11,95	229,0	N	residus
98	47,563646	-1,540802	24/08/2016 17:26	ppm	538,54	16,86	480,2	N	residus
99	47,563607	-1,541368	24/08/2016 17:31	ppm	509,92	16,38	454,6	O	residus
100	47,563092	-1,541496	24/08/2016 17:37	ppm	411,75	14,75	367,1	N	residus
119	47,563898	-1,540068	25/08/2016 09:29	ppm	217,31	10,65	193,8	N	residus

ZONE 3 :

Nom	lat	lon	Date	Unité	As	As Error	As corrigé	Labo	Description
116	47,564024	-1,54206	25/08/2016 09:01	ppm	41,61	6,03	37,1	N	residus
155	47,561686	-1,543838	25/08/2016 16:01	ppm	298,24	12,7	265,9	N	steriles
156	47,561562	-1,543438	25/08/2016 16:07	ppm	430,91	14,86	384,2	N	steriles
166	47,562343	-1,54376	25/08/2016 18:22	ppm	63,42	7	56,5	N	steriles
167	47,562234	-1,54312	25/08/2016 18:31	ppm	87,43	8,08	78,0	N	steriles
168	47,562691	-1,543233	25/08/2016 18:40	ppm	93,41	7,87	83,3	O	steriles
169	47,562706	-1,543862	25/08/2016 18:50	ppm	86,21	7,76	76,9	N	steriles
136	47,563985	-1,543372	25/08/2016 11:47	ppm	468,08	15,87	417,3	O	residus
137	47,563612	-1,543828	25/08/2016 11:55	ppm	137,52	9,06	122,6	N	residus
138	47,563602	-1,54321	25/08/2016 12:02	ppm	83,4	8,21	74,4	N	residus
139	47,563046	-1,543231	25/08/2016 12:08	ppm	242,83	11,9	216,5	N	residus
140	47,562994	-1,543923	25/08/2016 12:15	ppm	115,17	8,52	102,7	N	residus
108	47,562654	-1,542033	24/08/2016 19:12	ppm	434,86	14,32	387,7	N	residus
109	47,563151	-1,542023	24/08/2016 19:18	ppm	29,3	5,07	26,1	N	residus
110	47,563602	-1,542227	24/08/2016 19:25	ppm	44,95	6,24	40,1	N	residus
111	47,562667	-1,54237	25/08/2016 08:26	ppm	72,45	6,79	64,6	O	residus
112	47,562672	-1,542769	25/08/2016 08:35	ppm	101,26	8	90,3	N	steriles
113	47,563174	-1,542744	25/08/2016 08:42	ppm	324,82	12,67	289,6	N	residus
114	47,563605	-1,542767	25/08/2016 08:48	ppm	40,65	6,69	36,2	N	residus
115	47,564013	-1,542805	25/08/2016 08:55	ppm	198,25	10,51	176,8	N	residus

ZONE 4 :

Nom	lat	lon	Date	Unité	As	As Error	As corrigé	Labo	Description
157	47,561322	-1,543825	25/08/2016 16:19	ppm	149,46	9,98	133,3	N	steriles
158	47,560971	-1,543733	25/08/2016 16:26	ppm	149,39	9,97	133,2	N	steriles
159	47,560271	-1,54438	25/08/2016 16:38	ppm	175,85	10,18	156,8	N	steriles
162	47,560849	-1,545143	25/08/2016 17:48	ppm	157,3	9,58	140,2	N	steriles
163	47,561418	-1,545146	25/08/2016 17:54	ppm	301,9	13,16	269,2	O	steriles
176	47,560035	-1,546021	26/08/2016 09:11	ppm	277,88	11,94	247,8	N	res_humus
178	47,560423	-1,545577	26/08/2016 09:23	ppm	217,93	10,78	194,3	N	residus
179	47,560468	-1,545015	26/08/2016 09:28	ppm	551,21	16,49	491,5	N	residus
181	47,560904	-1,545833	26/08/2016 09:36	ppm	129,03	8,19	115,0	N	steriles
182	47,561402	-1,545811	26/08/2016 09:43	ppm	423,74	14,92	377,8	N	residus
144	47,55949	-1,544286	25/08/2016 14:32	ppm	174,84	8,95	155,9	N	residus
145	47,559448	-1,544954	25/08/2016 14:36	ppm	706,04	17,58	629,5	O	residus
146	47,559535	-1,545532	25/08/2016 14:44	ppm	1156,55	22,46	1031,2	N	residus
147	47,559966	-1,545558	25/08/2016 14:48	ppm	147,3	8,36	131,3	N	residus
148	47,559929	-1,544998	25/08/2016 14:55	ppm	397,58	13,46	354,5	N	residus
149	47,559888	-1,544322	25/08/2016 15:06	ppm	204,68	10,63	182,5	O	residus
150	47,559956	-1,543839	25/08/2016 15:18	ppm	152,52	8,29	136,0	N	residus
152	47,560427	-1,543654	25/08/2016 15:33	ppm	228,99	11,62	204,2	N	steriles

Annexe 8

Modélisation des émissions de poussières

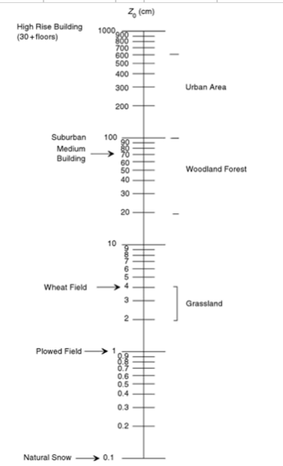
Modélisation de l'émission de poussières par le vent : calcul d'un facteur d'émission particulaire

Sources :

US-EPA, Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites, December 2002.
http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/index.htm
Annexe E

CH2MHILL, Comprehensive Investigation Report and Remedial Alternatives Analysis Swann Park Baltimore, Maryland, document LOC: 4.03.02, October 5, 2007.
http://www.mde.maryland.gov/programs/Marylander/PublicHealthHome/Pages/citizensinfocenter/health/100507_spdocuments.aspx
Annexe F

John E. Till,Helen A. Grogan, Radiological Risk Assessment and Environmental Analysis, 2008, Oxford University Press.



Données à renseigner

Paramètres d'entrée			
ADSM	0,125	Mode de la distribution de taille des agrégats (mm)	spécifique (d'après analyses granulométriques)
Lc	0,01	Fraction de la surface (vue de haut) occupée par des éléments non érodables (diamètre > 1cm) du sol (-)	estimation spécifique au site
z	1000	Hauteur usuelle de mesure de la vitesse du vent (cm)	hauteur de mesure de météofrance
z_0	5	Hauteur de rugosité (cm) (Echelle de rugosité ci-contre)	tabulaires" vers 0,5 et un pole correspondant à la partiepériphérique du site vers 50
V	0,1	Fraction de couverture végétale (-)	estimation spécifique au site
Um	4,12	Vitesse moyenne du vent à la hauteur usuelle de mesure (m/s)	valeur moyenne 1991-2010 mesurée sur la station La-Noé-Blanche (35), située à 30,7 km d'Abbaretz - altitude : 89m
Asite	450000	Surface du site (m²)	spécifique (d'après mesure SIG)

Calcul des caractéristiques anémométriques du site

Entrées

Paramètres d'entrée		
ADSM	0,125	Mode de la distribution de taille des agrégats (mm)
Lc	0,01	Fraction de la surface (vue de haut) occupée par des éléments non érodables (diamètre > 1cm) du sol (-)
u* corrigé / u*	1,5	Facteur de correction de la vitesse limite de friction au niveau du sol (-) (Lecture graphique ci-contre)
z	1000	Hauteur usuelle de mesure de la vistesse du vent (cm)
z_0	5	Hauteur de rugosité (cm)

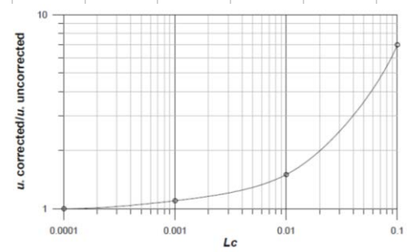


FIGURE A-1.
Threshold Friction Velocity (u*) at Ground Level as a Function of L_c
Adapted from Cowherd, et al., 1985.

Sortie

Etape 1 : calcul de la vitesse limite de friction au niveau de sol

$$u^* = 65.5315\ \mathrm{ADSM}^{0.417673}$$

u* Vitesse limite de friction au niveau du sol (cm/s)

u* = 27,5 cm/s

Etape 2 : correction de la vitesse limite de friction en fonction des éléments non érodables du sol

u* corrigé = 41,2 cm/s

Etape 3 : calcul de la vitesse du vent équivalente à la hauteur usuelle de mesure de la vitesse du vent

$$u_t = \left(\frac{u^*}{0.4}\right)\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

u_t vitesse du vent équivalente à la hauteur usuelle de mesure de la vitesse du vent, correspondant à la vitesse limite de friction (cm/s)

u_t = 546,3 cm/s

Calcul du facteur d'émission particulaire par l'érosion du vent

Entrées

Paramètres d'entrée		
V	0,1	Fraction de couverture végétale (-)
U_m	4,12	Vitesse moyenne du vent à la hauteur usuelle de mesure (m/s)
A site	450000	Surface du site (m²)
A site	111,2	Surface du site (acres)

Variables calculées		
u_t	5,5	Vitesse du vent équivalente à la hauteur usuelle de mesure de la vitesse du vent, correspondant à la vitesse limite de friction (m/s)

Constantes empiriques		
A	16,2302	
B	18,7762	
C	216,108	

Calculs intermédiaires

$$Q/C = A \times \exp\left[\frac{(\ln A_{site} - B)^2}{C}\right]$$

Equation E-4 for long-term dispersion factor for on-site exposure to emissions from wind erosion

Q/C 40,539 Inverse du rapport de la concentration dans l'air (moyenne géométrique sur 1 h) sur le flux d'émission au centre de la source d'émission carrée (g/m²/s per kg/m3)

$$x = 0.886\left(\frac{u_t}{u_m}\right)$$

x = 1,174 (-)

Si x ≥ 2 :

$$F(x) = 0.18\,(8\,x^3 + 12\,x)\exp-(x^2)$$

Si x < 2 :

$$F(x) = 1.91207 - 0.0278085\,x + 0.48113\,x^2 - 1.09871\,x^3 + 0.335341\,x^4$$

F(x) 1,40 Fonction dépendant de U_m/U_t (Cowherd et al., 1985 et Weber et al., 1999) (-)

$$PEF = \frac{Q}{C} \times \frac{3600}{0{,}036 \times (1-V) \times \left(\frac{U_m}{U_t}\right)^3 \times F(x)}$$

(Equation 4-5)

Sortie

PEF Facteur d'émission particulaire chronique (m3/kg)

PEF = 7,47,E+06 m3/kg

Annexe 9

Courrier de l'ARS - Avis sur l'étude d'IEM sur le site du Bois Vert à Abbaretz

Agence Régionale de Santé
Pays de la Loire

DIRECTION DE LA SANTE PUBLIQUE ET ENVIRONNEMENTALE
Département maîtrise des risques en santé
Dossier suivi par : Magalie Hamono
Tél. : 02 49 10 41 40
Mél. : ars-pdl-dpps-dvss-sspe@ars.sante.fr

Le Directeur de la santé publique et environnementale

à

Madame la directrice régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

Nantes, le 05 JUIL. 2018

Objet : Site du "Bois Vert" à Abbaretz – avis sur l'étude d'interprétation de l'état des milieux
Réf. : MH126-SSP-Site du Bois Vert ABBARETZ.docx

Vous sollicitez mon avis sur l'interprétation de l'état des milieux (IEM) relative au site du "Bois Vert" à Abbaretz réalisée par le BRGM.

L'IEM présentée m'apparait proportionnée et les hypothèses d'exposition retenues réalistes. L'étude a été conduite en respectant la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (2017) et la circulaire relative au choix des valeurs toxicologiques de références (2014).

L'étude met en évidence, pour quelques zones, des incompatibilités entre le milieu "sol" et certains des usages recensés sur le site. Elle montre également une incompatibilité entre le milieu "eaux souterraines" et les usages domestique et/ou d'abreuvage pour deux puits privés, et souligne la vulnérabilité du traitement pour un troisième puits privé.

Aussi, les recommandations du BRGM m'apparaissent adaptées :

- restriction d'usage des puits privés impactés et surveillance du puits privé présentant une vulnérabilité ;
- interdiction d'accès du public aux zones du site évaluées comme incompatibles avec les activités actuellement recensées ;
- conservation en mémoire des pollutions et des mesures mises en œuvre ;
- information des usagers des puits privés et des usagers du site ;

La réalisation d'un plan de gestion pourrait permettre de déterminer les mesures de gestion à mettre en œuvre pour maintenir les activités récréatives et sportives sur le site.

Enfin, je recommande également de poursuivre les investigations au droit des anciennes installations de traitement de minerai.

Je reste à votre disposition pour toute information que vous jugeriez nécessaire.

Nicolas DURAND

17 bd Gaston Doumergue - CS 56233
44262 NANTES cedex 2
Tél. 02 49 10 40 00 – Mél. ars-pdl-contact@ars.sante.fr
www.pays-de-la-loire.ars.sante.fr

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