



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Compte rendu d'activités annuel 2022 du DPSM – Région Pays de la Loire

Rapport final

BRGM/RP-72900-FR

Version 0 du 5 juillet 2023

Activités réalisées dans le cadre des missions après-mine opérationnelles
annuelles du DPSM pour le compte de l'État

Girardeau I.

Avec la collaboration de : Guérin V., Hume M., de Lary de Latour L., Piat C.

Vérificateur :

Nom : J.-L. Nédellec

Fonction : Adjoint au chef du DPSM

Date : 04/07/2023

Signature :

Approbateur :

Nom : J.-D. Barnichon

Fonction : Chef du DPSM

Date : 04/07/2022

Signature :

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

Contact : qualite@brgm.fr

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots clés : Gestion opérationnelle technique après-mine, Surveillances, Mise en sécurité, Travaux, Pays de la Loire.

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

Girardeau I. (2023) – Compte rendu d'activités annuel 2022 du DPSM – Région Pays de la Loire. Rapport final V0. BRGM/RP-72900-FR, 33 p., 17 fig., 2 tab., 2 ann.

© BRGM, 2023, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-20/01/2022

Synthèse

Le présent document constitue le rapport annuel d'activités en région Pays de la Loire relatif à la mission après-mine exercée en 2022 par le Département Prévention et Sécurité Minière (DPSM) pour le compte de l'État. Il dresse la synthèse de cette mission et reprend les principales conclusions établies pour chacune des activités concernées.

• Travaux de mise en sécurité

La Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement des Pays de la Loire a missionné l'Unité Territoriale Après-Mine Centre-Ouest (UTAM Centre-Ouest) du Département Prévention et Sécurité Minière (DPSM) du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) pour réaliser des travaux de mise en sécurité après-mine en tant que maître d'ouvrage délégué de l'État.

L'année 2022 a permis de réaliser les travaux suivants sur le site du Bois Vert à Abbaretz (44) :

- concernant la gestion des eaux issues du drainage minier acide :
 - la mise en place et le suivi d'un pilote de traitement,
 - le suivi semestriel des eaux superficielles et souterraines,
 - la sélection d'une maîtrise d'œuvre pour la réalisation d'une piste d'accès et de l'alimentation électrique de la future station de traitement des eaux,
 - le lancement d'une étude hydrogéologique complémentaire ;
- la finalisation d'une étude d'Avant-Projet de gestion de l'érosion des résidus miniers au droit du site.

En 2023, les suivis du pilote de traitement et des eaux superficielles et souterraines seront reconduits ainsi que l'étude hydrogéologique complémentaire. Les travaux de réalisation d'une piste d'accès et d'alimentation électrique de la future station de traitement des eaux seront réalisés. Les différents travaux de gestion de l'érosion des résidus miniers (curage de lagune, végétalisation, stabilisation des ravines, etc.) seront également entrepris.

La mise en sécurité du puits n° 9 sur la concession de Teillay à Soulvache (44) a été mise en attente compte tenu de la recherche en responsabilité de l'ancien exploitant par la DREAL.

Concernant la concession de Saint-Pierre-Montlimart (49), le suivi environnemental post-travaux du site des lagunes a été poursuivi en 2022. Un bilan de la surveillance 2017-2022 sera réalisé et des recommandations seront préconisées pour la poursuite de la surveillance.

• Surveillance d'anciens sites miniers

Au niveau de la cavité sous habitation surveillée à Chazé-Henri (49), la comparaison des prises de vues et des mesures laser faites en 2022 a permis de constater que l'évolution s'est stabilisée en couronne de la cavité et au parement côté nord entre les deux campagnes. Néanmoins, un fluage de fines a été constaté au niveau du parement nord et une nouvelle chute de bloc est perceptible en partie centrale à partir de la concordance des nuages de points 3D. Aucune évolution des fissures suivies sur l'habitation n'a cependant été notée.

À L'Huisserie (53), le recensement des repères des trois réseaux de nivellement a été réalisé en 2022. Un repère manquant dans la zone 3 a été remis en place et un relevé altimétrique de cette zone a été réalisé, sans montrer d'évolution.

La surveillance sera poursuivie en 2023 selon les mêmes modalités qu'en 2022.

- **Études transverses**

Dans le cadre de la gestion des sites miniers, le DPSM étudie des solutions pour stabiliser les résidus miniers sur le long terme à partir de techniques végétales. L'étude de la phytostabilisation des résidus miniers sur le site d'Abbaretz (44), par le suivi de deux parcelles pilotes, s'est poursuivie en 2022 et a montré un bon développement de la végétation sur les deux parcelles, malgré la sécheresse de l'année. Le suivi des parcelles sera poursuivi en 2023.

Dans l'objectif d'améliorer la compréhension des phénomènes de drainage minier acide (DMA), des sondages carottés ont été réalisés sur le site d'Abbaretz (44) avec des analyses d'eaux interstitielles. Ces analyses montrent bien la variabilité des concentrations en fonction des différentes couches de minerai exploitées et des résidus déposés au fur et à mesure de l'exploitation. D'autres tests vont être menés sur ces échantillons afin de mieux comprendre la géochimie des résidus et notamment les teneurs et la stabilité des sulfures présents dans les terrils et à l'origine du DMA.

Sommaire

1. Mission.....	7
2. Budget.....	9
3. Organisation	11
4. Activités	13
4.1. MAÎTRISE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉE DES TRAVAUX DE MISE EN SÉCURITÉ	13
4.1.1. Travaux de mise en sécurité en Loire Atlantique (44).....	13
4.1.2. Travaux de mise en sécurité en Maine-et-Loire (49).....	21
4.2. INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS DE PRÉVENTION ET DE SURVEILLANCE DES RISQUES MINIERES, RELEVANT DES ARTICLES L.174-1 ET L.174-2 DU CODE MINIER.....	22
4.2.1. Surveillance de cavités.....	22
4.2.2. Surveillance des déformations (réseaux de nivellement)	22
4.3. ÉTUDES TRANSVERSES.....	23
4.3.1. Phytostabilisation des résidus miniers.....	23
4.3.2. Étude des résidus miniers	25
5. Gestion de l'information technique.....	27
6. Conclusions et perspectives	29
6.1. BILAN 2022	29
6.1.1. Travaux de mise en sécurité d'anciens sites miniers	29
6.1.2. Surveillance d'anciens sites miniers	29
6.1.3. Études.....	29
6.2. PERSPECTIVES	30

Liste des figures

Figure 1 : Périmètre d'intervention de l'UTAM Centre-Ouest.	11
Figure 2 : Bureaux de l'UTAM Centre-Ouest (BRGM, Orléans).	11
Figure 3 : Photographie aérienne du site du Bois Vert (de nos jours).	13
Figure 4 : Pilote de traitement installé le 18/10/2022 ©BRGM.	15
Figure 5 : Érosion de la piste au pied du terril conique.	16
Figure 6 : Zone humide à traiter pour la création de la piste.	16
Figure 7 : Réseau de forage et esquisse piézométrique (en m NGF) de décembre 2020 (TAUW, 2021)	17
Figure 8 : Suivi de l'érosion au niveau de la ravine nord.	18
Figure 9 : Évolution de l'érosion au sud-est du site, levé 2020 (à gauche) et 2022 (à droite).	19
Figure 10 : Exemple de mesures de lutte contre l'érosion proposée : barrage en enrochement.	19
Figure 11 : Vue aérienne du puits n° 9 de la concession de Teillay (04/11/2021).	20
Figure 12 : Vue des lagunes après les travaux de pérennisation en mai 2022.	21
Figure 13 : Réseaux de nivellement de surface au niveau de l'ancienne mine de l'Huisserie.	23
Figure 14 : Abbaretz - Essais pilote de phytostabilisation : à gauche, sur le terril tabulaire ; à droite, dans la zone du drainage minier acide (juin 2022).	24
Figure 15 : Saint-Pierre-Montlimart (mai 2022) - À gauche, fascines et bionattes végétalisées protégeant le fossé de l'ensablement. À droite, suivi par drones des talus végétalisés et du fossé amont.	24
Figure 16 : pH dans les eaux interstitielles des sondages carottés d'Abbaretz (44).	25
Figure 17 : Profils de concentrations en métaux et métalloïdes au niveau du terril tabulaire est d'Abbaretz (44).	26

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des dépenses liées à l'après-mine en Pays de la Loire en 2022.	9
Tableau 2 : Dynamique de l'érosion des ravines du site du Bois Vert.	18

Liste des annexes

Annexe 1 : Index des acronymes.	31
Annexe 2 : Indicateur de performance.	33

1. Mission

Les dispositions du Code minier confèrent à l'État un large champ de responsabilités, notamment techniques après la fin de l'exploitation. Le BRGM s'est vu confier, par modification de son décret d'organisation administrative et financière¹, la mission de gestion technique des surveillances et travaux dans le cadre de l'arrêt définitif des travaux miniers et des préventions des risques miniers. Le Département Prévention et Sécurité Minière (DPSM) du BRGM a été créé spécifiquement pour cette mission.

C'est pour le compte de l'État que le BRGM opère des installations hydrauliques de sécurité et met en œuvre des équipements de prévention et de surveillance d'anciens sites miniers, appartenant à l'État ou ayant été transférés à ce dernier par les anciens exploitants. De plus, le BRGM fait exécuter les ouvrages et travaux de sécurité que l'État lui demande de réaliser en tant que maître d'ouvrage délégué.

Cette mission a pris effet au 1^{er} mai 2006, avec une montée en charge progressive et géographique jusqu'en 2008, qui s'est accrue avec la prise en charge en :

- 2011 des installations des mines de potasse d'Alsace (MDPA) ;
- 2017 de l'installation de stockage pétrolier souterrain de Gargenville (77) et de la station de traitement des eaux minières de Chessy (69) ;
- 2018 de la station de traitement de Largentière (07) ;
- 2021 de la station de traitement des eaux minières de Bodennec (29) ;
- 2022 de l'installation hydraulique de sécurité du Thoronet (83).

La mission de maîtrise d'ouvrage déléguée a été renouvelée une première fois par décret du 7 juillet 2016, pour une durée de six ans², et une seconde fois par décret du 1er juillet 2022³ pour une durée de six ans³, soit jusqu'au 4 avril 2028.

Le BRGM assure la gestion des activités opérationnelles après-mine issues de tout opérateur minier et toute substance pour le compte de l'État. Cette mission est régie par voie de convention pour les dépenses « d'intervention » et par décision attributive de subvention pour les dépenses de « fonctionnement » avec le Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT).

Les activités techniques couvrent :

- la gestion d'installations hydrauliques de sécurité et de traitement des eaux mises en place par les exploitants miniers qui n'ont pas été reprises par les collectivités locales, après renonciation à concession, et qui ont été transférées à l'État ;
- la surveillance de zones à risques d'instabilité de surface et d'accumulation de gaz dangereux, ou plus généralement présentant des risques pour les biens et les personnes ;

¹ Décret n° 59-1205 du 23 octobre 1959 relatif à l'organisation administrative et financière du BRGM modifié notamment par le décret n° 2006-402 du 4 avril 2006.

² Décret n° 2016-933 du 7 juillet 2016 modifiant le décret n° 59-1205 du 23 octobre 1959 relatif à l'organisation administrative et financière du BRGM.

³ Décret n° 2022-977 du 1er juillet 2022 modifiant le décret n° 59-1205 du 23 octobre 1959 relatif à l'organisation administrative et financière du BRGM.

- la gestion, la remise en état et la surveillance d'installations soumises au code de l'environnement se trouvant sur des sites miniers ;
- la maîtrise d'ouvrage déléguée pour des travaux de mise en sécurité (après sinistre ou non) ou d'implantation ou de démantèlement d'ouvrages de surveillance et de prévention ;
- la suppléance des exploitants miniers défaillants ou disparus, notamment en matière de constitution de dossier technique ;
- l'accompagnement technique consécutif à une procédure d'expropriation ;
- la gestion de l'information (renseignement minier, archives, plans et documentations minières, bases de données et SIG⁴ ;
- l'appui technique aux services de l'État tant pour l'instruction des dossiers relatifs aux dégâts miniers que pour des études techniques ;
- la gestion du patrimoine foncier mis en dotation ;
- la gestion des archives techniques intermédiaires minières nécessaires à l'exercice des missions.

Les listes des installations surveillées au titre des trois premiers items ci-dessus sont publiées annuellement par arrêté interministériel⁵.

Les activités de cette mission après-mine sont couvertes par un financement spécifique sur budget de l'État au sein de la mission « *Écologie, développement et mobilité durables* » du MTECT, programme LOLF181 : « *Prévention des risques* ».

Cette mission fait l'objet d'une comptabilité séparée au sein des budgets et des comptes de l'établissement public BRGM.

⁴ Système d'Information Géographique.

⁵ Arrêté du 3 février 2022 modifiant l'arrêté du 5 octobre 2016 fixant la liste des installations gérées par le BRGM au titre des 9 et 10 de l'article 1^{er} du décret n° 59-1205 du 23 octobre 1959 relatif à l'organisation administrative et financière du Bureau de recherches géologiques et minières.

2. Budget

L'activité du Département Prévention et Sécurité Minière (DPSM) du BRGM est financée par l'État. Les dépenses, dans le cadre des dispositions de la LOLF, s'inscrivent au sein de la mission « *Écologie, développement et mobilité durables* » du Ministère de la Transition Écologique.

Le programme 181 : « *prévention des risques* » comporte quatre actions. L'action n° 11 : « *Gestion de l'après-mine et travaux de mise en sécurité, indemnisations et expropriations sur les sites* » assure le financement des activités confiées au DPSM.

Ces dépenses relèvent des « *dépenses de fonctionnement* » et de deux catégories : « *subventions pour charges de service public* » pour un montant de 23,37 M€ et « *dépenses de fonctionnement autres que celles de personnel* » pour les travaux de mise en sécurité pour un montant de 9,5 M€.

Ces budgets font l'objet en 2022 :

- d'une décision attributive de subvention pour charges de service public n° 2103586832 des 26 janvier et 16 novembre 2022, pour les dépenses de « *fonctionnement* » de 23,37 M€ ;
- d'une convention financière n° 181 SU 2201324608 relative à la gestion de l'après-mine – missions et travaux prescrits par la DGPR et les DREAL, du 28 janvier 2022, convention pluriannuelle dite « *de travaux* » pour les dépenses « *d'intervention* » de 8 M€ ;
- d'une convention financière complémentaire n° 181 SU 2201378006 relative à la gestion de l'après-mine – missions et travaux prescrits par la DGPR et les DREAL, du 12 décembre 2022, convention pluriannuelle dite « *de travaux* » pour les dépenses « *d'intervention* » de 1,5 M€.

En région Pays de la Loire, l'État a consacré en 2022 à l'après-mine, par l'intermédiaire du DPSM, un montant de 209 k€ dont 19 k€ de charges de sous-traitance pour les travaux de mise en sécurité et de remédiation (Tableau 1).

Région	Dépenses 2022 (en k€)		
	Dépenses totales ⁽¹⁾	dont charges externes opérationnelles	
		Fonctionnement ⁽²⁾	Travaux ⁽³⁾
Pays de la Loire	209	9	19

Tableau 1 : Répartition des dépenses liées à l'après-mine en Pays de la Loire en 2022.

(1) Dépenses totales : dépenses comptabilisées comprenant les charges opérationnelles de travaux et de fonctionnement de chaque région ainsi que les charges de fonctionnement (personnel et structure) des Unités Territoriales Après-Mine proratisées sur chaque région en fonction du nombre de journées de l'UTAM consacrées à ces régions.

(2) Charges opérationnelles externes de surveillance comptabilisées dans chaque région (hors charges inter régions).

(3) Charges opérationnelles externes de travaux TTC comptabilisées dans chaque région.

3. Organisation

L'Unité Territoriale Après-Mine (UTAM) Centre-Ouest du DPSM est constituée d'une douzaine d'agents (techniciens et ingénieurs de surveillance, de travaux et d'étude, ainsi que personnel administratif). Son périmètre d'intervention s'étend sur huit régions métropolitaines : Auvergne-Rhône-Alpes, Bretagne, Centre-Val de Loire, Île-de-France, Pays de la Loire, Normandie et Nouvelle-Aquitaine (Figure 1, en vert).

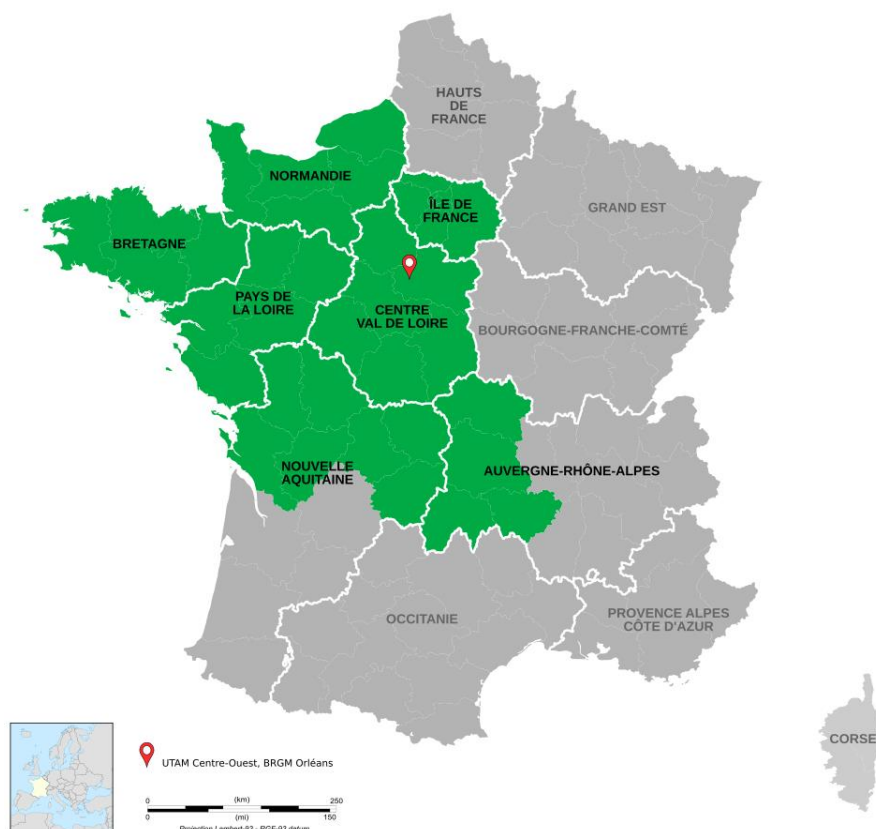


Figure 1 : Périmètre d'intervention de l'UTAM Centre-Ouest.

L'UTAM Centre-Ouest est implantée à Orléans, au centre scientifique et technique et siège social du BRGM (Figure 1 et Figure 2).



Figure 2 : Bureaux de l'UTAM Centre-Ouest (BRGM, Orléans).

4. Activités

4.1. MAÎTRISE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉE DES TRAVAUX DE MISE EN SÉCURITÉ

4.1.1. Travaux de mise en sécurité en Loire Atlantique (44)

a) *Traitement passif des effluents (étape 2) sur le site du Bois Vert à Abbaretz*

L'exploitation principale de la concession minière d'Abbaretz (mines d'étain) a été réalisée à ciel ouvert sur le site du Bois Vert à l'ouest du bourg d'Abbaretz à partir de 1952. À ce jour, l'ancienne exploitation à ciel ouvert s'est remplie d'eau (lac de la Mine situé au sud du site) et le site du Bois Vert comprend des terrils de stériles et de résidus miniers couvrant une superficie de 50 ha environ (Figure 3). Ces résidus, soumis aux eaux météoriques, génèrent un Drainage Minier Acide (DMA) qui engendre des écoulements d'eaux acides et chargées en métaux sur le site.

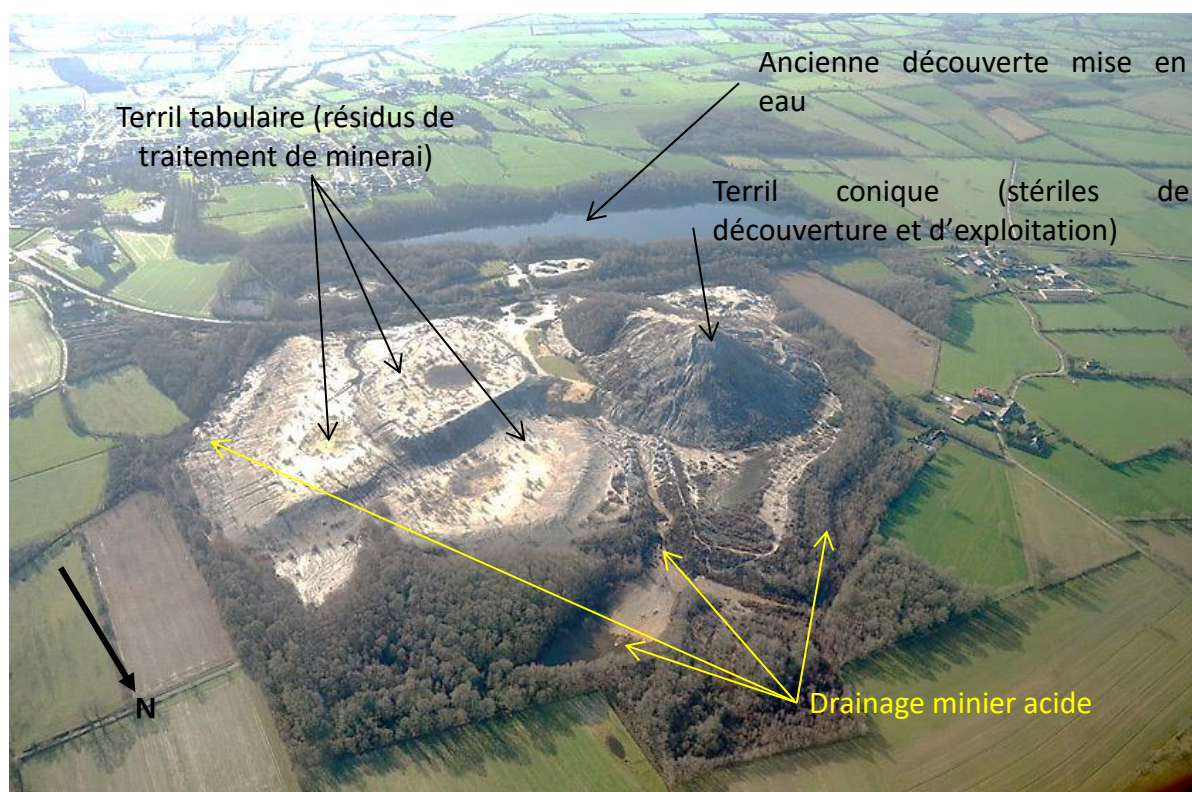


Figure 3 : Photographie aérienne du site du Bois Vert (de nos jours).

Les études environnementales, menées par GEODERIS et le BRGM (de 2008 à 2010), ont mis en évidence la présence de ce DMA au pied des terrils dont l'impact s'étend jusqu'au réseau hydrographique en aval du site.

Dans sa saisine du 28 février 2011, la DREAL a chargé le DPSM de mettre en place un système de traitement passif des eaux issues de ce drainage minier acide. Après une mission de maîtrise d'œuvre non satisfaisante, le plan de gestion pour la maîtrise de ce DMA a été directement réalisé par le DPSM et remis à la DREAL en 2015.

Le plan de gestion comprend trois étapes successives :

- Étape 1 : Collecte des flux du DMA par la réalisation de fossés et d'un bassin de rétention des fines afin de créer un point de rejet unique. Cette étape est précédée par la réalisation d'un état initial de la qualité des eaux transitant au droit du site ;
- Étape 2 : Suivi pendant un an pour caractériser le flux collecté (débit, concentrations, variations saisonnières, etc.), définir et dimensionner le dispositif de traitement des eaux le plus passif possible ;
- Étape 3 : Construction du dispositif de traitement des eaux avant rejet dans le milieu naturel.

La première étape a été réalisée en 2017. Le DPSM a réalisé un suivi mensuel de la qualité des eaux entre décembre 2018 et novembre 2019, suivi qui se poursuit sur une base semestrielle depuis 2021 au niveau de 16 points (8 sur site et 8 hors site).

Le site a par ailleurs été équipé d'un débitmètre en juillet 2017 puis d'un pluviomètre à télétransmission en juillet 2019 qui permettent l'étude des débits futurs à traiter et de la réactivité du site aux événements pluviométriques. Ces données seront utiles pour dimensionner la station et notamment un éventuel bassin tampon.

Un Plan de Conception de Travaux (PCT), dont l'objectif était : *i)* de compléter le dispositif de suivi de la qualité des milieux de l'étape 2, par la réalisation de piézomètres notamment, et *ii)* de réaliser des essais de traitabilité à l'échelle laboratoire, mais aussi *iii)* via un bilan coûts-avantages, de définir la solution de traitement la plus adaptée au site, a été finalisé fin 2021.

Le bilan coûts-avantages a démontré que la technique à privilégier serait un traitement passif basique type substrat alcalin dispersé (drain de traitement mixte à copeaux de bois et calcaire), mais que ce procédé devait être testé dans les conditions du site avant sa mise en œuvre à l'échelle 1. Le test pilote doit permettre d'acquérir les éléments nécessaires au dimensionnement de la future station (temps de séjour, colmatage, etc.).

Ce pilote a été mis en place le 18 octobre 2022. Il a nécessité la création d'une plateforme grillagée pour éviter les intrusions, et la mise en place d'un local technique (type chalet de jardin) et d'une alimentation par panneaux solaires (Figure 4). Le suivi du pilote a démarré le 24 octobre 2022 de manière hebdomadaire pour une durée d'un an minimum.

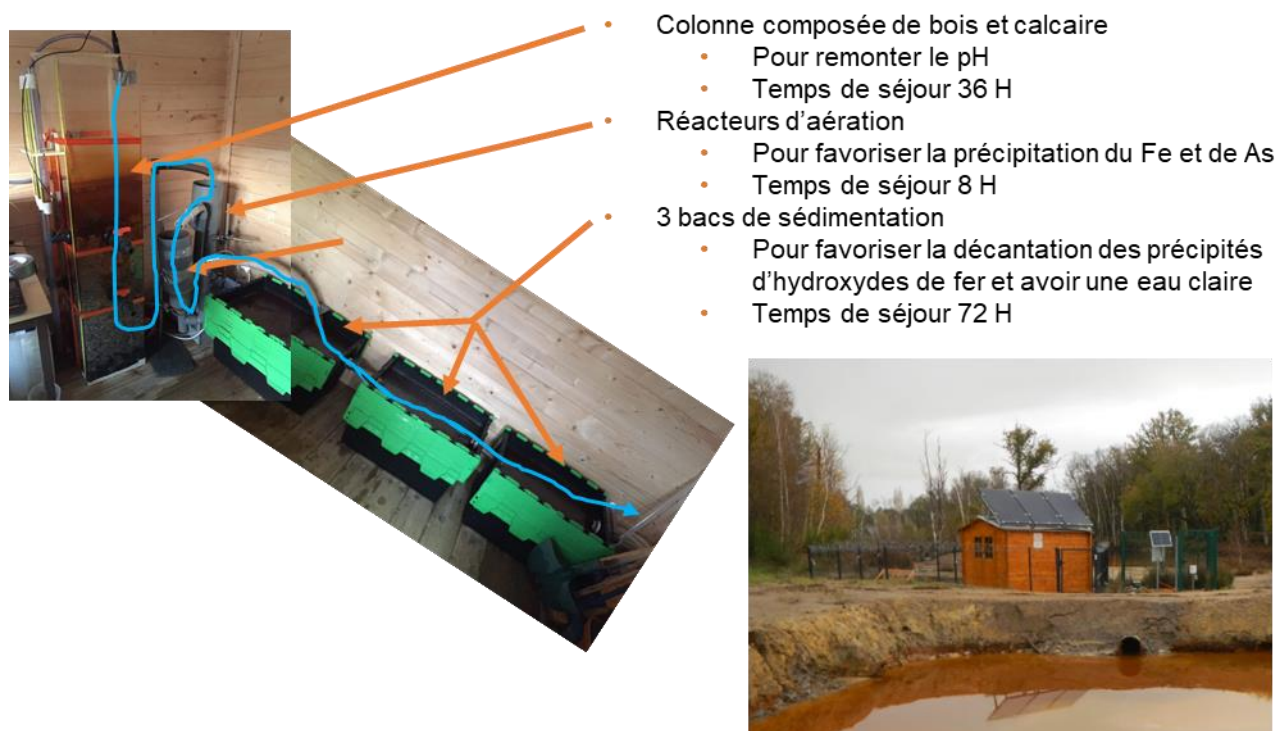


Figure 4 : Pilote de traitement installé le 18/10/2022 ©BRGM.

b) Travaux préparatoires à la création d'une station de traitement du DMA sur le site du Bois Vert à Abbaretz

Le 7 janvier 2022, la DREAL Pays de la Loire a saisi le DPSM pour réaliser des travaux préparatoires à la création de la future station de traitement (cf. § 4.1.1a)). La zone prévue pour l'installation du dispositif de traitement des eaux est située au nord du site du Bois Vert. L'objectif des travaux est de créer une piste d'accès carrossable toute l'année depuis le parking situé au sud du site et d'amener l'énergie électrique qui sera nécessaire au futur dispositif de traitement.

L'année 2022 a consisté à :

- réaliser une évaluation technico-économique de plusieurs options de tracés envisageables ;
- obtenir un certificat d'urbanisme opérationnel auprès de la mairie ;
- réaliser les consultations pour le raccordement électrique et la maîtrise d'œuvre ;
- réaliser les travaux de raccordement électrique à l'entrée du site par Enedis ;
- réaliser la phase PRO par la maîtrise d'œuvre.

Sur les 700 ml (mètres linéaires) de piste, il a été constaté deux principales zones d'enjeux :

- la naissance de plusieurs ravines perpendiculaires au tracé de la piste, sur le pied de la partie nord du teril conique, sporadiquement rebouchées par les prestataires avec les matériaux du site lors des entretiens. Ces matériaux, à trop faibles granulométrie et cohésion, sont immédiatement emportés lors d'épisodes orageux ou de fortes pluies (Figure 5) ;
- une zone humide sur environ 40 ml dans un secteur situé au nord du teril conique (Figure 6).



Figure 5 : Érosion de la piste au pied du terril conique.



Figure 6 : Zone humide à traiter pour la création de la piste.

L'année 2023 permettra de constituer le dossier de consultation pour les entreprises et de réaliser les travaux.

c) Étude hydrogéologique complémentaire sur le site du Bois Vert à Abbaretz

L'impact du DMA du site d'Abbaretz sur la qualité des eaux souterraines reste encore mal connu, or des usages sensibles en aval immédiat ont été mis en évidence (RP-67824-FR).

Dans le cadre de l'étape 2 du plan de gestion, cinq forages de contrôle de la qualité des eaux souterraines ont été mis en place (Figure 7). Après un suivi mensuel sur un semestre en 2020, ces ouvrages font l'objet d'un suivi semestriel depuis 2021.



Figure 7 : Réseau de forage et esquisse piézométrique (en m NGF) de décembre 2020 (TAUW, 2021).

Par ailleurs, une étude géophysique réalisée en 2020 (BRGM-RP-70299-FR) avait montré l'existence de zones conductrices en profondeur à l'aplomb du site mais aussi vers le nord-ouest (dans la direction d'écoulement des eaux souterraines). La géophysique ne permettant pas de discriminer entre une conductivité liée à une anomalie géologique et la présence d'un panache minéralisé en nappe, une étude complémentaire, avec notamment la réalisation de nouveaux forages, a été recommandée.

Une étude hydrogéologique du site d'Abbaretz a donc été lancée fin 2022. Cette étude a pour objectif de mieux comprendre le contexte hydrogéologique du site et notamment :

- les écoulements au droit et autour du site dans l'aquifère de socle sous-jacent ;
- les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères en présence : niveaux, gradients, battements, conductivité hydraulique ;
- les relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines ;
- le rôle des éventuelles nappes perchées présentes au sein des terrils et leurs connexions avec les eaux souterraines et les eaux superficielles ;
- l'identification et la localisation (profondeur et extension) d'un panache d'eaux contaminées par le DMA en nappe.

La réunion de lancement avec le bureau d'étude retenu a eu lieu le 9 décembre 2022 et une visite de site a été organisée le 11 janvier 2023.

Cette étude doit permettre de compléter le réseau de forages existants et proposer un schéma conceptuel de fonctionnement hydrodynamique du site.

d) Travaux pour remédier à l'emport de résidus sur le site du Bois Vert à Abbaretz (44)

Suite à des événements pluvieux importants début 2021, l'emport – hors du site – de résidus miniers issus des terrils du site du Bois Vert à Abbaretz a été constaté. Suite aux actions d'urgence mises en place en 2021, en 2022 les actions BRGM se sont concentrées sur le suivi au sol du site et sur l'exploitation des données Lidar acquises en mars et octobre 2021 (Figure 8).

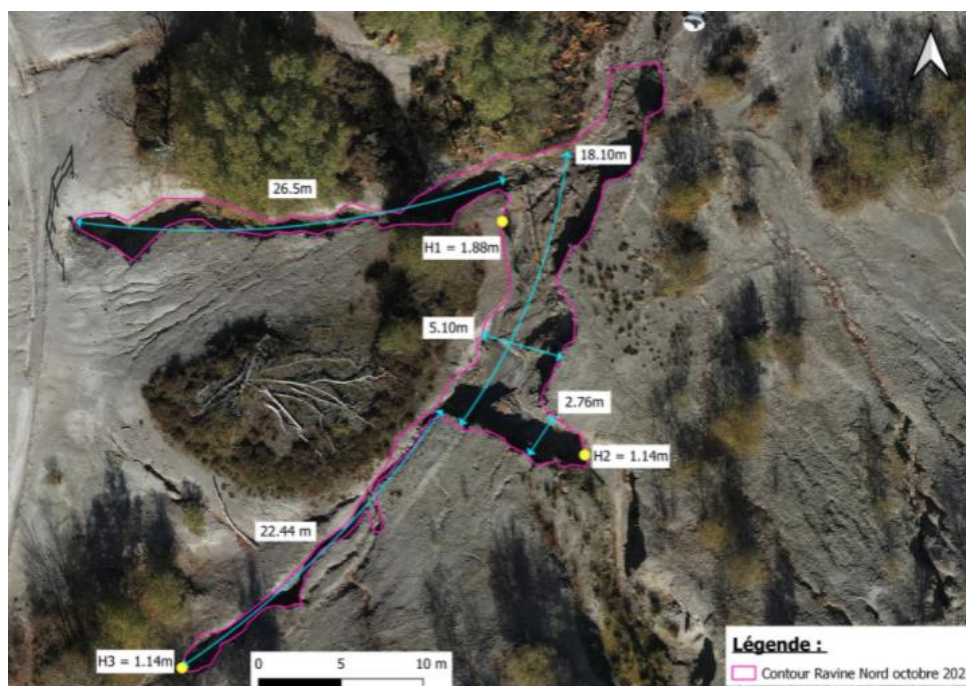


Figure 8 : Suivi de l'érosion au niveau de la ravine nord.

Les calculs réalisés sur la base des données lidar de mars 2020, et de mars et octobre 2021 montrent que la cinétique d'érosion des ravines s'est considérablement ralentie pour les ravines ouest et est. Une érosion régressive est toujours constatée au niveau de la ravine nord (Tableau 2).

Volume érodé (m ³)	Ravine ouest	Ravine est	Ravine Nord
Entre mai 2020 et mars 2021	138	107	3,4
Entre mars 2021 et octobre 2021	5,5	9	2,5

Tableau 2 : Dynamique de l'érosion des ravines du site du Bois Vert.

Par ailleurs, le phénomène d'érosion s'est accentué en 2022 au niveau de la partie sud-est du site (Figure 9).

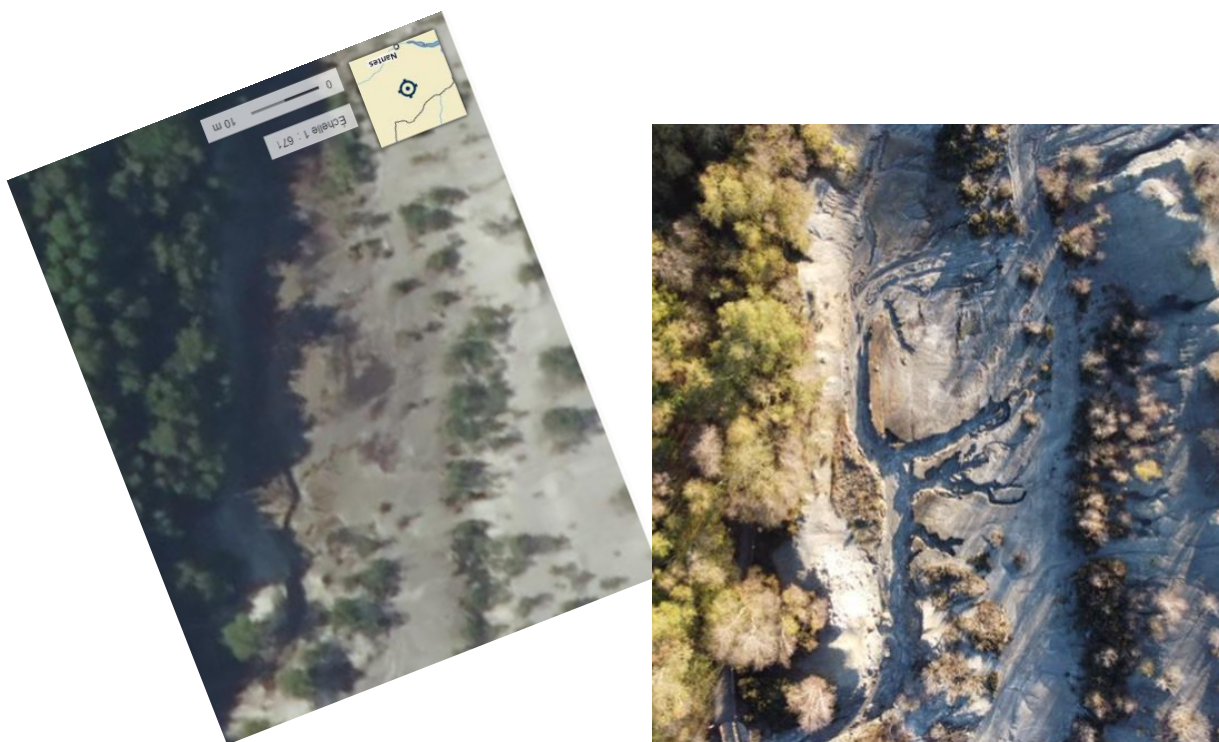


Figure 9 : Évolution de l'érosion au sud-est du site, levé 2020 (à gauche) et 2022 (à droite).

En parallèle, une étude d'avant-projet d'un dispositif global de maîtrise du phénomène d'érosion et de flux solides et de gestion des eaux de ruissellement du site a été conduite par un bureau d'études de novembre 2021 à mai 2022. Ce dispositif devait garantir l'absence de départ de résidus vers l'extérieur du site ainsi que la pérennité du chemin de randonnée entourant le site et de la future installation de traitement des eaux. Un certain nombre de mesures ont été identifiées ainsi qu'un chiffrage de celles-ci (Figure 10).

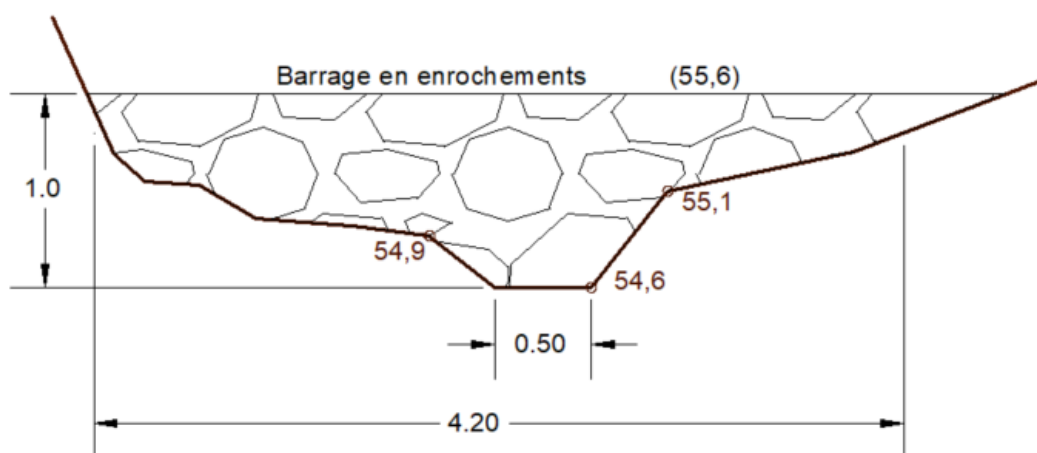


Figure 10 : Exemple de mesures de lutte contre l'érosion proposée : barrage en enrochement.

Sur la base de ces préconisations, une note de programmation a été rédigée fin 2022 pour définir un programme d'actions à mettre en œuvre sur la période 2023-2026.

e) Travaux de mise en sécurité à Soulvache

La dalle en béton armé équipée d'un passage à chiroptères du puits n° 9 de la concession de Teillay (Figure 11), situé sur la commune de Soulvache (44), présente un risque de basculement, suite à la rupture des terrains en tête de puits.



Figure 11 : Vue aérienne du puits n° 9 de la concession de Teillay (04/11/2021).

La DREAL a sollicité l'UTAM Centre-Ouest le 21 janvier 2021 pour effectuer le lancement des travaux de mise en sécurité. Le puits servant d'habitat naturel pour une importante population de chiroptères, une étude d'incidence faune-flore globale a été entreprise début avril 2021 et restituée en juillet 2022. Compte tenu des forts enjeux chiroptérologiques relevés et des enjeux plus modérés concernant les autres groupes taxonomiques, la période la plus propice à la réalisation des travaux se situerait entre les mois de janvier et février.

Par ailleurs, la responsabilité du dernier exploitant connu a été recherchée par la DREAL pour la prise en charge des travaux. Le projet de mise en sécurité par le DPSM est donc en attente des résultats de ces échanges.

4.1.2. Travaux de mise en sécurité en Maine-et-Loire (49)

a) *Suivi post-travaux du site des lagunes à Saint-Pierre-Montlimart (La Bellière)*

En 2020 et 2021, des travaux de pérennisation du site des lagunes de Saint-Pierre-Montlimart ont été réalisés (Figure 12). Ces travaux étaient nécessaires en raison de la forte érosion des résidus miniers susceptible de porter atteinte à la tenue des installations et aussi pour mettre en sécurité le site.



Figure 12 : Vue des lagunes après les travaux de pérennisation en mai 2022.

Depuis 2017, date de création des lagunes, un suivi environnemental est réalisé pour s'assurer que le fonctionnement du site est conforme aux prévisions et a été poursuivi en 2022, suite aux travaux de pérennisation, pour capitaliser le retour d'expérience relatif aux mesures de maîtrise d'érosion, notamment par végétalisation.

Le bilan 2017-2022 montre qu'au niveau de l'émergence (en entrée de station), les concentrations en arsenic total sont stabilisées et sont de l'ordre de 950 µg/l pour un débit moyen d'environ 15 m³/h (moyennes 2017-2022). L'abattement de l'arsenic par la station de traitement est d'environ 83 % sur la période 2017 – 2022 ce qui témoigne globalement du bon fonctionnement au regard du traitement passif utilisé.

Néanmoins, le suivi du cours d'eau réalisé montre que la moyenne des concentrations en arsenic en aval du site (66 µg/L pour la période 2017-2022) dans le cours d'eau récepteur est un peu plus de 10 fois supérieure à celle mesurée en amont du rejet. Compte tenu des données disponibles et de l'historique du site, il est difficile d'évaluer la part du rejet des lagunes dans l'impact global du site sur le cours d'eau. Des investigations complémentaires seraient nécessaires pour déterminer la nature et la contribution des différentes voies de transfert potentielles.

Compte tenu de ces résultats, il est recommandé de poursuivre la surveillance du site en 2023.

4.2. INSTALLATIONS ET ÉQUIPEMENTS DE PRÉVENTION ET DE SURVEILLANCE DES RISQUES MINIERES, RELEVANT DES ARTICLES L.174-1 ET L.174-2 DU CODE MINIER

L'UTAM Centre-Ouest est chargée d'assurer la surveillance de cavités minières dans les Pays de la Loire liées aux anciennes exploitations du bassin ferrifère de Segré à Chazé-Henry (commune d'Ombrée d'Anjou, 49) et du bassin houiller de L'Huisserie (commune de L'Huisserie, 53). Les contrôles se font par moyens directs d'observation dans la cavité et sur l'habitation exposée pour le cas de Chazé-Henry (cf. § 4.2.1 « surveillance de cavités »), et par moyens indirects par nivellement de surface pour le cas de la mine de L'Huisserie (cf. § 4.2.2 « réseaux de nivellement »).

4.2.1. Surveillance de cavités

a) Cadrage

L'objet de la surveillance est une cavité sous-jacente à une habitation située à proximité de l'ancien carreau de mine et placée au centre de la zone d'aléa « effondrement localisé » noté « fort » à Chazé-Henry. L'inspection de la cavité se fait par auscultation laser et vidéo au travers de deux forages recoupant les vides miniers. En 2022, les inspections semestrielles ont consisté à prendre des clichés et à effectuer une image 3D de la cavité, puis de les comparer avec celles des campagnes précédentes.

Le suivi de l'évolution des fissures de l'habitation est effectué à l'aide de six fissuromètres fixés sur certains murs. Les mesures sont comparées à celles des campagnes précédentes.

b) Observations

Une évolution du parement et de la couronne de la cavité ayant été constatée lors de l'analyse des photographies et des images 3D relevées entre les deux passages de 2021, l'UTAM Centre-Ouest a avancé au 3 et 4 février 2022 la 1^{ère} inspection semestrielle prévue en avril. Lors du contrôle aucune évolution notable n'a été relevée. Une seconde inspection était prévue les 7 et 8 septembre 2022, mais des problèmes logistiques et de panne de matériel ont provoqué un report au 11 janvier 2023. Un fluage de fines a été constaté au niveau du parement nord et une nouvelle chute de bloc est perceptible en partie centrale à partir de la concordance des nuages de points 3D acquis le 11 janvier 2023 et le nuage de points « référent » de 2016.

Concernant les fissures de l'habitation, aucune évolution notable n'a été constatée en 2022 via les relevés des fissuromètres.

4.2.2. Surveillance des déformations (réseaux de nivellement)

En 2022, l'UTAM Centre-Ouest a mis à jour le tableau des coordonnées de propriétaires et s'est rendue sur site pour effectuer un contrôle visuel des repères des trois réseaux de nivellement situés sur la commune de L'Huisserie (53) : Moësière (zone 1), l'Angerie (zone 2) et La Mine (zone 3) (Figure 13).

Il a été constaté qu'un repère était manquant dans la zone 3 « La Mine » où sont situées des galeries comprises entre 17 et 37 mètres de profondeur. Le repère n° R3011 a été remis en place et un relevé altimétrique de la zone 3 « La Mine » a été réalisé. Ce dernier n'a pas montré d'évolution de la zone.

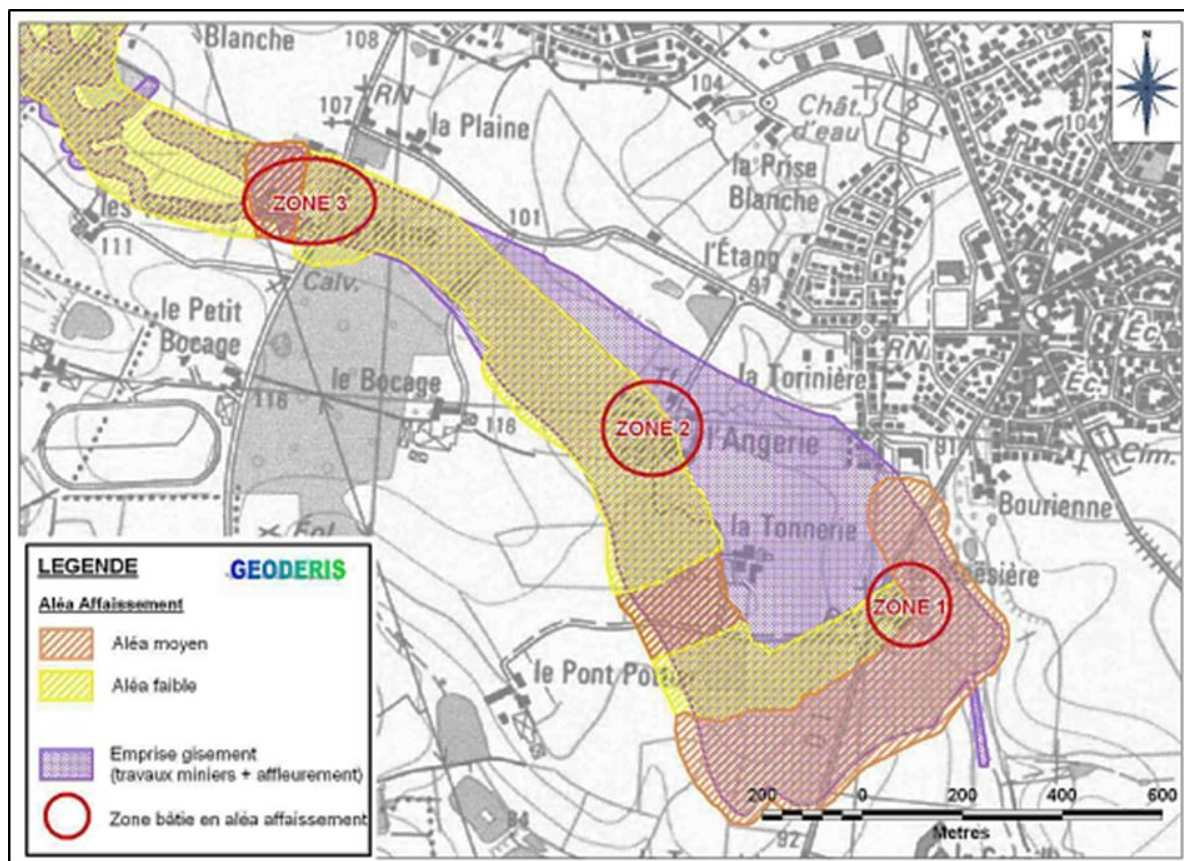


Figure 13 : Réseaux de nivellement de surface au niveau de l'ancienne mine de l'Huissierie.

4.3. ÉTUDES TRANSVERSES

4.3.1. Phytostabilisation des résidus miniers

La phytostabilisation pour les résidus miniers est une solution encore en cours de développement. Ainsi, un projet interne DPSM visant à développer la phytostabilisation a été créé en 2018 avec pour objectif de porter un appui aux projets à finalité opérationnelle. Ce paragraphe détaille quelques-unes des actions majeures de ce projet réalisées en 2022 dans la région Pays de la Loire.

a) Site du Bois Vert à Abbaretz (44)

En septembre 2020, deux parcelles pilotes de phytostabilisation (de 100 m² chacune) avaient été mises en place sur l'ancien site minier d'Abbaretz (une sur le terril tabulaire et une au niveau de la zone de DMA), dans l'objectif de valider la solution *in-situ*. Un suivi a été effectué en 2022 pour mesurer l'évolution et capitaliser le retour d'expérience.

En 2022, le suivi des parcelles a montré globalement une bonne implantation de la végétation (Figure 14). Celle-ci s'est fortement développée au niveau de la zone du drainage minier (taux de couvert végétal 100 %) probablement en raison de l'humidité du sol. Sur le terril tabulaire, la biomasse végétale est environ trois fois moins importante, probablement en raison des conditions locales (sommet de talus sec exposé au soleil et au vent), néanmoins le couvert

végétal reste dense (taux de couvert végétal de 85 %). Sur les deux parcelles, il n'a pas été noté de traces d'érosion plus de 2 ans après le semis, ce qui indique que le couvert végétal permet un bon maintien du substrat.



Figure 14 : Abbaretz - Essais pilote de phytostabilisation : à gauche, sur le terril tabulaire ; à droite, dans la zone du drainage minier acide (juin 2022).

b) Site de Saint-Pierre-Montlimart (49)

Des travaux de pérennisation du site ont été réalisés par le DPSM en 2021 notamment pour stabiliser le substrat soumis à une très forte érosion. Sur les talus, une couche de 10 cm de terre végétale de bonne qualité agronomique a été mise en place de sorte à sécuriser la pousse des végétaux. Les travaux ont été réalisés à une échelle fine afin de conserver au maximum la végétation déjà en place tout en minimisant la pente des talus pour garantir la stabilité à long terme (Figure 15). Des solutions complémentaires (fascines, couvre-sol, filets anti-sédiments...) ont été mises en place pour gérer les points singuliers. Ces différents éléments ont fait l'objet d'un suivi dédié en 2022, ce qui a permis de vérifier l'atteinte des objectifs en terme de stabilisation du substrat et de capitaliser le retour d'expérience sur les techniques végétales.



Figure 15 : Saint-Pierre-Montlimart (mai 2022) - À gauche, fascines et bionattes végétalisées protégeant le fossé de l'ensablement. À droite, suivi par drones des talus végétalisés et du fossé amont.

4.3.2. Étude des résidus miniers

Dans le cadre de la gestion des sites miniers, le DPSM étudie des solutions pour gérer les résidus miniers sur le long terme. À ce titre, il effectue notamment une veille scientifique sur les méthodes de caractérisation des résidus miniers et des voies de transfert (géophysique, tests d'évaluation du potentiel acidogène, tests de bioaccessibilité, etc.).

Lors de l'apparition des drainages miniers acides, se pose la question de la durée de ces derniers et donc de la quantité de sulfures présents dans les résidus miniers. Or cette information est souvent manquante dans les données historiques ou mal renseignée. De même la quantité de carbonates pouvant venir tamponner l'acidification du milieu est rarement connue.

Un des moyens de venir combler ces lacunes de connaissance est de réaliser des sondages carottés au sein des résidus miniers pour faire différents tests.

Un test a été conduit en 2022 sur le site du Bois Vert à Abbaretz (44). Trois sondages carottés ont été réalisés, deux au niveau de l'aire de décantation n° 2 et un au niveau de la lagune de décantation n° 3. Les sondages ont été localisés au droit des zones de résurgences des DMA observés sur le site.

Des prélèvements des eaux interstitielles des carottes ont été réalisés. Les analyses montrent des eaux acides (Figure 16) et chargées en sulfates, métaux et métalloïdes.

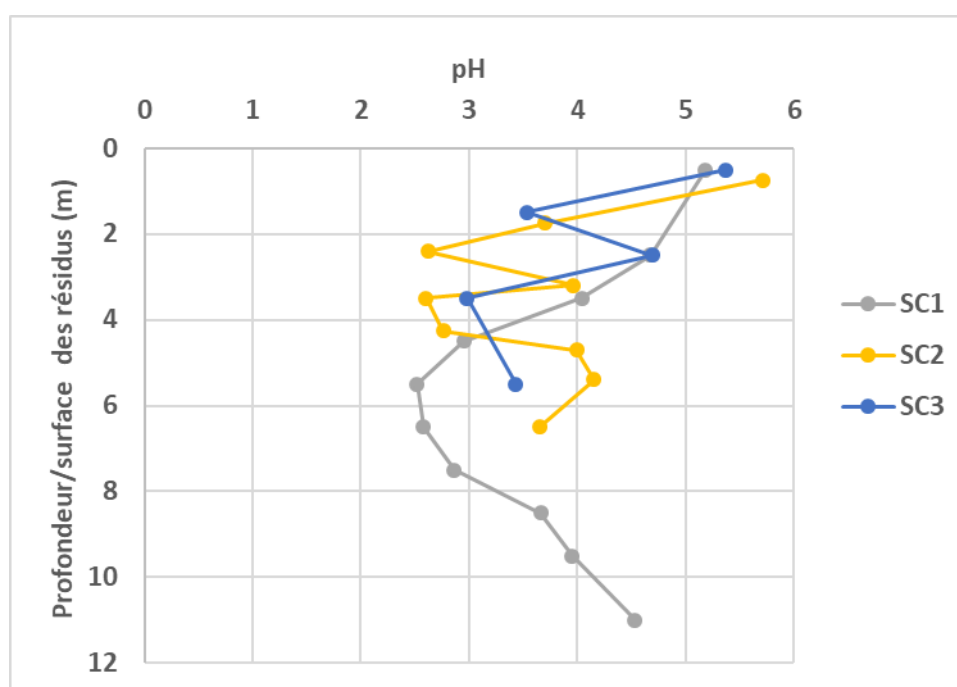


Figure 16 : pH dans les eaux interstitielles des sondages carottés d'Abbaretz (44).

Les concentrations en métaux et métalloïdes sont variables verticalement et entre sondages, montrant les variations des teneurs dans les roches exploitées à différentes périodes de l'histoire du site (Figure 17).

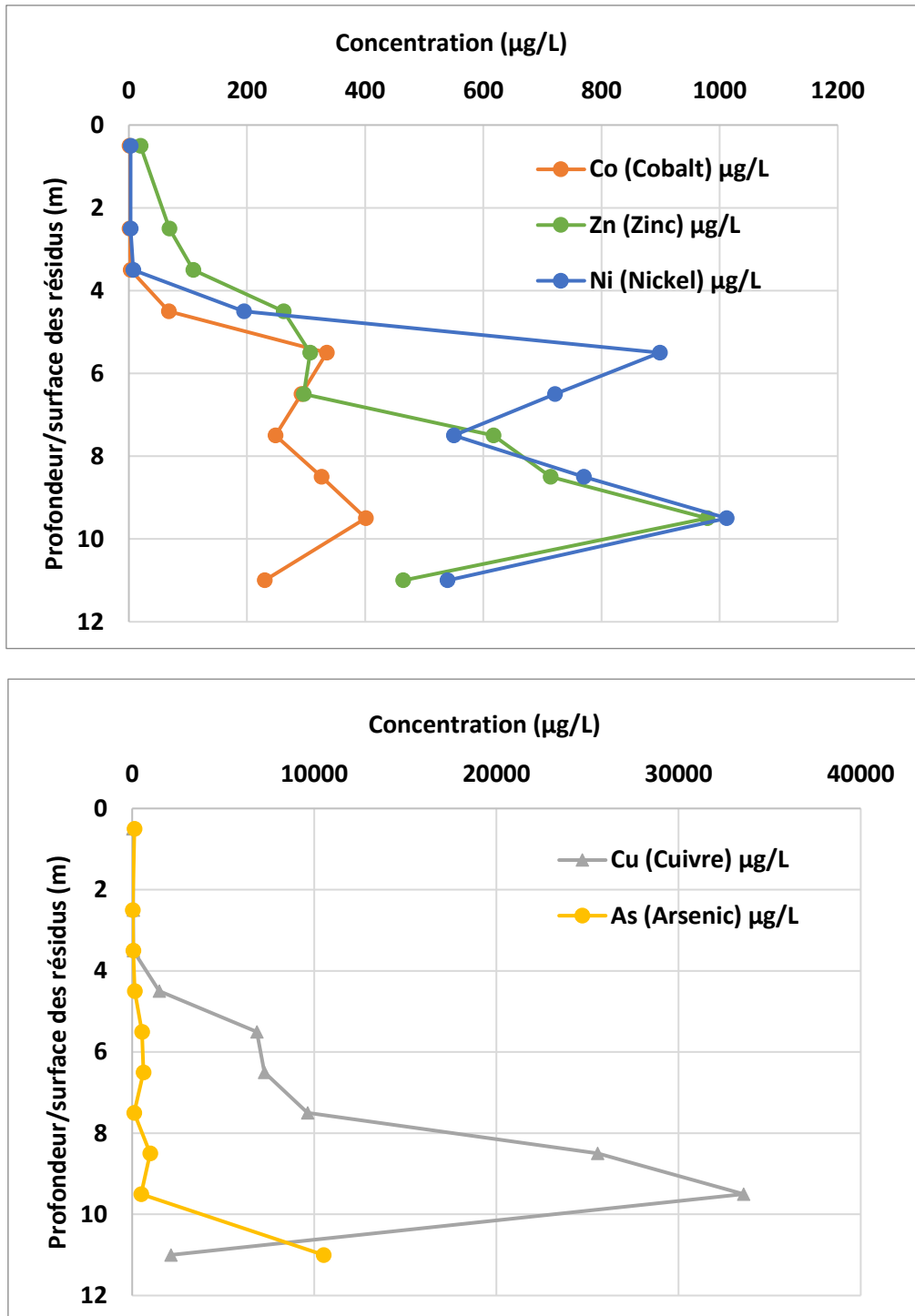


Figure 17 : Profils de concentrations en métaux et métalloïdes au niveau du terri tabulaire est d'Abbaretz (44).

En 2023, l'analyse des résidus sera poursuivie par la caractérisation de la fraction solide des sondages carottés (analyse pXRF, hyperspectrale, analyses de laboratoire). Ces analyses doivent permettre de connaître à la fois la teneur en éléments d'intérêts et les minéraux en présence. Si des zones riches en sulfures sont identifiées, des tests normés de potentiel acide en accord avec la norme NF EN 15875 (2011) seront réalisés.

5. Gestion de l'information technique

Le DPSM a pour missions l'acquisition, la gestion, l'organisation et la diffusion des données de surveillance acquises en application de sa mission après-mine. Les données acquises sont organisées en utilisant les banques de données existantes (BSS, BDES/ADES, BDSurv).

À cette fin, le DPSM a mis en place un site web aux fonctions Internet, Extranet et Intranet : <https://dpsm.brgm.fr>. Ses fonctionnalités permettent une accessibilité rapide aux données de base, notamment pour les interventions en cas de désordre d'origine minier.

La DREAL Pays de la Loire dispose d'un compte d'accès privilégié au site web du DPSM et peut ainsi consulter la majorité des rapports (mémoires de fin de travaux, etc.) et leurs annexes numériques.

De même, les bases de données suivantes sont accessibles par le site web du DPSM :

- Base Auressia : les archives techniques intermédiaires provenant de Charbonnages de France (CdF) ont été saisies et stockées dans la base Auressia. La base a été modifiée fin 2011 pour permettre la saisie des archives anciennes relatives aux renseignements miniers et aux dégâts de surface. En 2022, les données de la base Auressia ont été transférées vers une solution PMB, mieux adaptée et plus ergonomique ;
- Base BDSurv : recense les ouvrages surveillés au titre des articles L.163-11 et L.174-1 à 4 du code minier, ou au titre du code de l'environnement conformément à des arrêtés ministériels annuels. Les ouvrages surveillés en Pays de la Loire sont tous saisis dans la base de données ;
- Base Plans (BDPlans) : aucun plan réglementaire de concession de Charbonnages de France (CdF) en Pays de la Loire n'est disponible ;
- Base de textes de procédures d'arrêt des travaux miniers : la numérisation des derniers dossiers d'arrêt des travaux miniers et des dossiers d'arrêt de renonciation de CdF a déjà été réalisée en 2010. Les documents sont disponibles ;
- Renseignement Minier En Ligne (RMEL) : cette interface de réponse automatique a permis le traitement par le DPSM de 34 781 demandes concernant le territoire national en 2022. Toutefois, aucune d'entre elles ne concernait la région Pays de la Loire.

6. Conclusions et perspectives

6.1. BILAN 2022

6.1.1. Travaux de mise en sécurité d'anciens sites miniers

Concernant le site du Bois Vert à Abbaretz (44), plusieurs travaux ont été réalisés en 2022 :

- Gestion des eaux acides :
 - la mise en place et le suivi d'un pilote de traitement,
 - le suivi semestriel des eaux superficielles et souterraines,
 - la sélection d'une maîtrise d'œuvre pour la réalisation d'une piste d'accès et de l'alimentation électrique de la future station de traitement des eaux,
 - le lancement d'une étude hydrogéologique complémentaire ;
- Gestion de l'érosion :
 - la finalisation d'une étude d'avant-projet visant à proposer des mesures de gestion,
 - le calcul des volumes érodés sur site aux niveau des ravines.

La mise en sécurité du puits n° 9 sur la concession de Teillay à Soulvache (44) a été mise en attente compte tenu de la recherche en responsabilité de l'ancien exploitant par la DREAL.

Concernant la concession de Saint-Pierre-Montlimart (49), le suivi environnemental post-travaux du site des lagunes a été poursuivi en 2022, suite aux travaux de pérennisation, pour capitaliser le retour d'expérience relatif aux mesures de maîtrise d'érosion, notamment par végétalisation.

6.1.2. Surveillance d'anciens sites miniers

Au niveau de la cavité sous habitation surveillée à Chazé-Henri (49), la comparaison des prises de vues et des mesures laser faites en 2022, a permis de constater que l'évolution s'est stabilisée en couronne de la cavité et au parement côté nord entre les deux campagnes. Néanmoins, un fluage de fines a été constaté au niveau du parement nord et une nouvelle chute de bloc est perceptible en partie centrale à partir de la concordance des nuages de points 3D. Aucune évolution des fissures suivies sur l'habitation n'a cependant été notée.

À L'Huisserie (53), le recensement des repères des trois réseaux de nivellement a été réalisé en 2022. Un repère manquant dans la zone 3 a été remis en place et un relevé altimétrique de cette zone a été réalisé, sans montrer d'évolution.

6.1.3. Études

L'étude de la phytostabilisation des résidus miniers sur le site d'Abbaretz par le suivi de deux parcelles pilotes s'est poursuivie en 2022 et a montré un bon développement de la végétation sur les deux parcelles, malgré la forte sécheresse. Le suivi de végétalisation du site des lagunes à Saint-Pierre-Montlimart a également été réalisé en 2022 suite aux travaux réalisés en 2021. Ce dernier a montré un bon développement des végétaux du site et la stabilisation des résidus.

La chimie des eaux interstitielles collectées dans les sondages carottés des résidus miniers du site du Bois Vert à Abbaretz confirme la présence d'eaux acides chargées en métaux et métalloïdes dont les concentrations varient en fonction des couches historiquement déposées. Ces eaux présentent des caractéristiques similaires à celles des drainages miniers acides du site.

6.2. PERSPECTIVES

En 2023, il est envisagé de poursuivre les actions suivantes sur le site du Bois Vert à Abbaretz (44) :

- Gestion des eaux acides :
 - continuer à suivre le pilote de traitement passif de type substrat alcalin dispersé pour le traitement des eaux acides et réaliser le bilan après un an de fonctionnement pour un dimensionnement à l'échelle 1 si les résultats s'avèrent satisfaisants,
 - poursuivre le suivi semestriel de la qualité des milieux et améliorer la connaissance de l'impact des eaux acides hors site,
 - finaliser l'étude hydrogéologique complémentaire,
 - mettre en place le chemin d'accès à la zone prévu pour la station de traitement des eaux,
 - mettre en place la ligne électrique qui servira à l'alimentation de la future station de traitement des eaux ;
- Gestion de l'érosion :
 - poursuivre la surveillance du phénomène d'érosion par une surveillance à pied et par la réalisation d'un nouveau levé lidar complet du site,
 - restituer la capacité de stockage de la lagune nord-est (par curage) et en améliorer le fonctionnement (par la mise en place de rideaux de palplanches),
 - limiter l'érosion au niveau des trois principales ravines (par la mise en place d'enrochements),
 - désigner une maîtrise d'œuvre pour concevoir (phase PRO) les mesures végétales visant à limiter l'érosion, dont la végétalisation partielle du terroir tabulaire est. Les travaux sont programmés pour septembre 2024.

Concernant le site des lagunes à Saint-Pierre-Montlimart (49), un rapport de bilan de la surveillance réalisée entre 2017 et 2022 depuis la création des lagunes sera réalisé et des recommandations concernant les modalités de la future surveillance du site seront proposées.

Concernant la surveillance de la cavité au droit d'une habitation à Chazé-Henry (49), il est recommandé de poursuivre en 2023 la surveillance selon les mêmes modalités qu'en 2022.

Annexe 1

Index des acronymes

ADES : portail d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines

AVP : Avant-Projet

BDES : Banque nationale des Données sur les Eaux Souterraines

BDSurv : Base de Données des Surveillances (DPSM)

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BSS : Banque du Sous-Sol

BSSS : Bureau du Sol et du Sous-Sol de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du MTECT

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

DGPR : Direction Générale de la Prévention des Risques du ministère en charge de l'environnement

DMA : Drainage Minier Acide

DPSM : Département Prévention et Sécurité Minière du BRGM

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

GEODERIS : Il s'agit d'un Groupement d'Intérêt Public (GIP) constitué entre le BRGM et l'INERIS. Il apporte à l'État (administrations centrales et services déconcentrés, en particulier les DREAL) une assistance et expertise en matière d'après-mine.

IEM : Interprétation de l'État des Milieux

LOLF : Loi Organique relative aux Lois de Finances

MDPA : Mines De Potasse d'Alsace

MOD : Maître d'Ouvrage Délégué

MTECT : Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires

PCT : Plan de Conception de Travaux

RMEL : Renseignement Minier En Ligne

SIG : Système d'Information Géographique

UTAM : Unité Territoriale Après-Mine du DPSM

Annexe 2

Indicateur de performance

L'indicateur de performance du DPSM s'appuie sur l'analyse de la maîtrise des coûts relatifs aux projets de travaux. Cette analyse est fondée sur l'écart moyen entre les coûts prévisionnels (devis) et les coûts réels des travaux (factures) pour les chantiers achevés et les factures reçues dans l'année.

À l'échelle nationale : aucun écart significatif n'a été constaté sur les travaux achevés en 2022.

Année	Écart devis / montant final travaux
2007	- 0,3 %
2008	+ 0,3 %
2009	- 3,2 %
2010	- 1,4 %
2011	- 5,0 %
2012	- 2,3 %
2013	+ 10,3 %
2014	- 3,8 %
2015	- 0,7 %
2016	- 4,1 %
2017	- 6,9 %
2018	- 7,8 %
2019	- 6,7 %
2020	- 5,7 %
2021	- 9,5 %
2022	- 1,48%

Pour la région Pays de la Loire : Aucune opération de travaux n'a été réceptionnée en 2022.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

DPSM – UTAM Centre-Ouest

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 35 43

www.brgm.fr | dpsm.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm