

BASSIN HOULLER LORRAIN : RÉHABILITATION DU TRIANGLE DE MARIENAU, DES TRAVAUX À LA SURVEILLANCE

LORRAIN COAL BASIN: TRIANGLE DE MARIENAU, FROM THE REHABILITATION TO THE MONITORING

Gaël BELLENFANT¹, Laurent SEMMELBECK², Jérôme SCHMELTZER², Régis FISCHER², Sonia HEITZ², Patrick BOUZENOT³

¹ BRGM, Orléans, France

² BRGM, Freyming-Merlebach, France

³ Charbonnage de France

RÉSUMÉ – Le Triangle de Marienau est situé de part et d'autre de la France et de l'Allemagne. Les Houillères du Bassin de Lorraine y ont exploité des lagunes et des bassins de décantation des eaux de process d'une cokerie pendant 30 ans. Des investigations et des études menées entre 2005 et 2007 par Charbonnage de France ont mis en évidence 109 000 m³ de sols pollués (hydrocarbures, composés aromatiques, cyanures, métaux) dont 3300 m³ de goudrons purs. Des travaux ont été réalisés de 2007 à 2009 afin de supprimer les risques par contact et gérer les eaux. Un confinement vertical (paroi moulée, 4 000 m³), un confinement horizontal (complexe géocomposites, 65 000 m²), et un horizon de sol végétalisé ont été mis en place. Un dispositif de surveillance permet un suivi des eaux internes et souterraines ainsi que des gaz (piézomètres et puits).

Mots-clés : Surveillance, réhabilitation, géomembrane, paroi moulée, végétalisation.

ABSTRACT – The Triangle de Marienau site is located on both sides of France and Germany. At this place, the Houillères du Bassin de Lorraine coking plant process waters were treated in lagoons and settling basins during 30 years. Investigations and studies conducted between 2005 and 2007 showed 109,000 m³ of contaminated soil (hydrocarbons, aromatic compounds, cyanides, metals) containing 3300 m³ of pure tar. Works were carried out from 2007 to 2009 in order to eliminate the risk by contact and to protect groundwater and surface waters. Vertical containment (diaphragm wall 4000 m³), a horizontal containment (geocomposite complex and geotextile 65,000 m²), and vegetated soil layer were implemented. Groundwaters, internal waters and gas are monitored quarterly (piezometers and wells).

Keywords: Monitoring, rehabilitation, membrane, diaphragm wall, vegetation.

1. Introduction et historique

De 1968 à 1986, les Houillères du Bassin de Lorraine (HBL) ont exploité sur le site du triangle de Marienau des lagunes et des bassins afin de traiter les eaux de process d'une cokerie. Ces eaux passaient ainsi par deux prédécanteurs avant d'être traitées dans deux lagunes aérées, puis rejetées vers la Rosselle. Les boues des prédécanteurs étaient entreposées dans 3 bassins constituant le Triangle de Marienau proprement dit.

Par Arrêté Préfectoral n°86-AG/2-805 du 18 décembre 1986, les HBL ont réalisé des travaux de réhabilitation : (1) réalisation d'une digue étanche pour protéger la Rosselle, (2) curage et remblaiement des lagunes avec des schistes, (3) mélange des matériaux des bassins avec de la cendre et recouvrement par des schistes fins, (4) végétalisation.

De 2005 à 2007, des études ont été menées (EnvirEauSol, 2005a, 2006), selon la méthodologie française des sites et sols pollués et la réglementation allemande afin d'évaluer les risques liés au site et le cas échéant de définir un programme de réhabilitation. Les substances mises en évidence dans les sols étaient des hydrocarbures, des composés aromatiques, (hydrocarbures aromatiques polycycliques : HAP, composés organiques mono-aromatiques volatils : BTEX phénols), des cyanures, et des métaux lourds. Le volume total de sols pollués a été estimé à 109 000 m³ dont 3 300 m³ de goudrons purs. Des impacts ont également été identifiés au niveau de la nappe perchée dans les remblais, dans la Morsbach et la Rosselle.

L'Évaluation Simplifiée des Risques du site (EnvirEauSol, 2005b) a abouti à une notation et un classement en «site prioritaire nécessitant des investigations approfondies», l'évaluation allemande a conclu que le site présentait un risque non négligeable.

2. Description du site

2.1. Contexte géographique

Le site s'étend de part et d'autre de la frontière franco-allemande, sur les communes de Forbach, Morsbach (France) et Emmersweiler (Allemagne), dans la vallée de la Rosselle (figure 1). Le terrain, de forme quasi triangulaire, occupe une superficie de 5,3 ha dont 2,9 ha en territoire allemand. Il est situé entre une zone rurale (côté allemand) et une zone industrielle et résidentielle (côté français). Ce site est délimité :

- par la Rosselle, affluent de la Sarre, bordant les côtés Ouest et Nord du site sur une distance d'environ 700 mètres ;
- par une ancienne plate-forme de stockage des charbons de la cokerie à l'Est ;
- par une zone en friche au Sud.

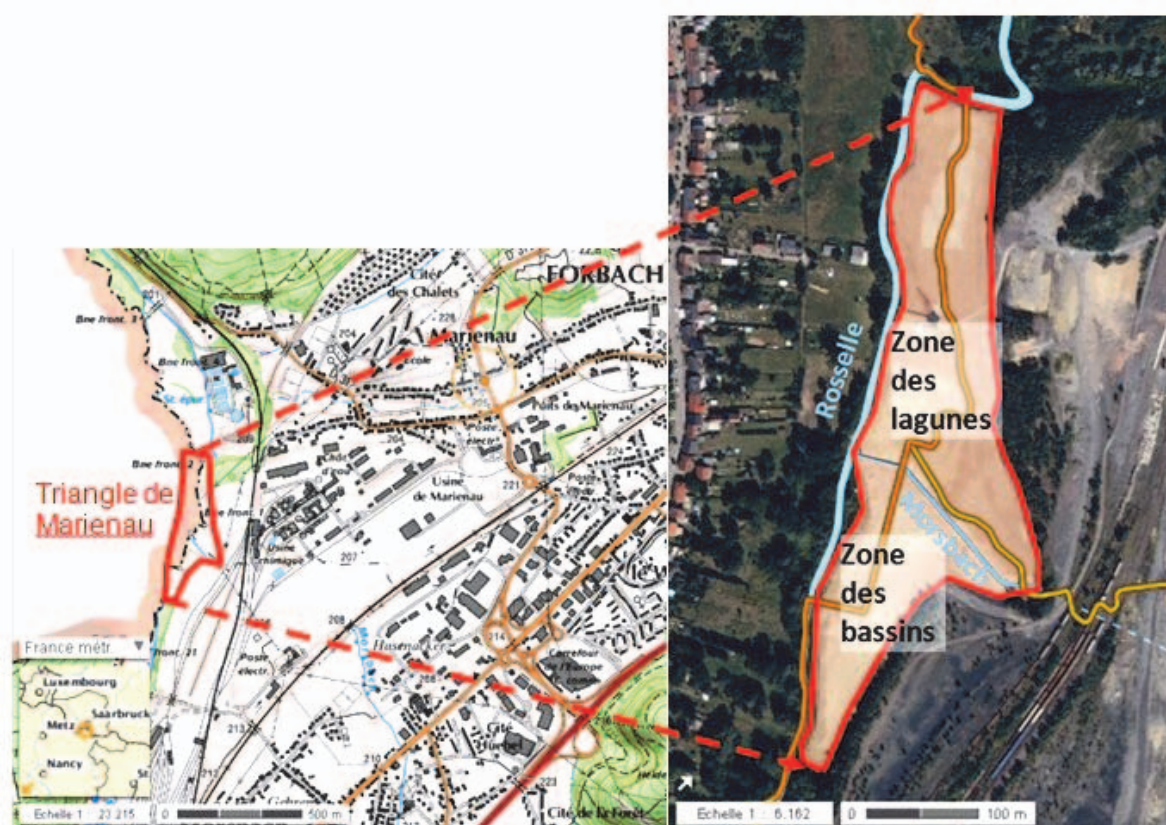


Figure 1. Localisation du site

2.2. Contexte géologique

Le site est implanté en bordure du plateau lorrain, dans la vallée de la Rosselle. La succession lithologique est la suivante (figure 2) :

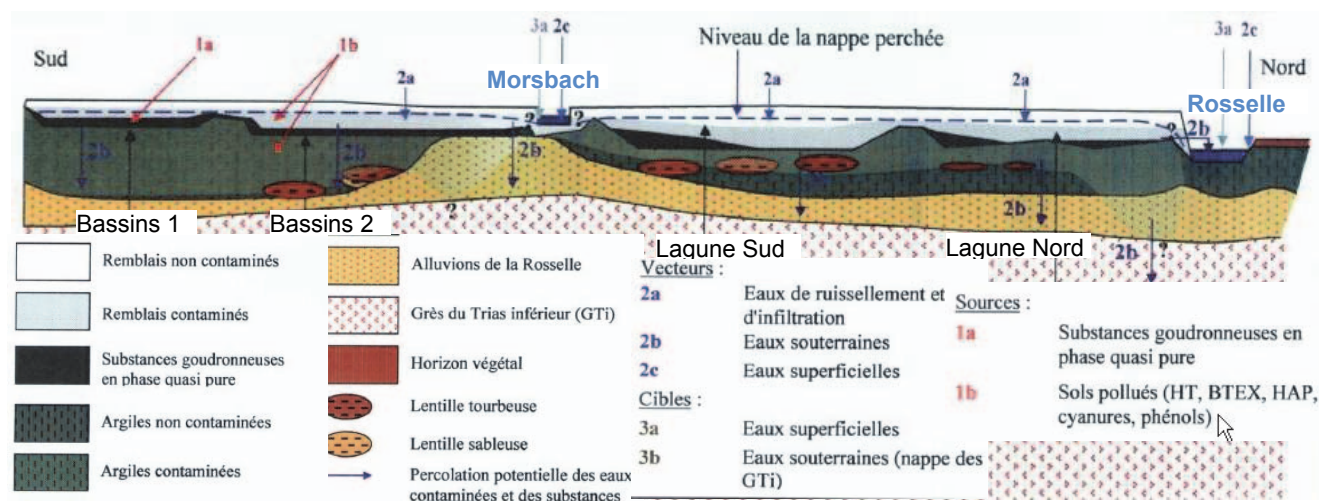
- alluvions de la Rosselle, épaisses de 0 à 5 m environ ; elles sont constituées de formations sableuses à limono-argileuses, avec des passées tourbeuses ; cet horizon est discontinu sur l'ensemble du site ; les lagunes ont été creusées dans cet horizon ;
- horizon d'altération des grès sous-jacents, épais de 2 à 4 mètres environ, constitué de sables ;
- grès vosgiens à partir de 6 à 10 mètres de profondeur environ, constitués d'alternances de grès fins à moyens, localement conglomératiques ou argileux. Cette épaisse formation (200 à 250

mètres à Forbach) repose sur les horizons très peu perméables du Permien (50 à 60 mètres d'épaisseur), qui surmontent les séries carbonifères anciennement exploitées par HBL.

Localement les alluvions argileuses sont présentes au droit de la plus grande partie du site, avec des épaisseurs significatives (en général supérieures à 2 m), à l'exception d'un petit secteur proche de l'embouchure du Morsbach.

2.2. Contexte hydrogéologique et hydrologique

On distingue au droit du site 3 aquifères (figure 2) : la nappe des Grès du Trias inférieur (GTi), la nappe superficielle des alluvions de la Rosselle reposant sur les GTi et une nappe perchée temporaire et discontinue au sein des remblais présents au niveau et en bordure des anciens bassins et lagunes.



Sur le plan hydrogéologique, les GTi sont le siège d'une nappe qui constitue la plus importante ressource en eau souterraine du secteur. Son substratum est constitué par les formations du Permien. Du fait de l'exploitation du charbon et des affaissements miniers associés le niveau de la nappe des GTi est localement très abaissé et son écoulement naturel modifié depuis de nombreuses décennies (écoulement vers les principales zones d'échange nappe-mine où les eaux étaient reprises par les exhaures minières). Ainsi, dans le secteur, l'écoulement se produit actuellement vers l'Est, en direction de l'entonnoir de Marienau, et le niveau est situé vers 75-80 m de profondeur au droit du site.

Depuis l'arrêt de l'exploitation du charbon (et des exhaures minières), le niveau de la nappe des GTi remonte progressivement. Ainsi, les modélisations (Antea, 2011) montrent que la nappe des GTi s'équilibrera en 2052-2059 à 1,3 m sous le niveau des anciens bassins. Vers 2070-2080, les eaux souterraines s'écouleront vers le nord sous le site du triangle (drainage par la Rosselle).

Du fait de la mise en place, en fin d'activité du site, de remblais schisteux perméables, formant un réservoir, une nappe perchée s'est constituée au-dessus des argiles. Avant la mise en place du confinement, cette nappe était alimentée par les pluies et en relation avec la rivière.

Le site de Marienau est bordé sur une longueur d'environ 700 mètres, à l'Ouest et au Nord, par le cours d'eau de la Rosselle (débit moyen de 2000 m³/s). Il est également traversé sur 250 m de longueur par le ruisseau du Morsbach qui se jette dans la Rosselle à la limite Ouest du site. Il est canalisé sur toute cette longueur.

4. Description des travaux

4.1. Objectifs des travaux

Les travaux de réhabilitation du site ont été prescrits à Charbonnages de France (CdF) par l'arrêté préfectoral n°2007-DEDD/IC-448 en date du 19 décembre 2007 (suite au transfert des HBL vers CdF en 2002) suivant le mémoire technique sur l'état du site du 5/07/2007 (cf. EnvirEauSol, 2007) et la demande d'autorisation du 8 mai 2007.

CdF a mandaté le bureau d'études EnvirEauSol pour une mission d'Assistance au Maître d'ouvrage. Les travaux ont été attribués à la société VALERIAN SAS, entreprise principale et ses sous-traitants. La maîtrise d'œuvre a été assurée par CdF jusqu'au 31 décembre 2007 (date de la mise en liquidation de CdF) puis par le BRGM (DRP/DPSM/UTAM EST : Direction risques et prévention, Département Prévention et Sécurité Minière, Unité Territoriale Après Mines Est).

Les objectifs de la réhabilitation, définis selon les méthodologies française et allemande de gestion des sites et sols pollués, étaient de :

- supprimer les risques existants par contact direct ;
- supprimer l'alimentation de la nappe perchée existante dans les remblais par mise en place de mesure de confinement du site en surface et sur toute sa périphérie ainsi que des travaux de drainage ;
- stopper les voies de pollution potentielles vers les autres horizons sous-jacents (nappe alluviale de la Rosselle et nappe des GTi) ;
- procéder à la gestion des eaux superficielles.

Les travaux ont donc consisté en la mise en place d'un confinement horizontal et vertical et d'aménagement des berges et des cours d'eaux. Ils se sont déroulés de septembre 2007 à août 2009.

4.2. Confinement vertical

Ce confinement a été réalisé sous forme d'une paroi au coulis périphérique ancrée jusqu'aux alluvions argileuses de la Rosselle ou jusqu'aux sables d'altération des GTi. Préalablement à sa mise en place les travaux suivants ont dû être réalisés :

- décaissement des remblais (schistes) sur 2 à 5 m de profondeur (8 500 m³),
- traitement de la fraction 0-80 mm par criblage et mélange avec du ciment
- remise en place des matériaux traités par recompactage.

Ces matériaux reconstitués ont ensuite été creusés à la pelle mécanique sous coulis. Au final la profondeur moyenne de la paroi est de 2,8 m pour un linéaire total de 750 m et une surface (verticale) de 2 000 m². Les essais de contrôle ont montré des valeurs de coefficient de perméabilité inférieures à 10⁻¹⁰ m/s.

Afin d'assurer la continuité de l'étanchéité entre les parois au coulis et le confinement horizontal, les lès de géomembrane ont été ancrés dans le coulis sur une profondeur de 1,0 m (figure 3). Après soudure des lès, le niveau de coulis a été amené jusqu'au niveau du terrain.

4.3 Confinement horizontal et couverture finale

Un complexe géosynthétique d'une surface totale d'environ 65 000 m² assure la fonction de confinement horizontal. Il est constitué de bas en haut par (figure 3) :

- un géotextile anti-contaminant
- une géogrille de drainage des gaz ;
- une géomembrane PEHD de 2 mm d'épaisseur ancrée, en périphérie, dans la paroi au coulis ;
- un géotextile de protection (700 g/m²).

Ce complexe d'étanchéité a été recouvert par :

- un géotextile antiracinaire (320 g/m², 826 µm d'épaisseur) sur les flancs Ouest (6 800 m²), il est surmonté par la couche de végétalisation (sable);
- une couche de 30 cm de schistes concassé 0-20 mm (fonction de drainage des eaux) et de 20 cm de sable sur le reste du site.

Les soudures sur les géomembranes en PEHD ont fait l'objet, à l'avancement, d'un contrôle interne effectué par l'entreprise d'étanchéité, et d'un contrôle extérieur effectué par le CETE de l'Est.

De manière à protéger le complexe géosynthétique, les couches de drainage des eaux (schistes) et de végétalisation (sables) ont été mises en place en construisant au préalable des pistes de 0,7 m à 1 m d'épaisseur et 10 m de large espacées de 20 m les unes des autres.

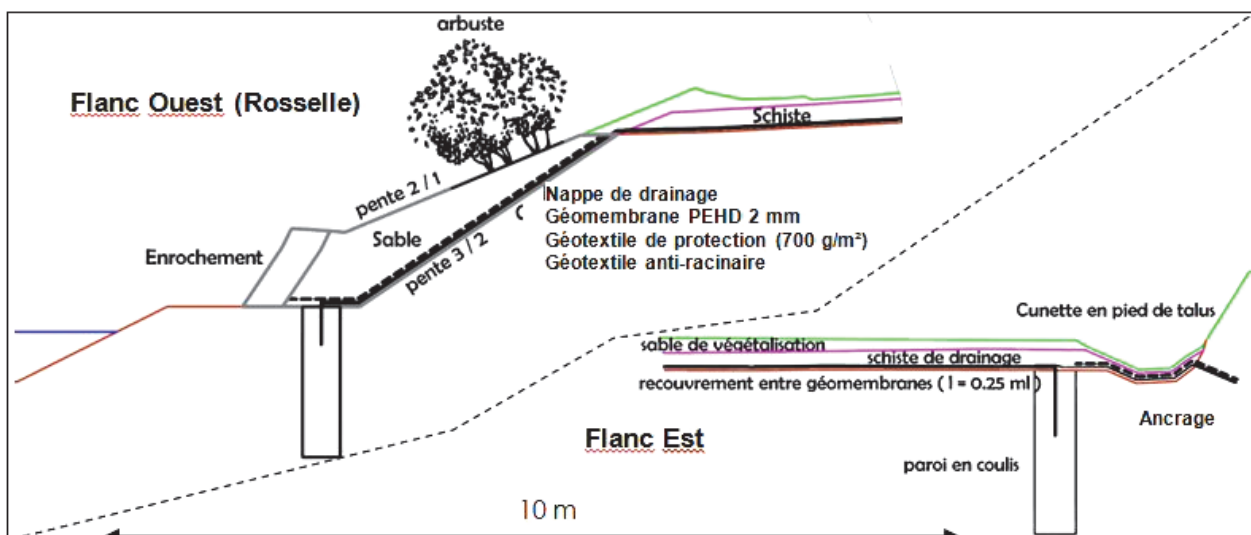


Figure 3. Coupes du flanc Ouest et Est (source EnvirEauSol, 2010)

Le dimensionnement du géotextile de protection a été vérifié en utilisant les méthodes de calculs développées pour les installations de stockage de déchets (Narejo et al., 1996 ; Koerner et al., 1996 ; Wilson-Fahmy et al., 1996 ; Koerner et al., 1998) et en considérant les hypothèses suivantes : un géotextile nontissé de 700 g/m², une hauteur de poinçonnement de 20 mm, 50 cm de matériaux anguleux avec une densité de 1,5 tonne/m³, présence d'une pelle mécanique (pression au sol de 0,75 kg/cm²), des facteurs de sécurité (fluage à long terme : 1,5 ; dégradation chimique et biologique à long terme : 1,3). On obtient ainsi un coefficient de sécurité de 2,3 ce qui compatible avec un usage à long terme.

4.4 Aménagement des flancs et des cours d'eau

Les flancs Ouest ont été aménagés de manière à les protéger pour les inondations. Ainsi, une plateforme de 1 à 4 m de large destinée à recevoir des enrochements a été réalisée tout le long de la Rosselle (figures 3 et 4). Des matériaux pollués situés entre la paroi au coulis et la Rosselle ont également été purgés.

En plus des enrochements, des arbustes ont été spécifiquement plantés sur les risbermes des talus coté Rosselle (figure 4) de manière à renforcer leur protection (érosion et tenue mécanique), le géotextile anti-racinaire y assure la protection de la membrane. Les arbustes ont été plantés avec leurs racines disposées horizontalement dans les talus. Cette méthode, typique des aménagements de talus en zones pentues, permet d'avoir un développement racinaire plus favorable à la tenue des sols.

La protection des flancs Ouest a été finalisée par la réalisation d'un ouvrage hydraulique en tête de talus situé parallèlement à la Rosselle. Celui-ci est constitué d'une bande d'infiltration et de drainage de 1 m de large en schistes concassés et équipé d'un drain de 90 mm de diamètres. Il collecte les eaux ruisselant sur le site et les dirige dans la Rosselle via des descentes d'eau espacées de 25 m les unes des autres.

Le Morsbach, initialement canalisé par un lit bétonné, a été repris de manière à assurer la continuité de l'étanchéité. L'aménagement comprend (figure 5) :

- un géotextile de protection (700 g/m²);
- la géomembrane PEHD (2 mm) ;
- un géotextile de protection ;
- une couche de 40 cm d'argile ;
- des blocs liaisonnés par du béton sur toute la hauteur du lit du ruisseau ;
- des blocs liaisonnés par du béton mis en place dans le sens transversal tous les 2,5 mètres linéaires afin de créer des seuils ;
- des drains tous les 10 mètres linéaires placés au sommet de l'ancien lit du Morsbach afin de permettre aux eaux circulant dans la couche de drainage de s'évacuer dans le ruisseau.

La géomembrane a été fixée sur l'ouvrage bétonné existant à l'aide de fixations mécaniques (réglet inox fixé par des chevilles 6 mm espacées de 30 cm équipées de bandes compressibles).



Figure 4. Photo du flanc Ouest – enrochement, couche de végétation et plantations

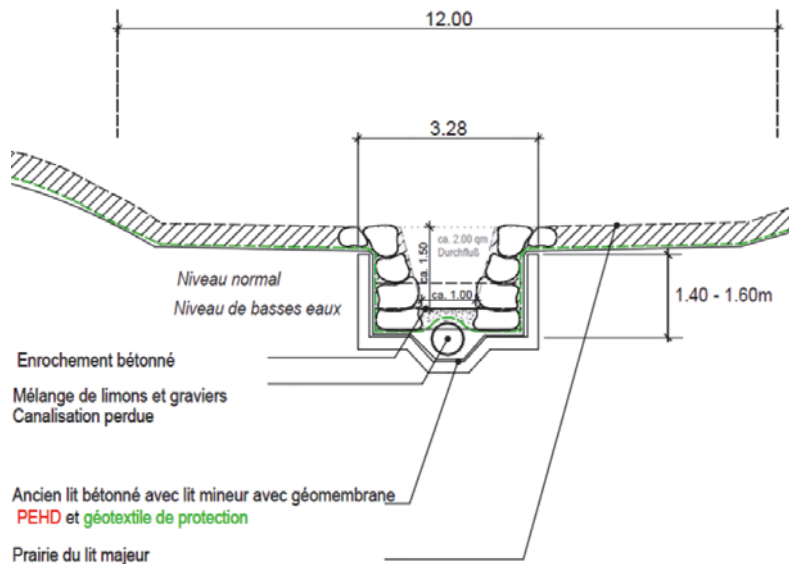


Figure 5. Coupe et photo du lit du Morsbach après travaux (source EnvirEauSol 2010)

Le dimensionnement du géotextile de protection a été vérifié selon la même méthode que précédemment en considérant une charge de 1,9 m d'enrochement et en supposant une densité de $2,8 \text{ tonne/m}^3$. On obtient alors un coefficient de sécurité de 3,5. Ce coefficient de sécurité ne tient pas compte des risques de poinçonnement dynamiques liés à la mise en place des enrochements.

4.5 Couverture finale

La couche de végétalisation est constituée de sables acides (pH 4,6, potassium : 2200 mg/kg, magnésium : 500 mg/kg) initialement pauvres en matière organique et fertilisés de manière à favoriser uniquement le développement d'une végétation de type prairie maigre et ce afin d'éviter l'apparition d'un couvert forestier incompatible avec la présence de la géomembrane PEHD. Afin d'augmenter le pH du sable (substrat des semis) à long terme, des cailloutis calcaires de granulométrie 0/13,5 mm ont été épandus sur les surfaces avec une densité d'environ 10 kg/m².

Plusieurs semis hydrauliques avec des mélanges de graines adaptées aux différentes zones du site ont été réalisés :

- zone de prairie maigre (25 g/m²): Fétuque, *Agrostis capillaris* (graminée), *Lolium perenne* ;
- zones de culture dérobée (10 g/m²) : Fétuque, Lotier corniculé, *Medicago lupulina*, luzerne, trèfle ;
- zones de ruissellement (20 g/m²) : *Agrostis capillaris*, *Agrostis stolonifera* (graminée), fétuque, *Lolium perenne*, pâturin des près ;
- zones d'enrochement (20 g/m²) : Fétuque, *Lolium perenne*, pâturin des près.

Des perchoirs pour rapaces, au nombre de 10, ont été mis en place sur le site.

5. Surveillance du site

L'objectif principal de la surveillance du Triangle de Marienau est de s'assurer de l'absence d'impact du confinement sur la qualité des eaux souterraines (nappe des GTi et nappe d'accompagnement de la Rosselle) et des eaux superficielles (cours d'eau de la Rosselle et du Morsbach). Le dispositif de surveillance synthétisé dans la figure 6 comprend :

- 10 puits mis en place dans les remblais contaminés afin de suivre l'évolution de la nappe perchée après le confinement ;
- 10 événements utilisés pour drainer et mesurer d'éventuelles émissions de gaz ;
- 3 piézomètres pour le suivi de la nappe d'accompagnement de la Rosselle ;
- 4 piézomètres pour le suivi de la remontée de la nappe des GTi (3 piézomètres proches de 30 m de profondeur et un piézomètre de 105 m de profondeur) ;
- 4 points de surveillance pour le suivi des eaux superficielles à l'amont et à l'aval de 2 cours d'eau (hautes eaux et basses eaux).

Depuis août 2009 le suivi de la nappe perchée dans les remblais montre des différences de niveau importantes entre les différents puits de surveillance et une diminution globale (entre 5 et 60 cm) démontrant l'efficacité globale du confinement (BRGM, 2012).

Les 3 piézomètres GTi situés autour du site sont encore secs (leur profondeur n'est que de 30 m, selon le scénario d'étude de la remontée de la nappe des GTi ils ne permettront de suivre la remontée de la nappe que vers 2020).

Les trois piézomètres alluvions de la Rosselle sont secs et indiquent l'absence de nappe alluviale d'accompagnement dans ce secteur.

La surveillance des eaux superficielles met en évidence l'absence d'impact significatif du site sur le Morsbach et un impact modéré sur la Rosselle concernant quelques HAP. On ne mesure pas de BTEX, de phénols ni de cyanures.

Aucun phénomène de surpression n'a été observé au niveau des événements gaz, globalement des BTEX sont mesurés (maximum 29 µg/m³) et très ponctuellement du styrène (10 µg/m³) et du naphthalène (7 µg/m³). Toutefois les mesures sur l'air atmosphérique «air ambiant» montrent que les éventuels gaz mesurés (benzène) restent inférieurs à la valeur limite pour la protection de la santé humaine (5 µg/m³).

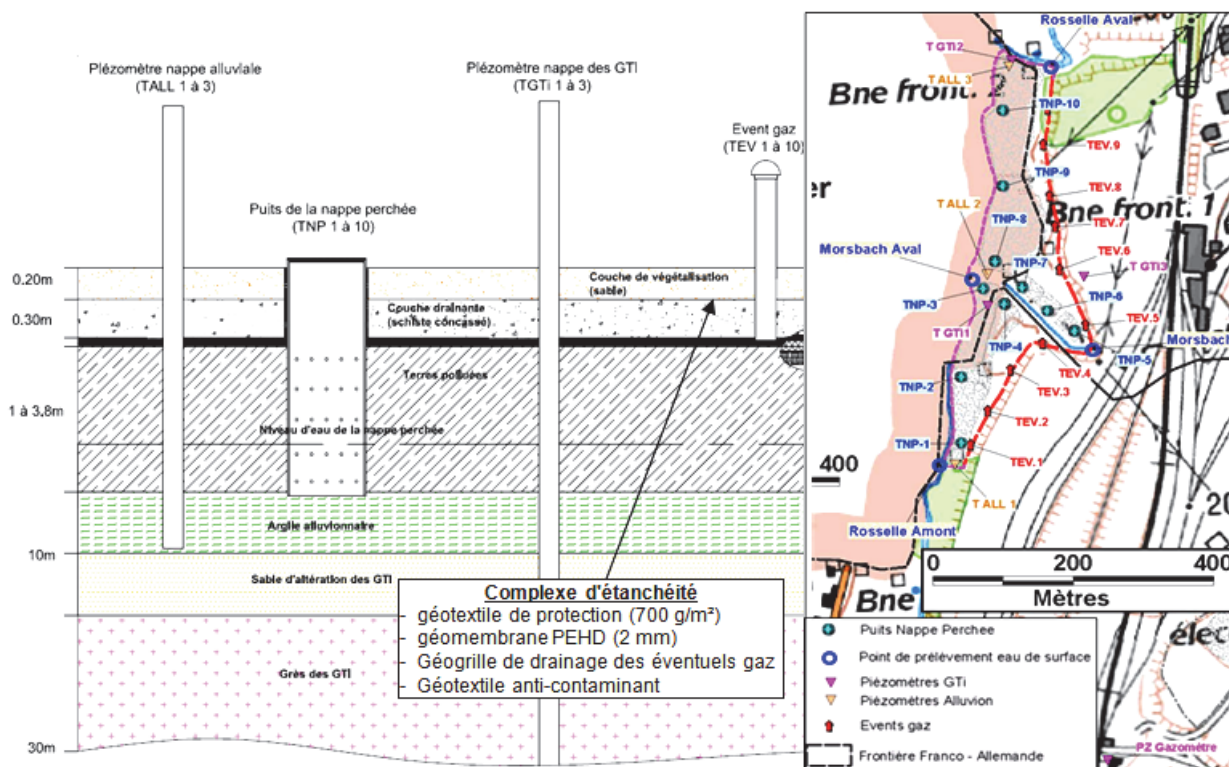


Figure 6. Description du dispositif de surveillance du site

6. Situation actuelle et future du site

Une Analyse des Risques Résiduels (ARR) menée en 2010 (Antea, 2010) montre que l'état du site après travaux apparaît compatible avec un usage d'espace vert sans restriction d'accès au public. Un dossier de servitude est en cours et l'usage final du site sera un espace vert sur lequel ne sont autorisés que les installations, activités et travaux liés à l'exploitation et l'entretien du confinement et des installations recensées sur le site.

Le BRGM assure, pour le compte de CdF en liquidation, la mission de surveillance des eaux et du gaz. Le cahier des charges de la gestion de la surveillance du dispositif de confinement des lagunes du Triangle de Marienau a été défini par l'arrêté n° 2007-DEDD/IC-448 du 19 décembre 2007. Le plan de surveillance a été validé par la DREAL le 04 janvier 2010. En 2013, le site sera transféré à l'Etat sous la maîtrise d'ouvrage déléguée du BRGM.

3. Conclusions

La réhabilitation du site du Triangle de Marienau est exemplaire à plus d'un titre. Elle illustre parfaitement une collaboration intelligente entre les juridictions environnementales française et allemande qui ont su converger vers un projet de réhabilitation conjoint. Elle est également un bon exemple d'association de techniques d'étanchéité verticale (paroi en coulis) et horizontale (géomembrane) pour confiner des sols pollués dans un contexte difficile (présence de deux cours d'eau, mauvais comportement géotechnique des remblais contaminés, etc.).

La couverture finale du site a été pensée de manière à protéger l'étanchéité sur le long terme et reconstituer un biotope spécifique. En effet, les sables constituant la couche de végétalisation sont pauvres en matière organique et ne permettent que le développement d'une végétation de type herbacée au développement racinaire compatible avec une géomembrane. Une couche de schistes concassés située sur la géomembrane permet le drainage des eaux, elle est connectée sur les flancs à des descentes d'eaux destinées à canaliser le ruissellement tout en évitant l'érosion de la couverture.

Les berges de la Rosselle et du Morsbach ont été travaillées de manière à résister aux érosions dues aux inondations et au ruissellement (enrochement, enherbement, plantation d'arbustes).

Cette conception à long terme est accompagnée par un suivi environnemental dans un contexte hydrogéologique qui a la particularité d'être en évolution avec la remontée de la nappe des GTi et une modification du sens des circulations des eaux souterraines vers 2070-2080. Ce suivi, qui s'adresse aux compartiments eaux souterraines, eaux superficielles et air, ne montre globalement pas d'impact significatif du site et met en évidence l'efficacité du confinement.

L'usage final sera un espace vert sur lequel ne sont autorisés que les installations, activités et travaux liés à l'exploitation et l'entretien du confinement et des installations recensées sur le site.

4. Références bibliographiques

- Antea (2010). Confinement des lagunes et du triangle de l'ancienne cokerie de Marienau à Forbach (57) Analyse des risques résiduels Juillet 2010- A58563/A
- Antea (2011). Triangle de Marienau à Forbach (57) Étude sur la remontée de la nappe des Grès du Trias inférieur Juin 2011- A61711/A
- BRGM (2012). Bassin houiller lorrain Surveillance du dispositif de confinement des lagunes du Triangle de Marienau Communes de Forbach, Morsbach (57600) et d'Emmersweiler (Allemagne) - Rapport annuel 2011 - BRGM/RP-60845-FR – avril 2012
- EnvirEauSol (2005a). Diagnostic initial du Triangle et des lagunes de l'ancienne cokerie de Marienau à Forbach (57) – Étape A - Etude historique et environnementale et Étape B - Diagnostic orienté - rapport n°rF05.086j5vf du 28/10/2005
- EnvirEauSol (2005b). Evaluation simplifiée des risques (ESR) notation et classement du site selon les législations française et allemande - rapport n rF05.086ESRj5vf du 4/11/2005
- EnvirEauSol (2006). Investigations approfondies réalisées sur le site du triangle et des lagunes de l'ancienne cokerie de Marienau - rapport n°rF06.04lf6vf du 08/06/2006
- EnvirEauSol (2007). Réhabilitation du site du Triangle et des lagunes de l'ancienne cokerie de Marienau à Forbach (57) - Mémoire technique – rapport n°rA07.014Ag7 du 05/07/2007
- EnvirEauSol (2010). Réhabilitation du site du Triangle et des lagunes de l'ancienne cokerie de Marienau à Forbach (57) - Rapport de travaux – rapport n° rA07.191d10v2 du 22 juin 2010.
- Narejo D., Koerner R.M., Wilson-Fahmy R.F. (1996). Puncture protection of geomembranes Part II: Experimental - Geosynthetics International, Vol. 3, No. 5, pp. 629-653.
- Koerner R.M., Wilson-Fahmy R.F., Narejo D. (1996). Puncture protection of geomembranes Part III: Examples - Geosynthetics International, Vol. 3, No. 5, pp. 655-675.
- Koerner R.M. (1998). Designing with geosynthetics, Prentice Hall Publishing Co., Englewood Cliffs
- Wilson-Fahmy R.F., Narejo D., Koerner R.M. (1996). Puncture protection of geomembranes Part I: Theory", Geosynthetics International, Vol. 3, No. 5, pp. 605-628.