



HAL
open science

RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES TRAVAUX DE REPRISE DE L'ETANCHEITE D'UN STOCKAGE DE RESIDUS MINIERES A SALSIGNE (11)

Laurence Arathoon, Marie Forestier-Coste

► **To cite this version:**

Laurence Arathoon, Marie Forestier-Coste. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES TRAVAUX DE REPRISE DE L'ETANCHEITE D'UN STOCKAGE DE RESIDUS MINIERES A SALSIGNE (11). 13e colloque français sur les géotextiles, les géomembranes et les produits apparentés, Comité Français des Géosynthétiques (CFG), Apr 2022, Saint-Malo, France. hal-03609920

HAL Id: hal-03609920

<https://brgm.hal.science/hal-03609920>

Submitted on 16 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES TRAVAUX DE REPRISE DE L'ETANCHEITE D'UN STOCKAGE DE RESIDUS MINIER A SALSIGNE (11)

FEEDBACK ON THE RE-SEALING OF A MINE WASTE STORAGE FACILITY IN SALSIGNE (11)

Laurence Arathoon¹, Marie Forestier-Coste²

1 BRGM¹, Gardanne, France

2 Antea Group², Pérols, France

RÉSUMÉ – L'amas de résidus de Montredon est un vaste stockage de boues industrielles issues du traitement du minerai de la mine d'or de Salsigne. Après la réalisation d'investigations, il s'est révélé que le dispositif d'étanchéité de surface était devenu inefficace et qu'il existait la présence d'un panache de pollution résultant d'une fuite latérale du stockage au niveau de la digue Est. Le Département Prévention et Sécurité Minière du BRGM, gestionnaire du site pour le compte de l'Etat, a procédé à la reprise de la couverture sommitale du confinement et au traitement des fuites. La pose du complexe d'étanchéité a été validée par une planche d'essai et contrôlée avec des essais in-situ par un contrôleur externe. Néanmoins, la pose de ce dernier a été difficile à cause des conditions ventées du secteur. Les travaux ont engagé plusieurs entreprises sur une durée de plus d'un an, ainsi que la présence d'un maître d'œuvre et d'un assistant à maîtrise d'ouvrage.

Mots-clés : **stockage, mise en sécurité, complexe d'étanchéité, pompage, dispositif hydraulique.**

ABSTRACT – The Montredon tailings pile is a vast storage of industrial sludge from the processing of the Salsigne gold mine ore. Following investigations, it was found that the surface sealing system was totally ineffective and that there was a pollution plume resulting from a lateral leakage of storage at the East Dike. The Mining Prevention and Safety Department of the BRGM, site manager on behalf of the State, has proceeded to the resumption of the top cover of the containment and the treatment of leaks. The installation of the sealing complex was validated by a test board and checked with in-situ tests by an external controller. However, it was difficult to lay it because of the windy conditions in the area. The work involved several companies over a period of more than one year, as well as the presence of a project manager and a project manager assistant.

Keywords: **storage, safety, sealing complex, pumping, hydraulic system.**

1. Introduction

Le stockage de Montredon, localisé sur l'ancien site minier aurifère de Salsigne dans l'Aude, présente des défauts d'étanchéité au niveau de la surface du dôme et au niveau des digues de contention. Afin de rétablir l'étanchéité du stockage, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) d'Occitanie (ex-Languedoc-Roussillon) a mandaté le Département Prévention et Sécurité Minière (DPSM) du BRGM en 2017 pour assurer la maîtrise d'Ouvrage Déléguée des travaux de mise en sécurité.

Le BRGM/DPSM a missionné le bureau d'étude MICA ENVIRONNEMENT pour engager des études de conception, de diagnostic et d'investigations dans le cadre d'une mission de maîtrise d'œuvre complète allant de la conception à la réalisation des travaux. Ces investigations visaient à améliorer les connaissances sur l'ouvrage pour en réduire les aléas.

Les campagnes d'investigations géotechnique et géophysique ont mis en évidence la présence d'un panache de pollution dans la nappe souterraine résultant d'une fuite latérale du stockage au niveau de la digue Est et d'un dispositif d'étanchéité de surface devenu inefficace. Sur ce dernier point, des analyses in-situ et des essais en laboratoire ont été menés sur l'ancien Géosynthétique Bentonitique (GSB) confirmant sa perte d'efficacité en termes d'étanchéité.

Les travaux de reprise de l'étanchéité du stockage ont débuté en juillet 2021 et ont répondu aux objectifs visés qui consistaient en : a) la reprise de l'étanchéité de surface par la mise en place d'un nouveau complexe d'étanchéité avec une géomembrane en PEHD ; b) la mise en œuvre d'un dispositif

de gestion hydraulique opérationnel de surface ; c) l'installation d'un pompage pour rabattre le niveau d'eau au sein du stockage sous la cote des fuites.

2. Contexte

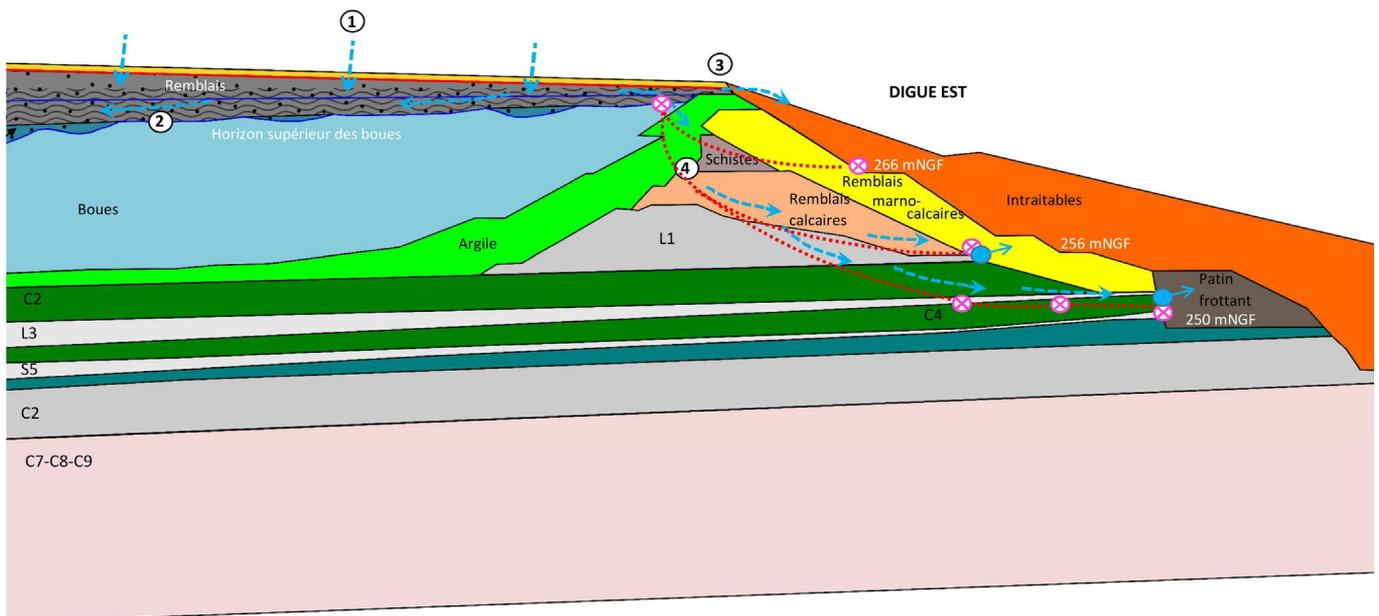
2.1. Présentation du stockage

Le bassin de Montredon, d'une surface de 6 ha, est un ancien stockage de boues arsénées issues du traitement du minerai de la mine d'or de Salsigne. Un million de m³ de pulpes de concentrés de flottation y ont été stockées à partir de 1994 par l'exploitant de l'époque, la société MOS. Entre 1999 et 2005, des déchets, résidus de traitement et déblais pollués ont été ajoutés dans le stockage.

Les digues du bassin de Montredon sont constituées de matériaux marno-calcaires, de schistes compactés et d'un corroi en argile de 5 m d'épaisseur. Initialement, l'ouvrage devait être édifié sur une vingtaine de mètres de hauteur. Cependant, l'exploitant de l'époque a décidé, à partir de 1997, de continuer à rehausser l'ouvrage jusqu'à 27 m, afin de poursuivre la mise en dépôt des résidus de traitement et donc continuer son activité. Il s'avère que les digues de l'ouvrage ont été affectées par plusieurs épisodes d'instabilité plus ou moins profonde durant ces dernières périodes de rehaussement. A la fermeture du stockage, des glissements superficiels ont également été observés.

Ce bassin contient des boues de faible portance saturées en eaux. Ses digues ont une hauteur de 27 m et sont construites sur un ancien plateau calcaire qui repose sur des couches argileuses à caractéristiques géomécaniques médiocres. Le flanc interne des digues est constitué d'une couche d'argile de 5 m de largeur dont la fonction est d'assurer l'étanchéité du stockage. En fin d'édification, le bassin a été remblayé en surface par des résidus de la mine et des produits de démolition sur une épaisseur de 5 m environ, puis étanché en surface par une couverture GSB.

En 2014 et 2015, des campagnes d'investigations géotechnique et géophysique ont permis de montrer que le dispositif d'étanchéité de surface était devenu inefficace, ainsi que la présence d'un panache de pollution dans la nappe souterraine résultant d'une fuite latérale du bassin au niveau de la digue Est. Cette fuite résulterait d'un glissement de terrain accompagné d'un défaut d'étanchéité de la protection argileuse datant de la période d'exploitation (Fig. 1). De plus, les eaux de pluie alimentaient une nappe perchée située immédiatement sous la couverture dans une couche de remblais solides placés au-dessus des boues (Fig. 2), provoquant l'apparition d'un niveau oxydé fortement lessivé et enrichi en arsenic. Ces eaux très chargées en polluant métalliques s'épanchaient vers la digue Est, mais n'étaient que partiellement collectées par les drains recoupant le plateau sommital.



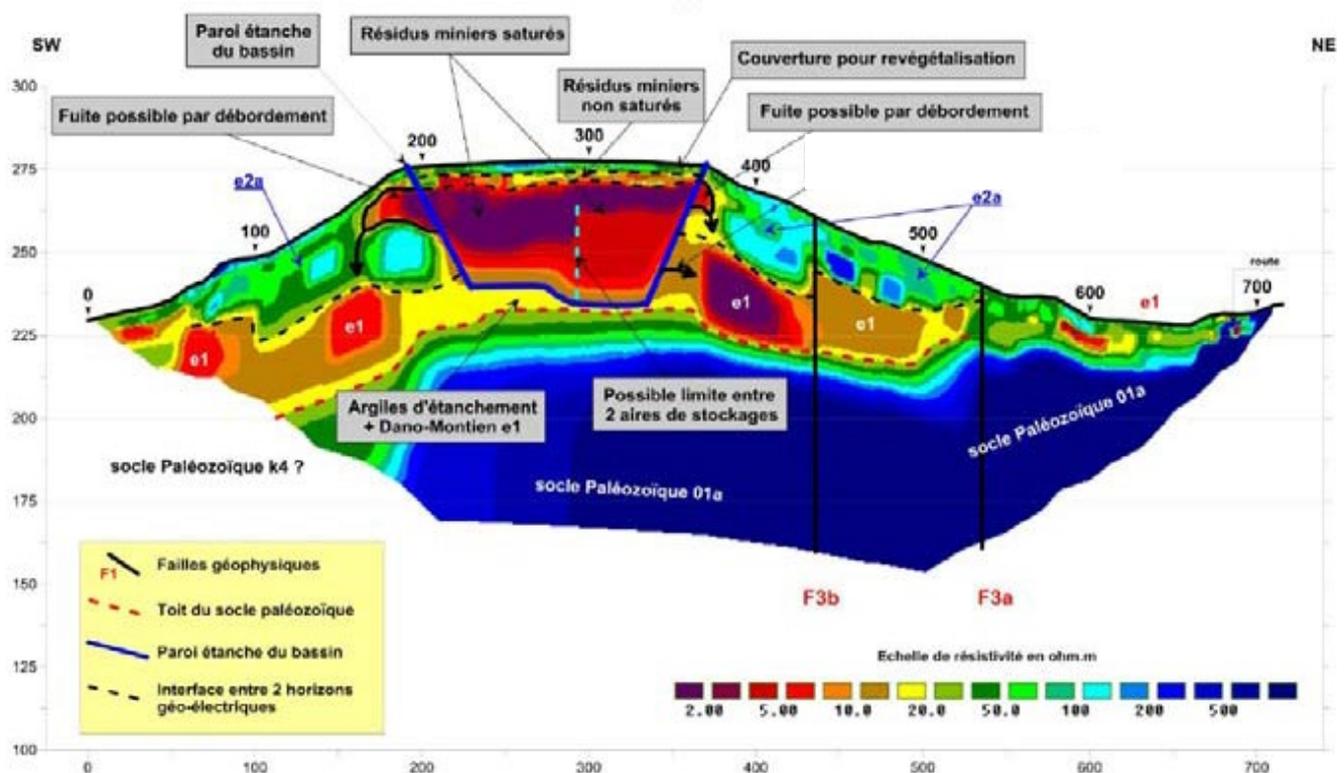
⊗ : Instabilités constatées sur le terrain (fissures) ou en sondage (inclinomètres)

⊙ : Résurgences d'eau observées lors des phases de rehausse de la digue.

⋯ : Zones de ruptures de la digue interprétées.

- ① : Infiltration des eaux de surface à travers la GSB non étanche.
- ② : Ecoulement de la nappe perchée des remblais vers les points bas du mur des remblais, situés au centre du bassin. Battement du niveau de la nappe générant un niveau oxydé dans les remblais. Induration, lessivage des métaux et contamination des eaux.
- ③ : Débordement possible des eaux de surface à travers les remblais au-dessus des digues d'argile si la cote de la nappe atteint la cote du haut des digues
- ④ : Lorsque la nappe perchée (remblais et/ou horizon supérieur des boues) atteint le niveau des zones de rupture historiques, fuite des eaux contaminées le long des glissements

Figure 1. Coupe de la digue Est – Localisation schématique de la rupture d'étanchéité et de la surface de glissement



2.2. Dispositif de mise en sécurité retenu

Une étude de faisabilité a conduit à étudier diverses solutions de rétablissement de l'étanchéité sommitale du confinement avec les coûts associés. Elle a permis de s'orienter vers les solutions technico-économiques les plus intéressantes.

Sur la base de cette étude et des résultats des investigations, le Département Prévention et Sécurité Minière du BRGM, gestionnaire du site pour le compte de l'Etat, a engagé des études de conception pour définir la solution la mieux adaptée au rétablissement de l'étanchéité sommitale du confinement et au traitement des fuites. Les dispositifs de mise en sécurité retenus par le BRGM se sont orientés vers :

- d'une part, la mise en place d'un réseau de puits et de tranchées drainantes équipés d'un dispositif de pompage, qui d'une part, abaissera le niveau d'eau contenue dans le stockage afin de neutraliser les effets du défaut d'étanchéité latérale de la digue Est et qui, d'autre part, renverra les eaux d'exhaure contaminées vers la station de traitement des eaux ;
- d'autre part, la mise en place en surface du dépôt d'un Dispositif d'Etanchéité par Géomembrane (DEG) en PEHD par-dessus l'actuelle couverture en GSB défectueuse, afin de rétablir l'étanchéité sommitale, associée à la réhabilitation du réseau de gestion des eaux de surface sur l'ensemble du dépôt à l'aide de membranes bitumineuses, et au remodelage du dôme avec des pentes minimales de 2%.

Les travaux ont été divisés en 3 lots distincts. Les entreprises retenues par le BRGM pour les travaux de terrassement et de reprise de l'étanchéité (LOT 1) étaient Vinci Construction Terrassement associé à l'étancheur EGC Galopin. La société Amdec a été mandatée pour l'installation du dispositif de pompage (LOT 2), et l'entreprise Dinger pour la végétalisation (LOT 3).

2.3. Contraintes du site

2.3.1. Environnement contaminé

Le stockage de Montredon contient des boues arséniées riches en cyanures et métaux lourds dont l'arsenic. Des déblais pollués y ont également été ajoutés jusqu'en 2005. La contrainte majeure vis-à-vis de la sécurité du chantier a été l'exposition potentielle des travailleurs à des agents toxiques. A ce titre, un protocole drastique a été mis en œuvre pour limiter les risques de contamination, notamment par le port d'une combinaison intégrale et d'un masque à ventilation assistée pour les agents les plus exposés.

2.3.2. Conditions climatiques

La particularité de ce site est l'exposition aux vents avec une fréquence moyenne d'environ 300 jours par an pour des vitesses au-delà de 35 km/h. La pose d'un complexe d'étanchéité impose donc la mise en place d'une organisation particulière par l'entreprise d'étanchéité afin d'optimiser les phases météorologiques clémentes.

3. Travaux de reprise de l'étanchéité de surface

2.1. Retour d'expérience sur l'état du Géosynthétique Bentonitique (GSB)

La caractérisation de l'état l'ancienne structure d'étanchéité (Fig. 3), constituée d'un GSB et recouvrant le sommet du stockage de Montredon, a été menée au travers de 13 tranchées et d'essais en laboratoire.

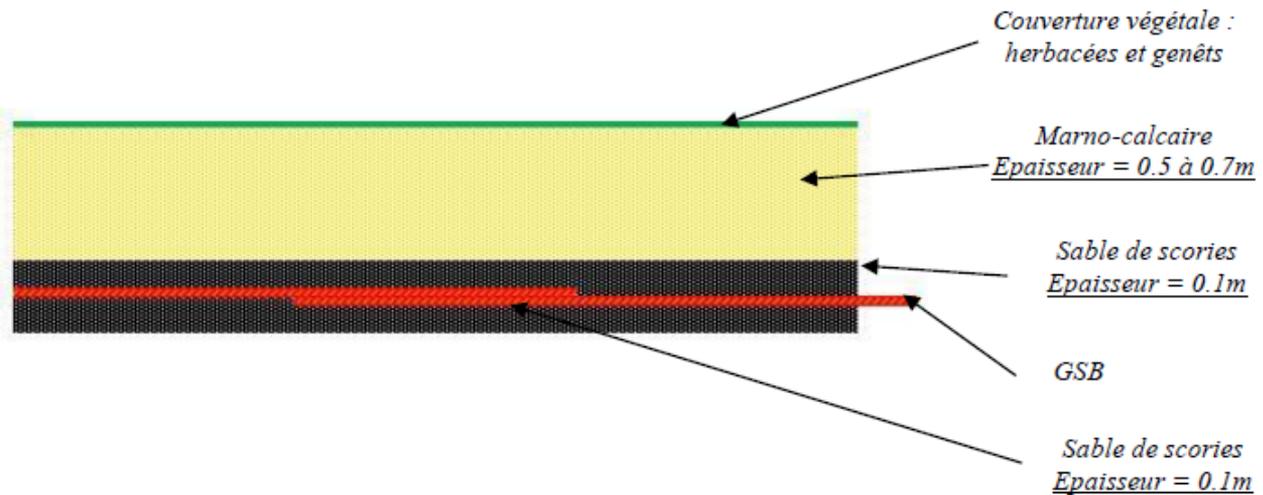


Figure 3. Structure de l'ancien complexe d'étanchéité

Les observations visuelles ont mis en évidence des anomalies variées : l'absence de bentonite en jointure des lès de GSB, la présence de racine perforant le GSB, ainsi que le développement d'un système racinaire entre les deux couches de GSB à la superposition des lès (Fig. 4)



Figure 4. Racine perforant le GSB (gauche) et développement d'un réseau racinaire sur le GSB (droite)

Il a également été constaté que l'ancrage du GSB dans la digue d'argile n'était pas assurée, et que le géosynthétique ne recouvrait pas tous les matériaux contaminés.

Des essais de performance ont été menés sur l'ancien GSB au laboratoire de l'INSA à Lyon sur 3 échantillons. Les résultats de ces essais sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Caractérisation des échantillons de GSB

		TP18-02	TP18-04	TP18-07
Masse surfacique	NF EN 14 196	4.8 kg/m ²	4.9 kg/m ²	5.1 kg/m ²
Indice de gonflement	XP P 84 703	< 10 ml/2g	< 10 ml/2g	< 10 ml/2g
Capacité d'échange cationique	NF X 31-130	49 meq/100g	46.3 meq/100g	44.5 meq/100g
Perméabilité	NF P 84-705	3.23*10 ⁻⁸ m.s ⁻¹	1.6*10 ⁻⁸ m.s ⁻¹	6.5*10 ⁻⁷ m.s ⁻¹
Essai de poinçonnement statique	NF EN ISO 12 236	1847.8 N	1654.9 N	1831.6 N
Résistance à la traction	NF EN ISO 10319	SP = 14.42% (ST = 23.05%)	SP = 18.78% (ST = 18.78%)	SP = 23.05% (ST = 23.05%)
Résistance au pelage	NF EN ISO 13426-2	SP = 0.635 kN/m (ST = 0.66 kN/m)		SP = 0.89 kN/m (ST = 1.09 kN/m)

		TP18-02	TP18-04	TP18-07
Perméabilité après réactivation au carbonate de sodium	NF P 84-705	5.5*10 ⁻⁹ m.s-1	6.3*10 ⁻⁹ m.s-1	7*10 ⁻⁸ m.s-1

A noter que la perméabilité initiale du GSB mis en œuvre était de 1.10⁻¹⁰ m.s⁻¹. Il a été observé une dégradation importante des performances d'étanchéification et chimiques du GSB. La perméabilité des échantillons après réactivation au carbonate de sodium diminue. Ce résultat tend à montrer que la nature marno-calcaire de la couverture en place au-dessus du GSB n'est pas compatible avec la nature chimique du géosynthétique, ayant pu entraîner des échanges ioniques entre le calcium de la couverture et le sodium du GSB, engendrant une augmentation de la perméabilité du GSB.

2.2. Descriptif et dimensionnement du nouveau complexe d'étanchéité

Les couches du nouveau complexe d'étanchéité se composent, du haut vers le bas d'un géosynthétique à âme drainante associé à un anti-contaminant, d'une géomembrane PEHD de 2 mm d'épaisseur et d'un géotextile anti-poinçonnant (Fig. 5).

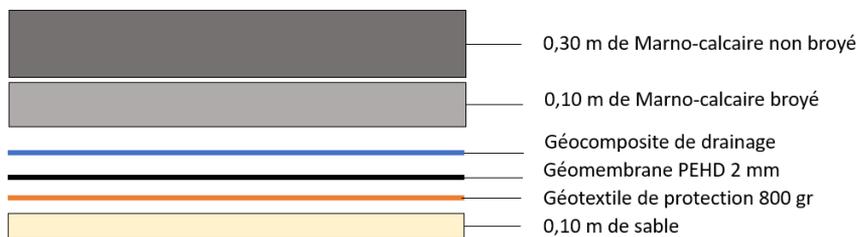


Figure 5. Coupe verticale et prise de vue de la nouvelle structure d'étanchéité

Le géocomposite de drainage, de Green Eco layer, a été dimensionné pour une pluie décennale sur 24 h avec une longueur d'écoulement dans le plan de 105 m. Le débit obtenu sur le long terme est de 8,9.10⁻⁵ m³/s et le coefficient de sécurité est de 1,30.

Pour compléter le dispositif d'étanchéité, une tranchée drainante est mise en place en périphérie du stockage à 1 m sous le dôme de celui-ci. Il permet de collecter les eaux de drainage du complexe d'étanchéité. Il est équipé de drains et de regards de visite.

2.3. Retour d'expérience sur la mise en œuvre du complexe d'étanchéité : analyse de la planche d'essai et du chantier global

Comme présenté précédemment, le DEDG constitué d'une géomembrane PEHD prise entre deux géosynthétiques de protection et de drainage sur la partie supérieure, est mis en place sur un lit de pose constitué de sable et est recouvert de matériaux de recouvrement de type marno-calcaire. La mise en œuvre de tous ces éléments constitutifs de la couverture a été assurée par un groupement d'entreprises comprenant un terrassier responsable du remodelage et de la couche de support de pose, ainsi que de la mise en œuvre de la couche de recouvrement, ainsi qu'une entreprise d'étanchéité chargée de la mise en œuvre des différents géosynthétiques.

Avant le début des travaux, le groupement a proposé une méthodologie de mise en œuvre s'appuyant sur des moyens humains, matériels, et de contrôles. Suite à l'envoi de cette procédure, les points particuliers suivants ont été mis en avant :

- phasage des travaux afin d'optimiser le planning général en permettant au terrassier et à l'étancheur d'avancer au plus vite ;
- points d'arrêts et contrôles impactant le phasage des travaux et le délai global de réalisation ;
- matériaux de recouvrement de type marno-calcaire nécessitant une préparation (broyage) pour la première couche en contact avec le DEDG.

Une planche d'essai a ensuite été réalisée afin de vérifier que la procédure de mise en œuvre permettait d'assurer le non-endommagement de la géomembrane. Les dimensions choisies pour la planche d'essai avaient pour but de se placer dans une situation représentative de ce que seront les travaux (engins pouvant rouler et traverser l'emprise de la planche d'essai). Le contrôle de la planche d'essai a consisté à suivre une par une les étapes de mise en œuvre de la globalité de la couverture, a permis de vérifier que la technique avec l'usage du bulldozer n'engendrait pas de désordres sur le DEDG et de conclure sur la procédure effectivement retenue et les points de vigilance. Les points de vigilance mis en avant lors de la planche d'essai ont été les suivants :

- nécessité de respecter tous les éléments essentiels de la méthodologie (type d'engins, épaisseurs ...);
- vigilance quant aux conditions climatiques et notamment de vent pour la pose des géosynthétiques et plus particulièrement de la géomembrane pour des raisons de sécurité et de qualité de rendu (présence de plis). Il est à noter que la réalisation de la planche d'essai a été faite en 3 interventions différentes du fait de la présence de vent en rafales nécessitant de repousser la pose de géosynthétiques pour des raisons de sécurité ;
- obligation de bien retirer les lestages à l'avancement avant mise en place des matériaux marno calcaires ;
- préservation des bordures d'étanchéité permettant le raccordement aux phases suivantes (recul minimum préconisé de 1 m par rapport à la limite permettant d'éventuelles recoupes pour permettre une soudure sur la géomembrane) ;
- attention particulière pour l'utilisation du bulldozer à l'approche des limites d'étanchéité (effet de bord libre qui bouge).

Il est intéressant de comparer les points de vigilance émis lors de la planche d'essai aux problématiques rencontrées lors de la mise en œuvre pendant toute la durée du chantier.

- **le vent** : comme rappelé lors de la présentation du site, de l'ordre de 300 jours de vent par an sont répertoriés sur cette zone. Pendant toute la durée du chantier, l'entreprise a dû continuellement se réorganiser afin de pouvoir profiter de chacune des fenêtres sans vent (travail la nuit, etc.) ;
- **le phasage terrassier / étancheur** : confrontation entre les contraintes de gestion des événements climatiques du terrassier et celles de l'étancheur qui n'étaient pas les mêmes. Cela a créé un décalage entre l'avancement du terrassier et celui de l'étancheur générant des problématiques de planification.
- **les raccords et lés laissés en attente** : Comme vu précédemment, le chantier a été réalisé à l'avancement entre l'étancheur et le terrassier permettant par ailleurs de placer des lestages sur les géosynthétiques en place afin de résister aux conditions climatiques (vent). D'un point de vue de l'étanchéité, des lés sont donc laissés en attente, permettant un avancement global du chantier. La difficulté majeure a été la bonne préservation de ces débords permettant le raccordement de l'étanchéité avec celle de la phase suivante. La figure 6 ci-dessous montre une des problématiques rencontrées : les terrassements des matériaux de recouvrement avaient tendance à aller trop loin sur le débord laissé en attente.



Figure 6. Matériaux de recouvrement sur le débord laissé en attente pour le raccordement

Ce comparatif permet d'acter que la réalisation d'une planche d'essai a également pour intérêt de mettre en avant les points de vigilance qui seront nécessairement rencontrés lors de la réalisation "en grand" des travaux.

2.4. Contrôle extérieur : contenu et organisation

Le rôle de contrôleur extérieur est primordial sur les chantiers de pose de DEDG. Il permet :

- d'apporter des garanties au Maître d'Ouvrage et aux éventuels acteurs associés à la validation de la bonne réalisation des travaux, surtout dans le cas de sites sensibles et/ou présentant des enjeux environnementaux significatifs ;
- également d'épauler l'entreprise d'étanchéité dans la bonne mise en pratique de ses procédures et de savoir rester à l'écoute des problématiques rencontrées afin de faire des propositions communes permettant d'éventuelles adaptations en fonction des aléas rencontrés. Tout ceci dans le but de pouvoir réaliser des travaux de qualité.

A noter que la qualité finale de l'ouvrage se trouve dans les détails. Par exemple, quand l'objectif recherché pour un ouvrage est l'étanchéité, l'oubli d'un lestage peut engendrer des risques lors de la mise en place des matériaux de recouvrement, comme une déchirure sur la géomembrane. Bien que l'étanchéité recouvre plusieurs hectares, si cette déchirure se trouve en position aval hydraulique vis-à-vis de la gestion des eaux, tout le reste du travail réalisé n'a plus lieu d'être.

Suivant les missions, le contenu du contrôle extérieur peut varier. En ce qui concerne le site de Montredon, le rôle du contrôleur extérieur était le contrôle de 100 % de l'étanchéité posée comprenant toutes les parties courantes, toutes les soudures et toutes les pièces réalisées. A ce titre, la pose du géocomposite de drainage était donc conditionnée par la présence sur site du contrôle extérieur et la validation des travaux réalisés. Au global, il a été réalisé douze (12) visites de contrôles et émis 12 PV de contrôle extérieur. Lors de chaque venue, les points suivants sont contrôlés et vérifiés et sont mentionnés dans le PV émis :

- la localisation du contrôle, le type d'ouvrage, les conditions météorologiques (température, vent, pluie, ensoleillement et/ou couverture nuageuse) et les personnes présentes ;
- les documents internes à l'entreprise et notamment le plan de calepinage de chantier où sont notés à l'avancement la position et les références des lés posés, les contrôles d'étalonnage de la machine de soudure (Fig. 7) ;
- les produits présents sur site et leurs conditions de stockage (étiquette commerciale) ;
- les moyens matériels et humains présents (personnel et qualifications associées), soudeuse, extrudeuse, appareils de contrôle ...
- le contrôle visuel de tous les aspects techniques liés au DEDG : support de pose, recouvrement des lés, état général, aspect des soudures, dispositifs d'ancrage s'ils existent ...
- le contrôle des doubles soudures par mise en pression du canal central ;
- le contrôle des extrusions et points triples.

Un des aspects importants du contrôle extérieur (surtout dans le cas où l'ouvrage est grand), est de bien organiser la numérotation des soudures et pièces en coopération avec l'entreprise d'étanchéité afin de pouvoir assurer un suivi de qualité. La figure 7 présente un état d'avancement du contrôle avec les différentes appellations reprises qui sont cohérentes avec celles de l'entreprise et ce qui est effectivement marqué visuellement sur site.

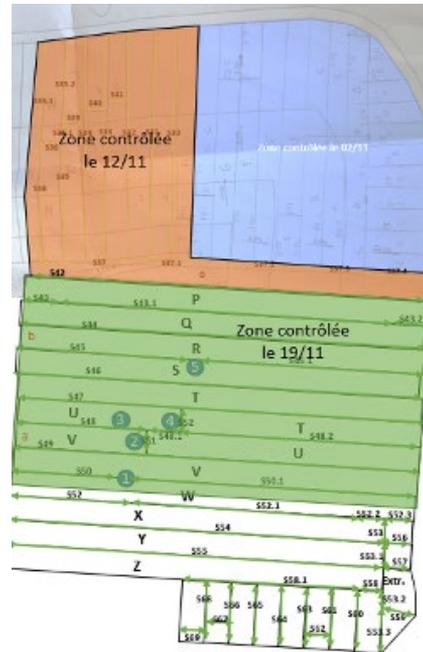


Figure 7. Exemple d'un calepinage de contrôle réalisée et la correspondance physique sur site

Pour chaque PV, une conclusion est émise présentant de valider la conformité ou non de la partie posée et la liste des reprises à réaliser le cas échéant. La figure 8 est le plan de recollement de la géomembrane PEHD posée sur toute la couverture de Montredon. Sont notés sur ce plan, le positionnement et les numéros des lés, les positionnements et numéros des patchs, points triples, etc. Toutes ces dénominations sont cohérentes avec la numérotation des PV de contrôle extérieur.



Figure 8. Plan de recollement de géomembrane de l'entreprise d'étanchéité

Au global, ce ne sont pas moins de 280 soudures double canal qui ont été réalisées et contrôlées. Les photos de la figure 9 ci-dessous permettent d'illustrer le chantier réalisé.



Figure 9. Prises de vues du chantier pendant la pose du complexe d'étanchéité

4. Travaux d'amélioration de l'étanchéité du stockage par la mise en œuvre d'un dispositif de pompage et la reprise du dispositif de gestion hydraulique

4.1. Dimensionnement du dispositif de pompage

Une nappe perchée est présente au niveau des remblais de surface au-dessus des boues minières. La hauteur d'eau dans les remblais au moment des investigations variait de 0,21 m (zone Sud) à 1,69 m (zone Nord). Cette unité aquifère est composée de deux horizons :

- d'une part, les remblais au toit des boues principalement composées d'argile sableuse et qui sont alimentés par les eaux infiltrées dans la couverture marno-calcaire et traversent le GSB fuyard. La perméabilité de ces matériaux est comprise entre 1.10^{-7} et $2,4.10^{-4}$ m/s ;
- d'autre part, l'horizon supérieur du dépôt des boues, composé de silt et de limons gorgés d'eau, alimentés par l'horizon des remblais et par les remontées capillaires au sein des boues. Les analyses effectuées sur les cuttings des sondages carottés indiquent que les perméabilités de ces matériaux sont comprises entre 1.10^{-8} et 1.10^{-10} m/s avec une porosité totale des matériaux comprise entre 20 et 40 %. Il est probable que la perméabilité en grand de ces formations soit plus élevée que celles déduites des essais de laboratoire.

Lors des investigations, des piézomètres ont été mis en place sur le sommet du dépôt. A partir de l'analyse des mesures de niveaux piézométriques, il ressort que la nappe perchée peut être décomposée en 4 secteurs à traiter suivant le degré de saturation des remblais. Pour cette raison, un réseau de 4 puits de pompage a été mis en place au droit des remblais contaminés jusqu'au toit des boues de traitement. Ces puits sont étanchés par du PEHD et soudés à la nouvelle géomembrane de la couche de couverture. Un réseau de 3 tranchées drainantes par puits a été installé afin de d'optimiser le captage de la nappe perchée. Ces tranchées drainantes présentent une profondeur comprise entre 3 m et 5 m de profondeur et une largeur de 1 m. La position des tranchées drainantes est ajustée à la cote de la base des remblais et la pente de chaque tranchée est d'au moins 1 %. La longueur de chaque tranchée est limitée à 30 m. Les drains à la base des tranchées sont composés d'un tube PEHD crépiné sur toute la longueur, de diamètre 200 mm, se raccordant au puits collecteur par un exutoire en PEHD (Fig. 10). Le tube crépiné est recouvert par un massif drainant graveleux enveloppé d'un géotextile anticontaminant.



Figure 10. Coupe de principe du puits (gauche) et de la tranchée drainante (droite)

4.2. Installation du dispositif de pompage

Pour la réalisation des 4 puits qui serviront au pompage des eaux contaminées de la nappe perchée, un blindage a été mis en œuvre après le terrassement des marno-calcaire de surface. Après le réglage du fond de fouille, la mise en fouille du puits en PEHD s'est faite à la pelle mécanique. Un matériau drainant a été mis en place autour de l'ouvrage pour le calage du puits. Les tranchées drainantes sont réalisées par plots, en partant du puits vers l'extrémité de la tranchée protégée par un dispositif de blindage glissant. Le terrassement des tranchées s'est fait à l'aide d'une pelle mécanique. Après le réglage du fond de fouille au laser, la tranchée est remplie avec des matériaux drainants de manière à caler le drain et recouverte par les remblais. Un géotextile anticontaminant vient ensuite recouvrir le massif drainant. Les éléments de blindage sont retirés à l'avancement du remblayage des tranchées. Les canalisations d'exhaure des pompes sont connectées au réseau d'évacuation des eaux vers la station de traitement située en contrebas du site et les puits sont équipés de sondes piézométriques et d'un débitmètre en sortie. Les réseaux sont reliés à une centrale d'acquisition enregistrant en continu les mesures de débit, limité à 2 m³/h (débit maximal autorisé pour l'envoi à la station), et les mesures de piézométrie.

4.3. Retour d'expérience sur la reprise du dispositif de gestion hydraulique

Les fossés et les descentes d'eaux sont réalisés suivant les coupes des ouvrages définies lors des études de dimensionnement. Plusieurs types de descentes d'eaux ont été mises en œuvre : descentes d'eaux étanchées par membranes au nombre de 8 réparties sur les flancs Ouest et Est du stockage, descentes d'eaux en éléments préfabriquées, descentes d'eaux en enrochements bétonnés. Pour les descentes d'eau nécessitant la mise en place d'une étanchéité (géomembrane bitumineuse), le terrassement est réalisé du bas vers le haut jusqu'à atteindre la côte correspondant aux tranchées d'ancrage de la future étanchéité (Fig. 7).

Les descentes d'eau en enrochements du flanc Ouest sont terrassées en prenant en compte une épaisseur de mise en œuvre de béton de 15 cm minimum dans lequel des enrochements 300/500 sont enchâssés. L'objectif est d'assurer l'ancrage des enrochements sans créer de surface d'écoulement lisse.



Figure 7. Fossé de surface étanché avec une géomembrane bitumineuse

5. Conclusion

Les travaux de mise en sécurité du stockage de Montredon ont répondu aux objectifs visés qui étaient la reprise de l'étanchéité de surface, la mise en œuvre d'un réseau de gestion hydraulique opérationnel des eaux de surface, ainsi que l'installation d'un dispositif de pompage pour rabattre les eaux de la nappe perchée et les évacuer vers la station de traitement. Les travaux ont consisté en la mise en place d'un nouveau complexe d'étanchéité performant sur toute la surface du dôme, de fossés en enrochements bétonnés ou étanchés par une géomembrane bitumineuse, ainsi qu'en la mise en œuvre de 4 complexes de puits accompagnés de tranchées drainantes pour le pompage.

6. Références bibliographiques

Vincent A., Laveneur D. (2016) Etude de faisabilité pour le rétablissement du confinement du bassin de Montredon, Commune de Salsigne (Aude) - *Mica Environnement*, 119.

Rosler P. (2019) Rétablissement du confinement étanche du bassin de Montredon – rapport d'étude des investigations supplémentaires – diagnostic – commune de Salsigne (Aude) – *Mica Environnement*, 72.